

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

**ZA8 ALAŞIMINA ELEMENT İLAVESİNİN
AŞINMA ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Metalurji Müh. Ali ÖZER

Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME MÜH.

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Ahmet TÜRK

Ağustos 2006

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ZA8 ALAŞIMINA ELEMENT İLAVESİNİN
AŞINMA ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Metalurji Müh. Ali ÖZER

Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME MÜH.

Bu tez 04 / 08 /2006 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

**Yrd.Doç.Dr. Ahmet TÜRK
Jüri Başkanı**

**Doç.Dr. S. Can KURNAZ
Üye**

**Doç.Dr. Kenan GENEL
Üye**

TEŞEKKÜR

Yaşamımın baŐından itibaren hep yanımda olan değerli aileme ve yanlızlığımı paylaŐan güzeller güzeli EŐim Sevda'ya,

ÇalıŐmalarımnda hep yanımda olan, değerli fikir, zaman ve katkılarını esirgemeyen danıŐmanım Yrd.Doç.Dr. Ahmet TÜRK hocama ve üniversite yaşamımda bende emeği olan tüm değerli hocalarıma,

Laboratuvar imkanları ve sonsuz destekleri için Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği ve Makine Mühendisliği bölümlerinin değerli hocalarıma,

Emeği ve katkılarından dolayı sevgili meslektaŐım ve arkadaŐım Levent'e, müstakbel eŐine, ayrıca Güven'e, Hüseyin'e,

Her zaman her türlü yardımını benden esirgemeyen adını sayamadığım sevgili arkadaŐlarım ve büyüklerime, teŐekkürü bir borç bilirim.

Ali ÖZER

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
TABLOLAR LİSTESİ.....	ix
ÖZET.....	x
SUMMARY.....	xi
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
ÇİNKO-ALUMİNYUM ALAŞIMLARI.....	3
2.1. Kullanım Alanları.....	3
2.1.1. ZA8.....	4
2.1.2. ZA12.....	4
2.1.3. ZA27.....	4
2.2. ZA Alaşımlarının Avantajları.....	4
2.3. Çinko-Aluminyum Faz Diyagramları.....	5
2.3.1. İkili faz diyagramı.....	5
2.3.2. ZA alaşımlarının faz dönüşümleri.....	7
2.4. ZA Alaşımlarının Fiziksel Özellikleri.....	8
2.5. ZA Alaşımlarının Mekanik Özellikleri.....	9
2.5.1. Oda sıcaklığında mekanik özellikler.....	11
2.5.2. Sıcaklığın mekanik özelliklere etkisi.....	13
2.5.3. Mekanik özellik- yapı ilişkisi.....	14
2.5.3.1. Isıl işlemin etkisi.....	15

2.5.3.2. Katılma hızının etkisi.....	16
BÖLÜM 3.	
ALAŞIM ELEMENTLERİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERE VE MİKROYAPIYA ETKİSİ.....	17
3.1. İlave Elementlerin ZA Alaşımının Yapısı ve Mekanik Özelliklerine Etkisi.....	17
3.1.1. Silisyum.....	17
3.1.2. Mangan.....	18
3.1.3. Bakır.....	18
3.1.4. Magnezyum.....	19
3.1.5. Titanyum.....	19
3.1.6. Lityum.....	20
3.1.7. Krom.....	21
3.1.8. Vanadyum.....	21
3.2. Diğer Elementler.....	22
BÖLÜM 4.	
DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	23
4.1. Deneylede Kullanılan Malzemeler.....	23
4.2. Mekanik Deneyleler.....	23
4.3. Aşınma Deneyleleri.....	25
4.4. Metalografik Çalışmalar.....	27
BÖLÜM 5.	
DENEYSEL SONUÇLAR VE İRDELENMESİ	28
5.1. Sertlik ve Basma Deneyle Sonuçları.....	28
5.2. Aşınma Deneyle Sonuçları.....	35
5.2.1. Sıcaklık ölçümleri.....	41
5.2.2. Sürtünme katsayısı ölçümleri	42
5.3. Aşınma Yüzeylerinin SEM İncelemeleri.....	47

BÖLÜM 6.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	59
6.1. Giriş	59
6.2. Sonuçlar.....	59
6.3. Öneriler.....	60
KAYNAKLAR.....	61
ÖZGEÇMİŞ.....	64

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

ZA	: Çinko-Alüminyum
N	: Normal yük (Newton)
F_s	: Sürtünme Kuvveti (Newton)
$\mu(k)$	: Kinetik sürtünme katsayısı
ASTM	: American Standards of Testing Materials
BSD	: Brinell Sertlik Değeri
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
SEI	: İkincil Elektronlarla İnceleme
BEC	: Geri Saçınımlı Elektron mikroskobisi
AAS	: Atomik Absorbsiyon Spektroskopisi

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Çinko-Alüminyum İkili Faz Diyagramı.....	6
Şekil 2.2. Sıcaklığın fonksiyonu olarak ZA8, ZA12 ve ZA27' nin gerilmesi ve uzaması.....	14
Şekil 2.3. ZA8, ZA12, ZA27 'nin kum ve kokil dökümdeki çekme gerilmelerinin DAS ile değişimi.....	16
Şekil 4.1. Sertlik-aşınma ve metalografi numunesi örnek şekli.....	25
Şekil 4.2. PLINT® Üniversal Sürtünme ve Aşınma Cihazı şekli.....	26
Şekil 4.3. Aşınma cihazının şematik yük uygulama düzeneği.....	26
Şekil 5.1. Zn-5.1~11 Al oranlarında Cu'lı ve Cu'sız numuneler için sertlik değişimi.....	31
Şekil 5.2. ZA8 alaşımına Mn ilavesinin sertlik değişim grafiği.....	31
Şekil 5.3. ZA8 alaşımına Si ilavesinin sertlik değişim grafiği.....	32
Şekil 5.4. ZA8 alaşımına Cr ilavesinin sertlik değişim grafiği.....	32
Şekil 5.5. Zn-5.1~11 Al oranlarında Cu'lı ve Cu'sız numuneler için basma akma mukavemetinin Al içeriğine göre değişimi.....	33
Şekil 5.6. ZA8 alaşımının basma akma mukavemetinin Mn ilavesi ile değişimi.....	33
Şekil 5.7. ZA8 alaşımının basma akma mukavemetinin Cr ilavesi ile değişimi.....	34
Şekil 5.8. ZA8 alaşımının basma akma mukavemetinin Si ilavesi ile değişimi.....	34
Şekil 5.9 Zn-5~11 Al oranlarında Cu'sız numuneler için aşınma hızı-yük değişim grafiği.....	35
Şekil 5.10. Zn-Al 5~26,5-1 Cu'lı alaşımlar için yük-aşınma hızı grafiği....	37
Şekil 5.11. ZA8 alaşımında Mn elementinin aşınma hızı üzerine etkisi.....	38
Şekil 5.12. ZA8 alaşımında Cr elementinin aşınma hızı üzerine etkisi.....	39
Şekil 5.13. ZA8 alaşımında Si elementinin aşınma hızı üzerine etkisi.....	41

Şekil 5.14. Zn-5.5~9 Al oranlarındaki alaşımlar için Zaman-Sıcaklık değişim grafiği.....	42
Şekil 5.15. Zn-Al 9-0 Cu alaşımı için zaman-sürtünme katsayısı grafiği....	43
Şekil 5.16. ZA8 alaşımı için zaman-sürtünme katsayısı grafiği.....	44
Şekil 5.17. ZA12 alaşımı için zaman-sürtünme katsayısı grafiği.....	44
Şekil 5.18. Zn-Al 5.5 - 0 Cu alaşımı için zaman-sürtünme katsayısı grafiği	45
Şekil 5.19. Zn-5-11 Al-0 Cu ve standart alaşım ZA8-ZA12'nin sürtünme katsayılarının yükle değişimi.....	45
Şekil 5.20. ZA8 alaşımına Cr ilavesi ile sürtünme katsayılarının yüke bağlı olarak değişimi.....	46
Şekil 5.21. Zn-5 Al-0 Cu alaşımı için SEM ve EDS çizgi analizi.....	47
Şekil.5.22. Zn-5 Al-0 Cu alaşımı için SEM BEC fotoğrafı.....	48
Şekil 5.23. ZA8- alaşımın SEM-BEC fotoğrafı.....	49
Şekil 5.24. ZA8- alaşımının SEM-EDS çizgi analizi ve element pikleri.....	50
Şekil 5.25. ZA8-0.7 Si alaşımının SEM BEC fotoğrafı.....	51
Şekil 5.26. ZA8-0.7Si alaşımının SEM EDS çizgi analizi ve pikleri.....	52
Şekil 5.27. Zn-7 Al-1 Cu alaşımının EDS çizgi analizi ve element pikleri .	53
Şekil 5.28. Zn-7 Al-1 Cu alaşımının SEM-BEC fotoğrafı	54
Şekil 5.29. ZA8-0.4 Mn ilaveli alaşımın SEM-BEC fotoğrafı.....	54
Şekil 5.30.ZA8-0.4 Mn ilaveli alaşımın SEM ve EDS çizgi analizi ve element pikleri.....	55
Şekil 5.31. ZA8-0.03 Cr ilaveli alaşımın SEM-BEC fotoğrafı.....	56
Şekil 5.32. ZA8-0,2 Si ilaveli alaşımın SEM-EDS çizgi analizi ve element pikleri.....	57
Şekil 5.33. ZA8-0,2 Si ilaveli alaşımın SEM-BEC fotoğrafı.....	58

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Çinko-Alüminyum Esaslı Alaşımların ASTM Döküm Standartlarına Göre Kimyasal Bileşimleri.....	7
Tablo 2.2. ZA alaşımları ve bazı konvensiyonel malzemelerin fiziksel özellikleri [3].....	9
Tablo 2.3. Çeşitli ZA alaşımlarının mekanik özellikleri ve bileşimi	10
Tablo 2.4. ZA alaşımları ile bazı konvensiyonel malzemelerin mekanik özellikleri.....	11
Tablo 2.5. Basınçlı çinko döküm alaşımlarının mekanik özellikleri.....	12
Tablo 4.1. Alaşımların AAS ile belirlenen kimyasal bileşimleri[16].....	24
Tablo 5.1. Alaşımlardan elde edilen Brinell sertlik ve Basma Akma Mukavemet Değerleri.....	28
Tablo 5.2. %0 Cu -Al serisi alaşımlarının ağırlık kaybı değerleri (mg).....	35
Tablo 5.3. Zn-Al'da değişen Al oranında %1Cu'lu alaşımları için yük-ağırlık kaybı.....	36
Tablo 5.4. Standart alaşımlardan elde edilen aşınma hızı değerleri.....	37
Tablo 5.5. ZA8 alaşımına Mn ilaveli alaşımlar için yük-ağırlık kaybı.....	38
Tablo 5.6. ZA8 alaşımına Cr ilaveli alaşımlar için yük-ağırlık kaybı.....	39
Tablo 5.7. ZA8 alaşımına Si ilaveli alaşımlar için yük-ağırlık kaybı.....	40
Tablo 5.8. Zn-5 Al-0 Cu alaşımı için EDS bölge analizi.....	48
Tablo 5.9. ZA8 alaşımının EDS bölge analizi.....	52
Tablo 5.10. ZA8-0.7Si alaşımının EDS bölge analizi.....	53
Tablo 5.11. Zn-7 Al-1 Cu alaşımının EDS bölge analizi.....	55
Tablo 5.12. ZA8-0.4 Mn ilaveli alaşımın EDS bölgesel element analizi.....	56
Tablo 5.13. ZA8-0.03 Cr ilaveli alaşımın EDS bölge analizi.....	57
Tablo 5.14. ZA8-0.2 Si ilaveli alaşımın EDS bölge analizi.....	58

ÖZET

Anahtar Kelimeler: ZA alaşımları, pin on roller, SEM, sũrtũnme, sertlik.

Ticari ȃnemi gittikçe artan ınko-alũminyum esaslı yatak alaşımları ũzerindeki araştırmalar gũnũmũzde yoğun bir biçimde devam etmektedir. Bu alaşımlar, konvensiyonel yatak malzemelerine gȃre pek çok ũstũnlũklere sahiptir. ZA esaslı alaşımların aşınma direncinin ve mukavemet/ağırlık oranının yũksek olması, alaşım elementlerinin kolaylıkla ve ucuz olarak temin edilebilmesi, ideal dȃkũm ve ısıl işlem ȃzelliklerine sahip olması bu alaşımların en ȃnemli ũstũnlũkleridir. Yapılan araştırmalar bakır, magnezyum, mangan, silisyum gibi alaşım elementi katkılarının ZA alaşımlarının mukavemetini arttırdığını gȃstermiřtir.

Bu çalışmada, ȃncelikle standart alaşımlar ZA8, ZA12 ve ZA27'nin pin on roller aşınma ȃzellikleri belirlenmiştir. Bunu yanı sıra Zn-Al 5'den başlayarak ZA12'nin Al içeriği olan 11 Al oranına kadar bakırsız ve %1 Cu ilaveli alaşımların aşınma ȃzellikleri araştırılmıştır. Daha sonra ZA8 alaşımının bileşiminde bulunmayan Mn (%0.01-0.5), Si (%0.1-1.1) ve Cr (%0.01-0.2) alaşım elementleri ilave edilerek ũretilen alaşımlarda pin on roller tipi aşınma ȃzellikleri belirlenmiştir. Buna ilave olarak tũm alaşımların Brinell sertlik değerleri ve basma akma mukavemetleri tespit edilmiştir. Aşınma deneyleri 42, 62 ve 82 N'luk yũklerde, 1.57 m/sn sabit kayma hızında ve 1.413 km mesafe boyunca yapılmış ve ağırlık kayıplarından yararlanılarak aşınma hızı değerleri belirlenmiştir. Deney esnasında sũrtũnme katsayıları aşınma cihazından elde edilerek kaydedilmiş ve grafiğe aktarılmıştır. Aşınma yũzeyleri ise SEM-EDS analizi ile karakterize edilerek yorumlanmaya çalışılmıştır.

THE EFFECT OF ALLOYING ELEMENT ADDITION ON WEAR PROPERTIES OF ZA8 ALLOY

SUMMARY

Keywords: ZA alloys, wear-friction, SEM, pin-on-roller, hardness.

There are several types of metal bearings produced by different methods and materials due to the properties of usage area. ZA alloys were begun to be used as an alternative bearing material to conventional bearing alloys such as white metal and bronze. As a result of performed studies on bearings, it is found that ZA based alloys have the same, even better bearing properties than that of bronze.

In this work, it was investigated to determine the optimum alloy the highest wear resistance property. The experiments were carried out on the ZA based alloys by changing Al contents from 5 to 11, these alloy were characterized. Si, Cr, Mn also added to standard ZA8 alloy was tested to compare with ZA8, ZA12, ZA27 master alloys. The wear tests were performed depending on different loads while holding the sliding speed and sliding distance constant as 1.57 m/sn. and 1.413 km., respectively. Tests were conducted by the PLINT Universal Friction and Wear Test Machine. Three different loads were applied to all alloys to see the comparable differences of weight loss. After graphing the results of wear tests, the SEM-EDS analyses were also made to determine the wear characteristics of alloys and the elements in them. As seen from the SEM, Fe was in present after the tests, because of the wear of steel disc used for grinder.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Endüstride çeşitli döküm yöntemleriyle üretilen metal yataklar, iki yüz yılı aşkın süreden beri otomotiv ve makine sanayi gibi bir çok sektörde yaygın biçimde kullanılmaktadır. Kullanım yerinin özelliğine göre seçilen değişik tiplerde ve farklı malzemelerden üretilen metal yataklar mevcuttur. Son yıllarda konvensiyonel yatak alaşımı olan beyaz metal ve bronzun yanı sıra, çinko-alüminyum(ZA) esaslı alaşımlar da alternatif yatak malzemesi olarak kullanılmaya başlanmıştır.

1960 ve 1970'li yıllarda genel döküm alaşımlarının bir grubu olarak ZA8, ZA12 ve ZA27 alaşımları geliştirilmiştir. 1981-86 periyodunda ise söz konusu alaşımların yatak olarak kullanımları araştırılmıştır. Yataklar üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda, ZA12 ve ZA27'nin bronz alaşımlarına eş ya da daha üstün yatak performansına sahip olduğu tespit edilmiştir[1].

Ticari önemi gittikçe artan ZA esaslı yatak alaşımları üzerindeki araştırmalar günümüzde yoğun bir biçimde devam etmektedir. Bu alaşımlar, konvensiyonel yatak malzemelerine göre pek çok üstünlüklere sahiptir. ZA esaslı alaşımların aşınma direncinin ve mukavemet/ağırlık oranının yüksek olması, alaşım elementlerinin kolaylıkla ve ucuz olarak temin edilebilmesi, ideal döküm ve ısıl işlem özelliklerine sahip olması bu alaşımların en önemli üstünlükleridir. Yapılan araştırmalar bakır, magnezyum, mangan, silisyum gibi alaşım elementi katkılarının ZA alaşımlarının mukavemetini arttırdığını göstermiştir [1].

Dünya çinko tüketiminin yaklaşık yarısı, galvanizli çelik üretiminde çelik yüzeyini korozyondan korumak amacıyla kullanılmaktadır. İkinci en çok tüketim alanı ise 1920'li yıllardan başlayarak geliştirilen Çinko pres döküm alaşımlarıdır. Günümüzde Zamak alaşımları olarak bilinen bu alaşımlar, dekoratif ve yapısal amaçlı olarak yaygın kullanım alanlarına sahiptir [1].

Başlangıçta kum ve metal kalıba döküm için geliştirilen ZA alaşımları, basınçlı döküm teknolojisinde de başarılı bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Bu alaşımların üçü de soğuk kamaralı basınçlı döküm yöntemi ile dökülebilmekte ve ayrıca ZA-8 düşük ergime sıcaklığı nedeniyle sıcak kamaralı basınçlı döküm yöntemi ile de başarılı olarak üretilebilmektedir[2,3]. İyi mekanik özelliklerinin yanı sıra, sahip olduğu üstün sürünme özellikleri ve sıcak kamaralı basınçlı döküm yöntemi ile ekonomik bir şekilde dökülebilmesi, ZA8 alaşımını, ZA alaşım ailesi içerisinde optimum özelliklere sahip en ilgi çeken alaşım olarak ortaya çıkarmaktadır. Bu nedenle, bu alaşımın sahip olduğu özellikleri geliştirmek ve özellikle de sürünme ve aşınma direncini daha da iyi seviyelere çıkararak kullanım alanlarını arttırmak amacıyla, dünyanın değişik yerlerindeki bir çok araştırma merkezlerinde bu alaşım üzerinde yoğun geliştirme çalışmaları sürdürülmektedir[2, 3].

Yapılan araştırmalar Cu, Mg, Mn, Si gibi alaşım elementi katkılarının ikili Zn-Al alaşımlarının mukavemetini arttırdığını göstermiştir[1]. Ancak alaşım elementi oranlarının Zn-Al esaslı alaşımların özellikleri üzerindeki etkileri tam olarak belirlenememiştir.

Bu çalışmanın amacı öncelikle ZA8 alaşımına değişen oranlarda Mn, Cr, Si alaşım elementi ilavelerinin aşınma, sertlik ve basma akma mukavemeti değerlerine etkisini belirlemektir. Bunun yanı sıra ötektik alaşım (%5) ile ZA12'nin Al bileşimi olan %11 aralığında bakırsız ve %1 Cu'lu olarak üretilen alaşımların söz konusu özelliklerini incelemektir. Aşınma deneylerinin ardından yapılan SEM, EDS(Energy Dispersive Spectroscopy) çizgi analizleri yardımıyla da mekanik özellik-içyapı ilişkisi açıklanma çalışılmıştır.

BÖLÜM 2. ÇİNKO ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI

Zn oda sıcaklığının altında deformasyon sertleşmesine uğrayan bir kaç metalden biridir. Oda sıcaklığında düşük gerilmeler Zn' nin yapısında kalıcı bozunum yaratabilir. Zn metalinin temel kullanım nedeni, onun yüksek korozyon direncine dayanımı, korozyon direnci düşük olan bir metalin yüzeyi çinko ile kaplanır ise yüzeyin korozyona karşı direnci artar. Özelde ve büyük oranda çeliklerin galvanizleme işlemlerinde çinko bu amaçla kullanılmaktadır[3].

Çinko metalinin ikinci en çok tüketim alanı ZAMAK olarak adlandırılan pres döküm alaşımlarının üretimidir[2]. Zn levhanın en çok kullanıldığı alan pil ve akü sanayidir. Genleşme katsayısı çok yüksek olan bu element oda sıcaklığında bile sürünme özelliği gösterebilir.

Bazı malzemelerin düşük sıcaklıkta gevrek kırılma gösterdikleri bilinmektedir. Zn ve Zn alaşımları bunlara güzel bir örnek oluşturmaktadır. +10°C ile -15°C arasında kırılma gösteren. Bu alaşımların daha düşük sıcaklıklardaki darbe dayanımları diğer alaşımların örneğin dökme demirin olağan sıcaklıklardaki değerine yakındır[3]. Zn alaşımlarının 60 °C 'ye kadar bu özelliklerini korudukları bilinmektedir.

Çinkonun düşük ergime sıcaklığı nedeniyle, Zn metali gibi Zn alaşımları da oda sıcaklıkları üzerinde sürünme gösterirler. + 100 °C 'de çekme dayanımı 20 °C 'deki değerinin %80 'ni kadardır. Uzaması ise üç katına eşittir. Bu nedenle bu alaşımların 100 °C üzerindeki sıcaklık uygulamalarında kullanılması tavsiye edilmez[3].

2.1. Kullanım Alanları

ZA alaşımlarının aşınma özellikleri, konvansiyonel yatak malzemelerine kıyasla daha iyi olduğundan rahatlıkla bu alaşımların yerine ikame edilebilmektedir. Kara ve

demiryolu taşıtlarında, burç, kaymalı, taşıyıcı yatak olarak deneme çalışmalarından olumlu sonuçlar alınmıştır [4].

Aşağıda bazı Zn-Al alaşımlarının kullanım yerleri belirtilmektedir [4].

2.1.1. ZA8

Yüksek mukavemetin gerekli olduğu yerlerde, otomobiller, genel madeni eşyalarda, tarım ekipmanlarında, elektronik ve elektrik tertibatlarında, ev ve bahçe aletlerinde, bilgisayarlar, iş makinelerinde, kayıt makinelerinde, radyolar ve el aletlerinde kullanılmaktadır.

2.1.2. ZA12

ZA12, ZA8'in kullanıldığı tüm yerlerde kullanılır. İlaveten bu alaşım yüksek yük düşük hız uygulamalı yataklarda da tercih edilmektedir.

2.1.3. ZA27

Çok yüksek mukavemet gerektiren yerlerde kullanılır. Otomobil motorlarında, lokomotif parçası olarak, madeni eşyalarda, tarım ekipmanlarında , ev ve bahçe aletlerinde, ağır yüklerle çalışan el ve iş aletlerinde kullanım alanı vardır. Bu alaşım yaygın olarak yüksek yük düşük hız uygulamalı yataklarda daha çok tercih edilmektedir.

2.2. ZA Alaşımlarının Avantajları [5,6]

- Ergitme için daha düşük enerji ; Ergime derecesi bronz esaslı yataklardan daha düşüktür.
- Çevre kirlenmesinin olmaması : Kurşun ve Kalay esaslı yataklar çevreyi kirletir.
- Mükemmel dökülebilirlik : Dökme demirden iyi, alüminyum ve bronz eşit.
- İyi mekanik özellikler : Özellikle mukavemet ve tokluk açısından
- Hassas yüzey özellikleri

- Bronzdan daha düşük maliyet
- Talaşlı imalat dikkate alındığında dökme demire nazaran daha düşük maliyetlidir.

ZA alaşımları daha düşük sürtünme katsayısına sahip tabii yağlıdırlar. Sertlikleri de bronzdan daha yüksektir. Dolayısıyla yatak ömrü olarak daha uzun ömürlüdürler.

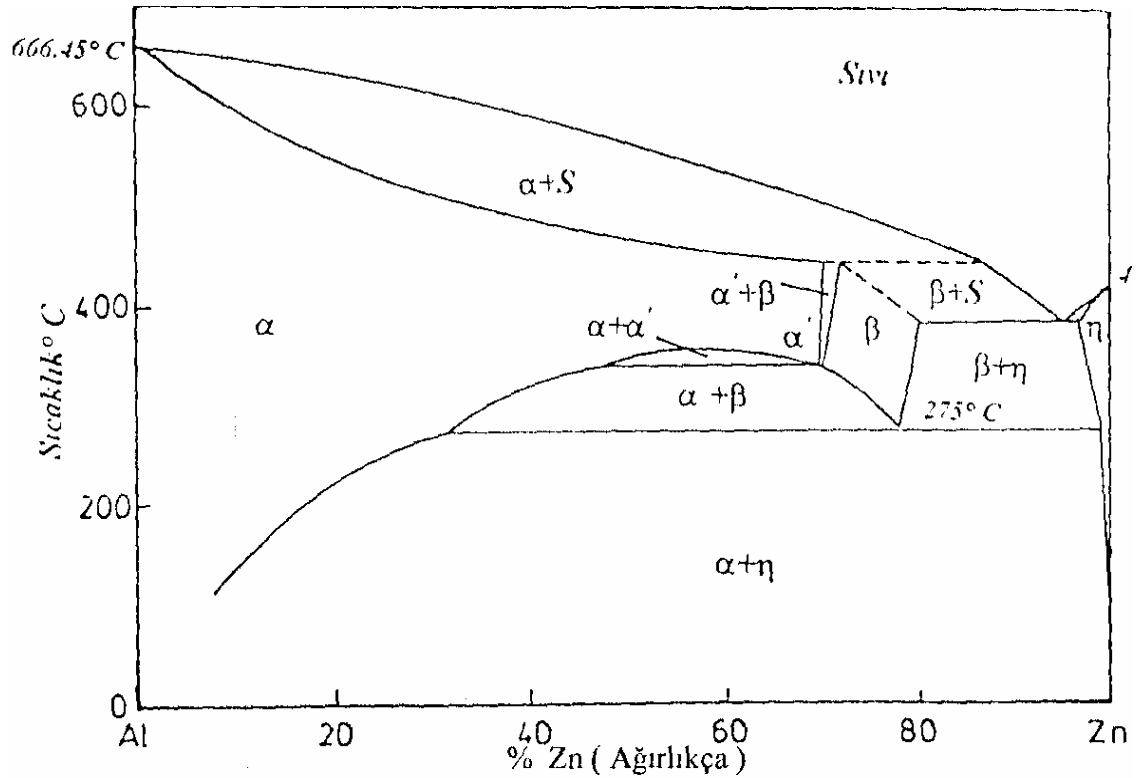
Yatak olarak kullanıldığı yerlerde yağlamanın yetersiz olduğu zamanlarda yüksek sürtünme ısısından yatak hasara uğramaktadır. Bronz yataklar büyük bir olasılıkla şaftı yakarlar. ZA alaşımlarının yağlama afinitesi daha yüksek olduğu için yatak özelliklerini daha uzun süreli muhafaza edebilirler. Daha az şaft aşınması meydana gelir veya şaftın yüzeyi kazınarak tekrar kullanılabilir.

2.3. Çinko-Alüminyum Faz Diyagramları

2.3.1. İkili faz diyagramı

Çinko-alüminyum ikili sistemi üzerinde birçok araştırmacı çalışmıştır. İkili denge diyagramı ilk defa Presnyakov ve arkadaşları tarafından ortaya konulmuş ve daha sonra Goldak ve Parr bazı değişiklikler yapmıştır. Bu diyagramın en son hali Şekil 2.1'de görülmektedir. Bu diyagramda; alüminyumca zengin katı eriyik α , monoötektoidin çinkoca zengin tarafında kalan kısmı ise α' , yüzey merkezli ve daha fazla çinko içeren ötektoid fazı β ve çinko bakımından zengin diğer uç katı eriyiği de η fazı ile tanımlanmaktadır. Bu diyagramdaki faz reaksiyonları; 443°C de peritektik, 380°C de ötektik, 340°C de monoötektoid ve 275°C de ötektoid dönüşümlerdir[4,7].

351°C ve 340°C sıcaklıkları arasında, alüminyumca zengin katı eriyikler, farklı miktarlarda çinko içerdiklerinden ve kafes parametreleri farklı olduğundan α ve α' olarak ikiye ayrılmaktadır. α ve α' nün karışabilme aralığı 340°C de %49 Zn dan %69.5 Zn ya kadar uzanmaktadır ve 351°C de tek bir noktaya ulaşmaktadır. $\alpha+\beta$ bölgesi ise %69.5 Zn içeren ötektoid noktadan 443°C deki peritektik noktaya kadar dar bir alanı kapsamaktadır, Çinko içerisinde Al çözünürlüğü ötektik sıcaklığında yaklaşık olarak % 1.1, ötektoid sıcaklığında azalarak %0.65 ve 227°C %0.42 olmaktadır[7].



Şekil 2.1. Çinko-Alüminyum İkili Faz Diyagramı [4]

Kübik yüzey merkezli β fazının kafes parametresi %70 Zn içeren durumda 4.04 \AA iken, %76 Zn içermesi durumunda 4.03 \AA 'e düşmektedir. Saf KYM Alüminyum'un 25°C 'deki kafes parametresi 4.0414 \AA dur. α bölgesinde %65 Zn içeren bölüme kadar lineer bir şekilde azalarak 4.04 \AA değerine ulaşmaktadır. Çinko hegzagonal sıkı paket kristal yapısına sahiptir ve kafes parametreleri saf olduğu zaman $a:2.6595 \text{ \AA}$, $c:4.9368 \text{ \AA}$, alüminyum ile katı eriyik yaptığında, $a:2.665 \text{ \AA}$, $c:4.987 \text{ \AA}$ olmaktadır[7].

Yukarıda adı geçen çinko-alüminyum esaslı döküm alaşımlarının ASTM Döküm Standardı'na göre % ağırlıkça kimyasal bileşimleri Tablo 2.1'de verilmektedir [8].

Tablo 2.1. Çinko-Alüminyum Esaslı Alaşımların ASTM Döküm Standartlarına Göre Kimyasal Bileşimleri [8].

Element %	Zamak-3	Zamak-5	ILZRO-16	ZA-8	ZA-12	ZA-27
Al	3.5-4.3	3.5-4.3	0.01-0.04	8.0-8.8	10.5-11.5	25-28
Cu	0.25 max.	0.75-1.25	1.0-1.5	0.8-1.3	0.5-1.2	2.0-2.5
Mg	0.02-0.05	0.03-0.08	0.02	0.015-0.030	0.015-0.030	0.010-0.020
Ti	-	-	0.15-0.25	-	-	-
Cr	-	-	0.1-0.2	-	-	-
Fe max.	0.100	0.100	0.004	0.075	0.075	0.075
Pb max.	0.005	0.005	0.005	0.006	0.006	0.006
Cd max.	0.004	0.004	0.004	0.006	0.006	0.006
Sn max.	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
Zn	Kalan	Kalan	Kalan	Kalan	Kalan	Kalan

2.3.2. ZA alaşımlarının faz dönüşümleri

Zn-Al denge diyagramına bağlı olarak, herhangi bir faz dönüşümüne maruz kalabilecek katı eriyikler aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadır:

- Alüminyumca zengin α fazı
- α / α' fazı
- Ötektoid β fazı
- Çinkoca zengin η fazı

ZAMAK3 alaşımının mikro yapısı dendiritik çinkoca zengin η fazı ile ötektik yapıdan oluşmaktadır. Ötektik matriks, β ve η karışımından meydana gelmekte, ötektoid dönüşüm sonunda β fazı, α ve η ya dönüşmektedir[4].

ZA8, Zn-Al sisteminde ötektik üstü bir alaşım olup, α ve η lamelli ötektik matriksinde primer- β dendiritlerini oluşturarak katılaşmaktadır. 275°C' nin altında β kararsızdır. Ötektoid dönüşüm sonucu η ve α ya dönüşmektedir.[7] Katılan ilk faz Çinkoca zengin olacağından, birincil dendritlerin merkezinde en dış uca nazaran daha fazla Zn bulunmaktadır[9].

ZA12 alaşımında da ötektik matris içinde dönüşüme uğramış primer β dendritleri daha fazla bulunmaktadır. Dolayısıyla ötektik miktarı daha az olmaktadır. Ötektik yapı büyük oranda çinkoca zengin η ve ayrışmış halde bulunan β parçacıklarından meydana gelmektedir. ZA12'nin katılaşma aralığı (43°C) geniş olduğundan, büyük oranda dendritik yapı görölmektedir. Primer- β dendritleri oda sıcaklığında $\alpha+\eta$ ya dönüşmektedir [10].

2.4. ZA Alaşımının Fiziksel Özellikleri

Al-Zn ikili diyagramında göröldüğü gibi Al miktarı ile alaşımın ergime noktası ve katılaşma aralığı değişmektedir. Dengesiz döküm şartlarından dolayı ötektik sıcaklık döküm sıcaklığı olarak alınmaktadır. ZA8 için likidüs sıcaklığı 404°C ve katılaşma aralığı 29°C dir, ZA12 için 432°C ve 55°C , ZA27 için ise 484°C ve 109°C 'dir. ZA27 alaşımının oldukça yüksek ergime aralığından dolayı, aşırı miktarda çekilme boşluğundan kaçınmak için katılaşma yönlendirilmiş bir tarzda kontrol edilmelidir[2].

Üç alaşımın (ZA8, ZA12, ZA27) yoğunluğu Al içeriği ile ilgilidir. Yoğunluğu 5 g/cm^3 olan ZA27, kokil döküm alaşımı ZAMAK3' den %25, dökme demirden %45, bakırdan %65 daha hafif ve alüminyumdan %80 daha ağırdır[10].

Oda sıcaklığındaki elektriksel direnç ve iletkenlik de Al içeriği ile değişir. ZA12' nin oda sıcaklığındaki iletkenliği ortalama olarak %28.3 IACS' dir. Bahsedilen elektriksel iletkenlik Al 356-T6 için %39 IACS ve Al A380 için %27 IACS, pirinç ve bronz için %10 IACS ve dökme demirde %6-7 IACS değerindedir [10].

Termal genleşme katsayısı pres ve sıkı geçme yatak durumlarında önemlidir. $20\text{-}100^\circ\text{C}$ aralığında, ZA alaşımlarının termal genleşme katsayısı çoğu Al ve Cu alaşımlarından daha yüksektir. ZA Alaşımlarının termal genleşme katsayısı dökme demirin değerinin iki katına yakındır. 24°C deki termal iletkenlik $115\text{-}125.5\text{ W/m}^2\text{K}$ arasında değişmektedir. Bu değerler bir çok alüminyum alaşımıyla aynı seviyededir fakat ticari bakır döküm alaşımlarının değerinden daha yüksektir [11].

Tablo 2.2. ZA alaşımları ve bazı konvensiyonel malzemelerin fiziksel özellikleri [3]

Alaşım		Döküm Tekniği	Yoğunluk (g/cm ³)	Erieme Aralığı (°C)	Termal Genleşme Kats	Termal İletkenlik (W/mK)	Elektrik İletkenlik (IACS)
Zn	No3	Basınç	6.66	381-387	27.4	113	27
	No5	Basınç	6.7	380-386	27.4	109	26
	ZA8	Kokil	6.3	375-404	23.2	115	27.7
		Basınç					
	ZA12	Kum	6.03	377-432	24.1	116	28.3
		Kokil					
		Basınç					
	ZA27	Kum	5	375-484	26	125.5	29.7
		Kum(TT)					
Basınç							
Al	356-T6	Kokil	2.69	556-615	21.5	151	39
	380	Basınç	2.74	540-595	21.8	96.2	27
	319	Kum	2.8	515-605	21.5	109	27
Pirinç	SAE40	Kum	8.83	855-1010	18	72	15
Bronz	SAE660	Kum	8.93	855-975	18	59	12
	ZAE64	Kum	8.88	762-928	18.5	46.9	10.1
DD	GG30	Kum		>1176	12.1	49-52	.....
	Temper	Kum	7.2-7.45	>1232	11.9	.....	6

2.5. ZA Alaşımlarının Mekanik Özellikleri

Zn-Al sisteminde ötektik kompozisyonundaki Zn basınçlı döküm alaşımları 1920lerdeki ilk bulunuşundan bu güne kadar endüstriyel uygulamalarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bunların başarısı iyi dökülebilirlik ve akışkanlık, yüksek üretim hızları sağlayan sıcak kamaralı basınçlı döküm makinelerinde dökülebilmeleri ve iyi mekanik özelliklere sahip olmalarından dolayıdır. Son yıllardaki ince duvarlı kalıp döküm teknolojisindeki gelişmeler ağırlık azaltarak kompleks şekilli parçaların üretilmesine izin vermiştir[10].

Tablo 2.2'de en cazip mekanik özelliklerin ZA alaşımları ve özellikle de iyi mukavemet/yoğunluk oranına sahip olan ZA27 ile elde edileceği görülmektedir. Bu nedenle, bu alaşım diğer döküm alaşımları olan Cu veya Al alaşımları veya dökme demirle başarılı bir şekilde rekabet edecek özelliklere sahiptir[12].

Tablo 2.3. Çeşitli ZA alaşımlarının mekanik özellikleri ve bileşimi [12]

Alaşım	Bileşim			Döküm Tekniği				Mek. Özell.			Yog. (g/cm ³)
	% Al	% Mg	% Cu	Sıc.K. Basınç	Sog.K. Basınç	Kum dök.	Kokil dök.	Çekme Muk. (MPa)	Uzun ma (%)	Sertlik Birinell	
Zamak3	3.8-4.3	0.03- 0.06	----	X	----	----	----	260-300	5-8	90	6.6
Zamak5	3.8-4.3	0.03- 0.06	0.75- 1.25	X	----	----	----	300-360	3-6	85-95	6.7
ZA8	8.0-8.8	0.01- 0.03	0.8-1.3	----	----	----	X	250-270	1-3	100-110	6.3
ZA12	11-	0.01-	0.5-1.5	----	X	----	----	440	1-	105-125	6.0
	11.5	0.03		----	----	X	----	320-350	1-3	110-120	6.0
				----	----	----	X	320-350	1-3	110-120	6.0
ZA27	25-28	0.01-	2.0-2.5	----	X	----	----	400-430	1-	110-125	5.0
		0.02		----	----	X	----	380-420	3-6	110-125	5.0
				----	----	----	X	400-440	5-10	110-125	5.0
ZA35	30-35	0.5- 1.0Si	3-5	----	(X)	X	X	290-390	5-10	90-120	4.6

ZA alaşımlarının bir çok çalışmadan alınan mekanik özelliklerinin tipik değerleri, Tablo 2.3' de verilmiştir. Verilen tüm alaşımlarda, kuma döküm ve kokil döküm ZA27 nin çekme ve %0.2 akma mukavemeti kokil döküm ZA8 ve ZA12 alaşımlarından daha iyidir. Kuma döküm ZA8 alaşımının çekme ve akma gerilme değerleri, kokil döküm yöntemleri ile %50 oranında artırılabilir. ZA12 için ise bu değerler sırasıyla, %30 ve %45 olmaktadır. Kokil döküm ile sağlanan hızlı katılma sonucu, mikroyapının incilmesi bu artışı sağlamaktadır[12].

Tablo 2.4'de görüldüğü gibi, ZA alaşımları içinde en yüksek değerdeki çekme gerilmesi kuma döküm ve basınçlı döküm ZA27' dedir ve 400-440 MPa arasındadır[12]. ZA12 orta dirençteki ihtiyaçları karşılamakta ve Al alaşımlarına, dökme demirlere ve bronzlara karşı alternatif malzeme olarak görülmektedir. Kum kalıba dökümdeki çekme gerilmesi 276-317 MPa, kokil dökümde ise 310-345 MPa değerindedir[10]. ZA8 de, orta dirençteki ihtiyaçları karşılamakta fakat ZA12' den daha düşük çekme gerilmesine sahiptir[11].

Tablo 2.4. ZA alaşımları ile bazı konvansiyonel malzemelerin mekanik özellikleri

Alaşım	Döküm Tekniği	Çekme Muk.(MPa)	%0.2 Akma(MPa)	Elastik Mod.(GPa)	% Uzama	Brinell Sertlik	Darbe Direnci(J)	
Zn	No3	Basınç	283	.....	.....	10	82	58
	No5	Basınç	331	.....	.....	7	91	65
	ZA8	Kokil	221-255	207	85.5	1-2	85-90	.....
		Basınç	365-386	283-296	.....	6-10	93-107	32-48
	ZA12	Kum	276-317	207	83	1-3	92-96	23-27
		Kokil	310-345	248-276	81	1.5-2.5	85-95	.....
		Basınç	391-414	310-331	.....	4-7	95-105	20-37
	ZA27	Kum	400-441	365	75	3-6	110-120	31-34
		Kum(TT)	310-324	255	79	8-11	90-110	47-74
Basınç		407-441	359-379	.....	2-3.5	116-122	9-16	
Al	356-T6	Kokil	262	186	72.4	5	80	10
	380	Basınç	342	158	71	3-5	80-85	5
	319	Kum	185	124	74	2	70	6
Pirinç	SAE40	Kum	255	117	83	30	60	15
Bronz	SAE660	Kum	240	124	100	20	65	8
	ZAE64	Kum	240	124	80	20	60	15
DD	GG30	Kum	214	124	90-113	....	210	.....
	Temper	Kum	345	221	172	10	110-156	54-88

2.5.1. Oda Sıcaklığındaki Mekanik Özellikler

Çinko-Alüminyum esaslı ZA alaşımlarının; birçok uygulamalarda, konvansiyonel Zamak alaşımı, pirinç, bronz ve bazı alaşımları ile dökme demirin çok kısa sürede yerini almasının sebebi, mükemmel dökülebilirliklerinin yanı sıra göstermiş oldukları yüksek mekanik özelliklerdir [3].

ZA alaşımlarının üçü de mekanik özelliklerin iyi bir kombinasyonuna sahiptir. Fakat, özellikle ZA27 alaşımı kuma döküm ve basınçlı döküm şartlarında göstermiş olduğu yüksek çekme mukavemeti ile dikkatleri üzerine çekmektedir [3, 12].

ZA27 alaşımı basınçlı döküm şartlarında yaklaşık 440 MPa 'lık bir çekme mukavemetine sahiptir. Bu değer, Tablo 2.4'de görüldüğü gibi bazı Alüminyum alaşımları ve dökme demirlerin çekme mukavemetinden daha yüksektir[12]. Ayrıca, ZA alaşımlarının Brinell Sertlik değerleri Al ve Cu alaşımlarından daha iyidir. ZA-27 alaşımı yaklaşık 119 BSD 'lik bir değer ile ZA alaşım ailesi içinde en yüksek

sertliğe sahiptir. Fakat bu değer dökme demirlerin sertliğinden düşüktür. ZA-8 alaşımı %8 'lik bir çekme uzaması ile en iyi süneklik değerine sahiptir ,bu değer ZA12 'de %5 ve ZA27 'de ise %2-3.5 aralığındadır. Tablo 2.4.'de görüldüğü gibi, ZA27 alaşımının çekme ve akma mukavemeti değerleri döküm tekniğinden önemli miktarda etkilenmezken, ZA8 'in kokil döküm tekniği ile elde edilen çekme ve akma mukavemeti değerleri basınçlı döküm ile yaklaşık %50, ZA12 'nin ise sırası ile %30 ve %45 oranlarında arttırılabilmektedir[3]. Basınçlı çinko döküm alaşımlarının mekanik özellikleri Tablo 2.5’de verilmiştir.

Tablo 2.5 :Basınçlı çinko döküm alaşımlarının mekanik özellikleri.

Mekanik Özellikler	Alaşım Dizaynı						
	2	3	5	7	ZA8	ZA12	ZA27
Çekme Gerilmesi (MPa-Yaşlandırılmış)	358.5	282.7	128	282.7	374	404	426
Akma Gerilmesi (% 0.2)MPa	-	-	-	-	290	320	371
Yüzde Uzama (Yaşlandırılmış)	7	10	7	13	6-10	4-7	2.5
Sertlik (HBN-500 kg.)	100	82	91	80	100-106	95-105	116-122
Kesme Mukavemeti (MPa-Yaşlandırılmış)	317	213.7	262	213.7	275	296	325
Darbe Direnci (Joules-6.35 x 6.35mm.)	47.5	58.3	65.1	58.3	42	29	5
Yorulma Dayanımı (5 x 10 ⁸ devir - MPa)	58.6	47.6	56.5	46.9	103	-	145

ZA alaşımlarında yapılan darbe deneyleri, ZA8 ve ZA12 alaşımlarında çok açık olarak gevrek-sünek geçiş sıcaklığının bulunduğunu göstermiştir. Fakat, bu ZA-27 alaşımında çok açık olarak belli değildir. Üç alaşım için belirlenen geçiş sıcaklıkları şu şekildedir; ZA-8 için 20 °C, ZA-12 için 15 °C ve ZA-27 için ise -5 °C 'dir[9].

100 °C sıcaklıkta yapılan deneylerde, ZA-8 65 Joule' lük bir darbe dayanımı gösterirken, ZA-12 'nin 45 Joule ve ZA-27 'nin ise 19 Joule 'lük darbe enerjisine sahip olduğu gözlenmiştir[16]. Oda sıcaklığı şartlarında, basınçlı döküm ile üretilen ZA-8 alaşımı, ZA-12 ve ZA-27 alaşımından daha yüksek darbe dayanımına sahiptir, ZA-27 'nin düşük olan darbe dayanımı, döküm esnasında oluşan çekilme boşluğu ve porozite ile ilişkilidir. Bununla birlikte, soğuk kamaralı basınçlı döküm tekniği ile daha kaliteli dökümlerin elde edilebileceği belirtilmektedir [3].

2.5.2. Sıcaklığın mekanik özelliklere etkisi

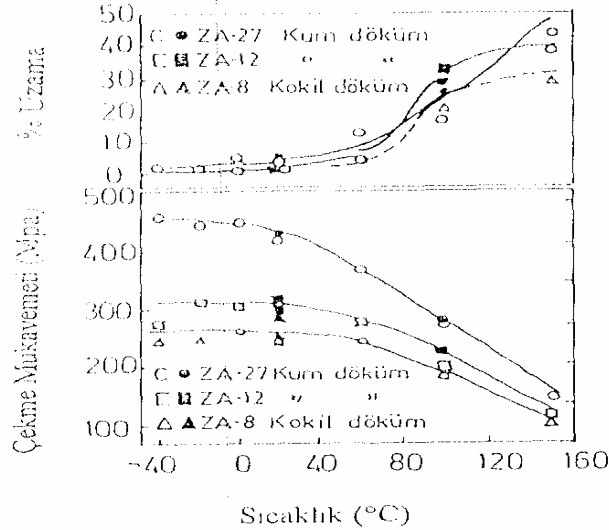
Çinko esaslı alaşımlar düşük ergime sıcaklığı nedeniyle üretimde çeşitli avantajlar sağlamanın yanında, sıcaklığın artması durumunda mekanik özelliklerde önemli düşme meydana gelmektedir. Kelvin skalasına göre, oda sıcaklığı çinkonun ergime sıcaklığının %40'ına, 150 °C ise yaklaşık %56 'sına karşılık gelmektedir. Bu nedenle çinko-alüminyum esaslı alaşımların tümünde, artan sıcaklık ile çekme mukavemetinde önemli oranda azalma meydana gelmektedir. Yaklaşık 80°C'ye kadar en yüksek mukavemet değerine ZA-27, en düşük mukavemet değerine ise Zamak 3 alaşımı sahiptir. Daha yüksek sıcaklıklarda ise, tüm alaşımların çekme mukavemeti birbirine yakın değerler almaktadır[9]. Diğer alaşımlar ise, sıcaklığın artmasından çok daha az etkilenmektedirler. Örneğin kokil döküm alüminyum alaşımı A380, 100°C 'de oda sıcaklığına yakın bir çekme mukavemetine sahiptir.

Çinko-Alüminyum esaslı alaşımların mukavemet değerleri azalan sıcaklık ile artış göstermektedir. Bu alaşımlardan ZA-27 'nin -40°C'deki mukavemet değeri, oda sıcaklığına göre yaklaşık %20 daha fazladır. Bu artış ZA-12 'de %12, ZA-8 'de ise % 10 civarındadır.

Yapılan bir çalışmada[13] ZA alaşımlarının sertlik, çekme mukavemeti gibi değerlerinin artan Al oranı ile belirgin bir şekilde arttığı gösterilmiştir. Ayrıca artan Al oranıyla % uzamanın da azaldığı belirtilmektedir. Yüksek sıcaklıklardaki çekme testleri göstermektedir ki, Al içeriği artışı ile % uzama düşüş göstermektedir. 25°C'deki çekme mukavemeti 60°C ve 100°C'deki çekme mukavemetlerinden 20-30 MPa daha yüksek bulunmuştur. Aynı çalışmada yapılan aşınma testlerinden alınan EDXA analizlerinde de yapıda bulunmayan ve aşındırıcı diskten geçen Fe partiküllerine rastlanmıştır[13]. Zn-Al alaşımlarının düşük ergime sıcaklığına sahip olması üretim yönünden avantaj sağlamasına karşın alaşımların özelliklerini sıcaklığa karşı duyarlı hale getirmektedir. Sıcaklık arttıkça çekme gerilmesi, akma gerilmesi ve sertlik düşerken süneklik artmaktadır[11].

Şekil 2.2.' de ZA8, ZA12 ve ZA27 alaşımlarının sıcaklığın fonksiyonu olarak çekme gerilmeleri ve uzama değerleri görülmektedir[10].

100°C' de ZA27' nin çekme özellikleri bir çok Al ve Cu döküm alaşımlarının oda sıcaklığındaki özelliklerden daha iyidir. Hatta bu özellikler yüksek süneklikle birlikte elde edilebilmektedir.



Şekil 2.2. Sıcaklığın fonksiyonu olarak ZA8, ZA12 ve ZA27' nin gerilmesi ve uzaması [1]

Şekil 2.2'de görüldüğü gibi ZA alaşımlarında sıcaklığın artışıyla süneklik artmaktadır. ZA12' nin oda sıcaklığındaki uzaması yaklaşık %2.5 iken bu değer 80°C de yaklaşık %20' ye ulaşmaktadır. ZA8' de ise bu değer %2' den %5' e çıkmaktadır. Bu iki alaşımın eğrileri 70°C ile 85°C arasında hızlı bir yükseliş göstermesine rağmen, ZA27 ise kademeli bir yükselme gösterir ve 100°C üzerinde keskin bir artış göstermektedir.[11]

Basınçlı döküm ile üretilen %0-30 Al içeren Zn-Al alaşımlarında, artan Al miktarı ile primer sürünme miktarı ve toplam sürünme uzamasının arttığı, minimum sürünme hızı değerinin ZA-8 alaşımında elde edildiği açıklanmıştır [2]. Aynı çalışmada, kokil döküm ile üretilen alaşımlarda ise en iyi sürünme direnci ötektik bileşimdeki alaşımlardan elde edilmiştir.

2.5.3. Mekanik özellik - yapı ilişkisi

Şekil 2.1.'deki Zn-Al ikili denge diyagramından görüldüğü gibi Al içerisinde

çinkoca zengin katı eriyik %80 Zn bileşimine kadar uzanarak α , α' ve β olarak adlandırılan üç faz bölgesi oluşturmaktadır. Cu katkıları ikili Zn-Al alaşımlarının mukavemet, korozyon ve aşınma dayanımlarını büyük ölçüde arttırmakla birlikte istenmeyen boyutsal değişmelere de neden olmaktadır. Bu değişimler dökülmüş durumdaki alaşımların yaşlandırılması sırasında ortaya çıkan faz dönüşümlerinden kaynaklanmaktadır.[12]

Alaşımların mekanik özellikleri, kimyasal bileşimleri ve iç yapılarına bağlıdır. Ayrıca uygulanan ısıtma işlemi de mekanik özellikleri etkiler. Monotektoid bileşimindeki Zn esaslı bütün alaşımlar (%30-50) gerek dökülmüş gerekse ısıtma işlemi görmüş durumlarda, ötektoid alaşımlardan (%20-30 Al) daha yüksek mukavemet ve sertlik değerleri gösterirler.[11]

Zn-Al alaşımlarının çekme dayanımları ile sertlik değerlerinin artan Al oranı ile arttığı ve %50-69 Al oranları arasında maksimum değere ulaştığı, bu oranın üzerinde ise düştüğü görülmüştür. Çekme gerilmesi ve süneklikte mikroyapının etkisi şu farklı üç bölümde incelenebilir [14].

- 1- Isıtma işleminin etkisi
- 2- Katılma hızının etkisi
- 3- Tane incelticilerin (Alaşıma elementi ilavelerinin) etkisi.

2.5.3.1. Isıtma işleminin etkisi

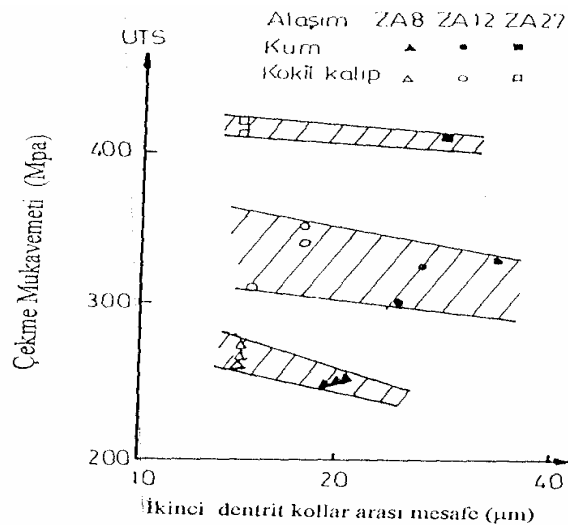
95 °C' de 10 gün yaşlandırma ısıtma işlemi, çekme ve akma mukavemetini ZA8 ve ZA12' de %20-23, ZA27' de ise %15 azaltır. ZA8 ve ZA12' de çekme uzaması, yaşlandırma ile yaklaşık iki katına çıkar. Yaşlandırma darbe mukavemetini ZA12' de %35, ZA8' de ise %55 azaltır. New Jersey Zinc Co. nın bir araştırmasına göre, 95°C de 10 gün yaşlandırma ile ZAMAK3 alaşımının çekme mukavemeti %5 azalma ile 241 MPa 'a düşmüştür. Bu işlem, çekme uzamasını %7,5 kadar arttırmıştır. Brinell sertliğini ise %24 azalma ile 62 HBN' ye indirmiştir. Ayrıca, darbe mukavemetini %10 azalma ile 54 J'e düşürmüştür[11].

20°C'de 5000 saat yaşlandırma ise, çekme gerilmesini ve sertliği etkilememiştir. 95°C 'de aynı işlem her üç alaşım için çekme gerilmesini yaklaşık %30 azaltmaktadır. Son yıllardaki araştırmalar, kuma dökümle üretilen ZA alaşımlarını oda sıcaklığında yaşlandırmanın özellikleri azaltıcı yönde etkilemediğini göstermiştir[15, 16].

Oda sıcaklığında bütün alaşımlar boyutsal değişim bakımından benzer davranış göstermektedir. Bu değer, yaklaşık %0.015-0.03 arasındadır. 95°C 'de ise ZA8 ve ZA12'de az bir miktar büzülme görülmektedir. ZA8 için 100 saatten sonra minimuma (%0.02) ulaşmakta, ZA12 için ise 200 saatten sonra %0.03'te minimuma ulaşmaktadır. 12000 saatten sonra uzama yaklaşık olarak ZA12 için %0.01 ve ZA8 için %0.03 olmaktadır. Kuma döküm numunelerinde ise ZA27 çok belirgin bir şekilde büyüme göstererek yaklaşık %0.1 genişlemektedir. Bu büyük genişleme ilk 200 saat esnasında meydana gelmektedir. Bu sonuçlardan, oda sıcaklığında yaşlandırma işleminin çok yavaş olduğu anlaşılmaktadır[15, 16].

2.5.3.2. Katılaşma hızının etkisi

Katılaşma hızı, döküm halindeki mikroyapının tane boyutu veya dendritler arası mesafesini etkilediğinden dolayı, direkt olarak hem çekme mukavemetini hem de sünekliği etkiler. Şekil 2.3'te ZA alaşımlarının mekanik özelliklerinin dendritler arası mesafeyle değişimi görülmektedir.



Şekil 2.3. ZA8, ZA12, ZA27 'nin kum ve kokil dökümdeki çekme gerilmelerinin DAS ile değişimi

BÖLÜM 3. ALAŞIM ELEMENTLERİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERE VE MİKROYAPIYA ETKİSİ

3.1. İlave Elementlerin ZA Alaşımlarının Yapısı ve Mekanik Özelliklerine Etkisi

3.1.1. Silisyum

Si, saf çinko içinde çözünmez ve mikroyapıda iğne şeklinde küçük partiküller olarak ortaya çıkar. Zn-Al esaslı alaşımlarda da silisyum çözünürlüğü çok düşüktür.

Zn-Al alaşımlarının mekanik özellikleri üzerine Si içeriğinin etkisi ile ilgili olarak değişik çalışmalar yapılmıştır, Savaşkan ve Murphy [12], Zn-%25 Al alaşımına %2.1-5.6 aralığında Si elementi ilave ederek, alaşımın sertlik ve aşınma dayanımında sürekli bir artış meydana geldiğini tespit etmişlerdir.

Çekme mukavemetinde ise %2.7 Si miktarına kadar bir artış, daha sonra ise azalma meydana gelmiştir. Yine aynı alaşıma %1.9 Si ilavesiyle aşınma dayanımında mükemmel bir iyileşme elde edilebileceğini ve bunun mikroyapıda bulunan Si partiküllerinin varlığı kadar dağılımına da bağlı olduğunu belirtmişlerdir[5,17].

%0.02 oranında Silisyum, Zn-Al esaslı alaşımlara ilave edildiğinde çekme mukavemetinde önemli bir artma meydana getirirken, % uzama ve darbe direncinde azalmaya neden olmakta ve ayrıca gevrek-sünek geçiş sıcaklığını arttırmaktadır[17]. Thompson ve Niessen, ötektik üstü Zn-%12 Al alaşımına %0.05-0.1 Si ilavesi ile ötektik tane boyutunun önemli miktarda arttığını ve darbe direncinin büyük oranda azaldığını belirtmişlerdir. Aynı oranda Si ötektik altı Zn-%4 Al alaşımına ilave edildiğinde ise, ötektik tane boyutunda önemli bir değişiklik meydana getirmediği gözlenmiştir.

Yapılan bir çalışmada Zn-40 Al alaşımına ağırlıkça %0.5'ten başlayarak %4 oranına kadar Si ilave edilmiş ve %2'ye kadar olan ilavelerde aşınmada iyileşme görülürken artan oranlardaki alaşımlandırmada ise aşınma direncinde düşüş meydana geldiğini belirtilmiştir. Yapılan ısı işlemlerin Si partiküllerinin boyutunda bir etkisi olmadığını fakat alaşımın dendritik yapısını bozarak tane inceltici rol oynadığını belirtmişlerdir. Si ilavesi ile aşınma testinde meydana gelen yivlerin artan Si oranı ile daha da büyüdüğünü belirtmişlerdir[18, 19].

3.1.2. Mangan

Mangan, saf çinko içerisinde çok düşük miktarda çözünürlüğe sahiptir. 400 °C de %0.47 olan Mn çözünürlüğü oda sıcaklığında daha da azalmaktadır. Zn-Al esaslı alaşımlarda ise, Mn çözünürlüğü çok daha düşük değerlerdedir. ZAMAK3 alaşımında 420 °C deki Mn çözünürlüğü %0.0013 iken, 390°C de ise %0.0006 seviyelerine düşmektedir. Bu nedenle, Zn-Al alaşımlarına ilave edilen Mn, bileşik yaparak yapıda intermetalik halinde bulunmaktadır.[17] Bu intermetalik fazların ortorombik kristal yapıdaki Al_3Mn ve Al_6Mn olduğu belirlenmiştir[14].

Süperplastik Zn-%22 Al ötektoid alaşımına %0.2 Mn ilavesinin, alaşımın çekme, sertlik ve sürünme dayanımında önemli artışlar meydana getirdiği bilinmektedir[14]. Fakat, ZAMAK ve ZA alaşımlarının mekanik özellikleri üzerine olan etkisi ise son yıllarda yapılan çalışmalar ile ortaya çıkarılmıştır. Kanada'da yapılan çalışmalarda, ZA alaşımlarına Mn alaşım elementi ilavesi ile sürünme dayanımında önemli artışlar meydana geldiği tespit edilmiştir[15].

3.1.3. Bakır

Çinko içerisinde bakırın çözünürlüğü çok sınırlı olmasına rağmen, Zn-Al alaşımlarında Al miktarına bağlı olarak bakırın çözünürlüğü artmaktadır[21]. Zn-Al esaslı alaşımlara Cu, mukavemet ve sertliği arttırmak amacıyla ilave edilmektedir. %2' ye kadar Cu ilaveleri çekme mukavemeti ve sertlikte artmaya sebep olurken, % uzama değerini azaltmaktadır. Ayrıca, bakır ilaveleri sürünme ve korozyon direncini arttırmaktadır[10,21].

Durman[20], %1.06 Cu içeren ZA-8 alaşımında, bakırın yarı kararlı ϵ fazı (CuZn_4) halinde ötektik η ve β fazının dönüşümü sonucu oluşan η matriks içinde çok küçük partiküller halinde çökeldiğini ve bu fazın uzun süreler (5 yıl) yapıda yarı kararlı varlığını koruduğunu gözlemiştir. Yüksek oranda (%2-3) Cu içeren alaşımlarda ise bakırın, bu morfolojinin yanı sıra dendritler arası bölgelerde yine ϵ fazı olarak fakat büyük partiküller halinde bulunduğu belirlenmiştir.

Bununla beraber, Cu ilaveleri 275°C de meydana gelen $\beta \longrightarrow \eta+\alpha$ ötektoid dönüşümünü geciktirmektedir[10,21]. Ayrıca, %5 Cu içeren ZA alaşımının ötektoid dönüşüm sıcaklığının 5°C arttığı ifade edilmiştir[21].

3.1.4. Magnezyum

Çinko, magnezyum içerisinde maksimum %8.4 çözünmektedir. Çinko içerisinde Mg çözünürlüğü ise çok azdır[22]. Bu durum, Zn-Al esaslı alaşımlarda da benzer şekildedir. Örneğin, Zn-Al ötektoid alaşımında 275°C 'de Mg çözünürlüğü % 0.025 iken, bu değer oda sıcaklığında çok daha düşüktür. Mg, Zn-Al alaşımlarına %0.002-0.1 oranlarında alaşım elementi olarak ilave edilmektedir[3, 22].

ZA esaslı alaşımlara ilave edilen Mg; sertlik, çekme mukavemeti ve sürünme dayanımını artırmaktadır. Bununla beraber Pb, Cd ve Sn gibi empüritelerin nemli ortamlarda sebep olduğu taneler arası korozyonu engellemektedir[3]. Gervais [3] Zn-9Al-1.7 Cu içeren alaşıma % 0.02 Mg ilave ederek, alaşımın çekme mukavemetinde % 24 iyileşme elde etmiştir. Ayrıca son yıllarda yapılan çalışmalarda ZA esaslı alaşımlarda magnezyumun doymuş η matriks fazı içerisinde $\text{Mg}_2\text{Zn}_{11}$ kristalleri halinde bulunduğu belirlenmiştir[4, 22].

3.1.5. Titanyum

Ti, Zn içerisinde çok sınırlı bir çözünürlüğe sahiptir ve %0.11 Ti bileşiminde Zn ile, Zn-Ti Zn_{15} ötektiğini meydana getirir. Ayrıca titanyum elementinin, döküm halindeki çinkonun tane boyutunu küçültücü ve sıcak haddeleme esnasındaki tane büyümesini

engelleyici rolü olduğu rapor edilmiştir [15].

Çok az miktarlardaki Ti ilavelerinin, Zn alaşımlarının çekme mukavemeti ve sertlik değerleri üzerinde önemli bir etkisinin bulunmadığı, fakat sürünme dayanımını önemli oranda arttırdığı belirtilmiştir. Sürünme dayanımındaki bu olumlu etki, hücre sınırlarında oluşan ince $TiZn_{15}$ intermetalığının varlığı açıklanmıştır [15].

Titanyum, alüminyum alaşımlarında olduğu gibi Zn-Al alaşımlarında da yapıyı modifiye etmek amacıyla ilave edilmektedir. Pollard ve arkadaşları, çil döküm ile üretilen %7 ve %24 Al içeren esaslı alaşımlarda %0-0.05 aralığında Ti ilavesi ile kübik Ti_2Al_5Zn partiküllerinin oluştuğunu ve bu partiküller üzerinde alüminyumca zengin primer dendritlerin çekirdeklenmesi ile yapının inceldiğini belirlemiştir. Ayrıca Pollard, yine aynı alaşımlarda yapının dendritik olmadığını ve özellikle % 24 Al içeren alaşımın mikroyapısının yapraksı (plate-like) şeklinde olduğunu ifade etmiştir. Buna karşın Hamid, Zn-%25 Al alaşımında %0.001-0.1 aralığında Ti elementi ilavesi ile oluşan mikroyapıda alüminyumca zengin primer α fazının dendritik değil yine ince yapraksı (plate-like) şeklinde olduğunu saptamış, ancak mikroyapıda Ti_2Al_5Zn üçlü bileşiğinin varlığına rastlamamıştır[15].

3.1.6. Lityum

Çinkonun lityum içerisindeki %12.5 oranına kadar çözünmesine karşın, Li çinko içerisinde çok az miktarda çözünmektedir. Li elementinin Zn ve Zn-Al alaşımlarının mikroyapı ve mekanik özellikleri üzerinde yapmış olduğu etki ile ilgili sınırlı bilgiler mevcuttur. Thornton , çok az miktarda Al (%0.3) ihtiva eden Zn alaşımına %0.07-0.19 aralığında Li ilave ederek alaşımın sertlik, çekme mukavemeti ve sürünme dayanımı değerlerinde artış meydana geldiğini belirlemiştir. Kanada'da yapılan bir çalışmada ise, ZA-8 alaşımına %0.056 Li ilave edilerek sürünme dayanımında mükemmel bir artış meydana geldiği ve Mn elementi ilavesi durumunda bu olumlu etkinin daha da arttığı tespit edilmiştir [11].

Sürünme dayanımında meydana gelen bu yükselmenin, mikroyapıda oluşan lityumlu bileşiklerden kaynaklandığı ifade edilmektedir. Basınçlı döküm ile üretilen sürünme

dayanımı yüksek Zatec alaşım, (ZA-8 + %0.07 Li, + %0.024 Mn) üzerinde detaylı SEM ve TEM çalışmaları L'Esperance [14] ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilmiştir.

Mikroyapıda görülen ve yaklaşık 100 nm. boyutundaki partiküllerden alınan difraksiyon paternlerinin, birbirine yakın latis parametresine sahip hegzagonal yapıdaki Zn ve LiZn_4 'e ait olabileceği belirtilmiştir. Ayrıca, Al ve Cu içeren bazı partiküllerden alınan difraksiyon paternlerinin ise yine hegzagonal yapıya sahip ve latis parametreleri $a=0.496$ nm., $c=0.935$ nm. olan Al_4CuLi olabileceği ifade edilmiştir.

Son yıllarda gerçekleştirilen diğer bir araştırmada ise, ZA-27 alaşımına %0.1 Li ilavesi ile döküm esnasında meydana gelen alttan çekilme boşluğunun azaldığı, sertlik ve çekme mukavemetinin ise bir miktar arttığı ortaya çıkarılmıştır [12].

3.1.7. Krom

Kromun çinko içerisindeki çözünürlüğü ihmal edilebilir boyutlardadır ve Zn-Al esaslı alaşımlarda CrAl_4 ve CrAl_7 intermetalik bileşikler olarak mikroyapıda bulunabilir [14].

Sürünme dayanımı yüksek ILZRO 16 alaşımının az miktarda Cr içermesinden dolayı, Cr elementi ilavelerinin ZA alaşımlarının sürünme dayanımını arttırabileceği düşünülmektedir. Lamberights ve arkadaşları, ZA-27 alaşımına %0.1 Cr ilave ederek yapmış oldukları sürünme deneyleri neticesinde sürünme dayanımında önemli bir değişikliğin meydana gelmediğini, fakat alaşımın çekme mukavemetinin arttığını tespit etmişlerdir. Ayrıca, katılma esnasında kromun aşıl原因ıcı etkisi yaptığı ve yapının hücresel olmasına sebep olduğunu belirtilmiştir[12].

3.1.8. Vanadyum

Vanadyum Zn-Al esaslı alaşımlarda kullanılan bir element değildir. Alüminyum alaşımlarında ise genellikle empürite olarak bulunur.

Vanadyum yüksek ergime sıcaklığına sahip olmasından ve alüminyum alaşımlarında VA_{10} bileşiği oluşturmasından dolayı kuvvetli tane küçültücü etkiye sahiptir. Bu nedenle Zn-Al esaslı alaşımlarda da aynı etkiyi gösterebileceği düşünülmektedir[9].

3.2. Diğer Elementler

Yapılan çalışmalar sonucunda, I A grubu (Li, N, K, Cs) ve 2A grubu (Be, Ca, Sr, Ba) elementleri % 0.02-0.1 aralığında kullanıldığında, çekilme boşluğu yok ettikleri görülmüştür[10]. Çekilme boşluğunu elimine etmek amacıyla ilave edilen Be, Ca ve Na gibi elementlerin çekme mukavemeti üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı, fakat darbe dayanımını bir miktar azalttığı tespit edilmiştir[14].

ZA alaşımlarına Sr ilavesi çekme dayanımını, % uzamayı ve darbe direncini düşürmektedir. Sr ile B ikilisinin birlikte kullanılması sünekliliği artırmakta ve döküm yüzeyi kaliteli olmaktadır. Yüksek miktarda B ilavesi % uzamanın düşmesini önlemektedir. [14]

Yapıda % 0.05 miktarında bulunan Fe, Fe-Al metaller arası bileşimini oluşturarak % uzamayı düşürmektedir[14].

BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada daha önce kokil döküm yöntemi ile üretilmiş standart alaşımlar ZA8, ZA12 ve ZA27 alaşımları ile ZA8 alaşımına değişik oranlarda Mn(%0.01-0.5), Si (%0.1-1.1) ve Cr (%0.01-0.2) elementleri ilave edilerek üretilmiş alaşımlar incelenmiştir. Bu alaşımlara ilave olarak, ötektik bileşim olan %5 Al ile ZA12 alaşımının bileşim oranı olan %11 Al aralığında bakırsız ve %1 Cu ilaveli olarak üretilmiş olan 20 alaşım araştırılmıştır. Çalışmada kullanılan toplam 40 alaşımın Atomik Absorbsiyon Spektrometresi (AAS) ile belirlenen kimyasal bileşimleri Tablo 4.1'de verilmiştir[16].

4.2. Mekanik deneyler

Alaşımların Brinell sertlik deneyleri, 2.5 mm çapındaki çelik bilya kullanılarak 62.5 kg'lık yükün 20 saniye uygulanması ile gerçekleştirilmiştir. Her bir numuneden en az 5 ölçüm alınmış ve ortalama değer alaşımın sertlik değeri olarak kabul edilmiştir.

Deneysel alaşımların basma deneyleri ise DARTEC 250 kN'luk Universal çekme cihazında 0.005 mm/sn basma hızında 12.7mm çap ve 12.7 mm yüksekliğe sahip standart deney numuneleri ile gerçekleştirilmiştir. Her alaşımdan iki deney yapılmış ve ortalama değer deneysel sonuç olarak kabul edilmiştir.

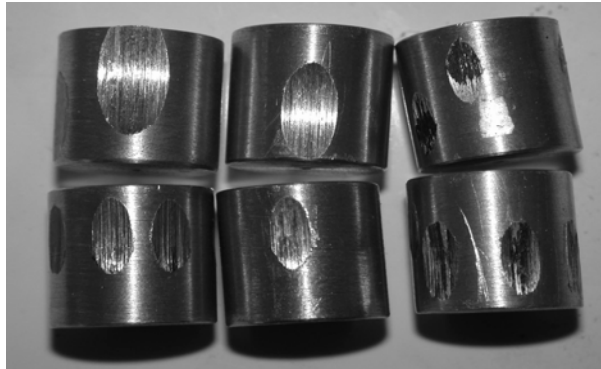
Tablo 4.1.Alaşımların AAS ile belirlenen kimyasal bileşimleri[16]

ALAŞIM	%Al	%Cu	%Mg	%Mn	%Si	%Cr	%Zn
Zn-Al 5-0 Cu	4,87	<0.003	0,028	-	-	-	Kalan
Zn-Al 5.5-0 Cu	5,45	“	“	-	-	-	“
Zn-Al 6-0 Cu	5,95	“	“	-	-	-	“
Zn-Al 6.5-0 Cu	6,54	“	“	-	-	-	“
Zn-Al 7-0 Cu	7,08	“	“	-	-	-	“
Zn-Al 7.5-0 Cu	7,45	“	“	-	-	-	“
Zn-Al 8.5-0 Cu	8,40	“	“	-	-	-	“
Zn-Al 10-0 Cu	9,90	“	“	-	-	-	“
Zn-Al 11- 0 Cu	10,85	“	“	-	-	-	“
Zn-Al 5.1-1 Cu	5,03	1,00	0,025	-	-	-	“
Zn-Al 5.5-1 Cu	5,52	1,05	“	-	-	-	“
Zn-Al 6-1 Cu	5,98	1,05	“	-	-	-	“
Zn-Al 6.5-1 Cu	6,44	1,03	“	-	-	-	“
Zn-Al 7-1 Cu	6,92	0,98	“	-	-	-	“
Zn-Al 7.5-1 Cu	7,50	0,97	“	-	-	-	“
Zn-Al 8.5-1 Cu	8,45	0,95	“	-	-	-	“
Zn-Al 9-1 Cu	8,94	0,96	“	-	-	-	“
Zn-Al 10- 1 Cu	10	0,98	“	-	-	-	“
ZA8	8,02	0,97	“	-	-	-	“
ZA12	10,8	1,02	“	-	-	-	“
ZA8-0,01 Mn	8,1	1	0,026	0,01	-	-	“
ZA8-0,03Mn	8,05	1	“	0,026	-	-	“
ZA8-0,05Mn	8,05	1,02	“	0,045	-	-	“
ZA8-0,07Mn	8,02	1,04	“	0,063	-	-	“
ZA8-0,1 Mn	8,10	1,06	“	0,09	-	-	“
ZA8-0,2 Mn	8,16	1,0	“	0,174	-	-	“
ZA8-0,3 Mn	8,2	1,07	“	0,202	-	-	“
ZA8-0,4 Mn	8,15	1,1	“	0,30	-	-	“
ZA8-0,5 Mn	8,20	1,08	“	0,53	-	-	“
ZA 8-0.01 Cr	8,05	1,1	0,028	-	-	0,008	“
ZA8-0.03 Cr	8,15	1,06	“	-	-	0,027	“
ZA8-0.05 Cr	8,20	1,02	“	-	-	0,042	“
ZA8-0.07 Cr	8,35	1,05	“	-	-	0,065	“
ZA-0.10 Cr	8,30	1,08	“	-	-	0,092	“
ZA8-0.1 Si	8,05	0,9	0,031	-	0,13	-	“
ZA8-0.2 Si	8,5	1,02	“	-	0,22	-	“
ZA8-0.5 Si	8,3	1,07	“	-	0,43	-	“
ZA8-0.7 Si	8,2	1,03	“	-	0,78	-	“
ZA8-1.1 Si	8,4	1,05	“	-	1,10	-	“

4.3. Aşınma Deneyleri

Alaşımın aşınma deneyleri pin on roller yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneyler 12.7 mm çap ve 12.7 mm yüksekliğe sahip standart deney numuneleri kullanılarak oda sıcaklığında ve ortalama %40 nem oranında yapılmıştır. Her aşınma deney sonucu için iki deney yapılmış ve ortalama değer sonuç olarak kabul edilmiştir.

Pin on roller aşınma deneyleri 15 dakikalık sabit bir zaman ve 300 devir/dakika sabit dönme sayısı (1.57 m/sn kayma hızı) kullanılarak 42, 62 ve 82 Newton yükleme şartlarında gerçekleştirilmiştir. Aşınma deney sonuçları ağırlık kaybı olarak belirlenmiş ve deney esnasında da sürtünme katsayıları hesaplanmıştır. Ağırlık kaybı değerlerini belirlemek amacı ile 0.0001 gr hassasiyete sahip bir terazi kullanılmıştır. Deney uygulanmış örnek aşınma numuneleri Şekil 4.1’de görülmektedir. Şekilden görüldüğü gibi aynı numuneye birden fazla test uygulama imkanı bulunmaktadır.



Şekil 4.1. Sertlik-aşınma ve metalografi numunesi örnek şekli

Deneyde PLINT® Üniversal Aşınma ve Sürtünme Cihazı kullanılmıştır. Cihaz, dönen bir disk üzerine sabit yerleştirilen numuneye, yük kolu ile belli bir yükü ileterek aşınmayı sağlayan bir düzenden oluşmaktadır. Cihazda yükleme elle kontrol edilmekte ve dönüş hızı, sürtünme kuvveti, çevrim sayısı gibi değişkenler ise otomatik olarak kumanda edilebilmektedir. Bu değerler, istenirse bilgisayara da aktarılabilir. Şekil 4.2’de aşınma deney cihazı görülmektedir.



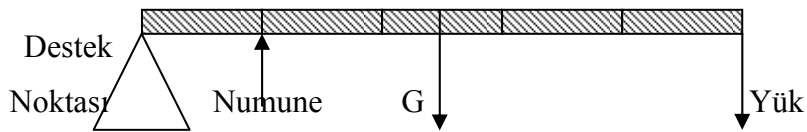
Şekil 4.2. PLINT® Üniversal Sürtünme ve Aşınma Cihazı şekli

- | | | |
|--------------------------|-----------------------|--------------------|
| 1-Motor, | 2-Devir Ölçer Sensör, | 3-Numune Bölmesi, |
| 4-Aşındırıcı Çelik Disk, | 5-Yağlayıcı Bölmesi, | 6- Yük Kolu |
| 7- Kontrol Panelleri, | 8-Numune, | 9-Yükseklik Ölçer, |
| | 10-Yükler | |

Şekil 4.3’de şematik olarak gösterilen cihazın yükleme kolunun ağırlığı 42 N olup, üzerindeki ağırlıklarla birlikte numuneye uyguladığı kuvvet aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır.

$$\text{Yük} \times \text{Yük Kolu} = \text{Kuvvet} \times \text{Kuvvet Kolu}$$

$$42\text{N} + 5 \text{ br.} \times \text{Yük} = \text{Numuneye Uygulanan Kuvvet} \times 1 \text{ br.}$$



Şekil 4.3. Aşınma cihazının şematik yük uygulama düzeneği

Dolayısıyla uygulanan kuvvet 42 N’den az olamayacağından, kuvvetler 42 N ‘dan başlayan ve her 2 N’luk artışta, numuneye $42 + 5 \times 2 = 52$, sonrasında da 62, 72 N... şeklinde uygulanan kuvvetler kullanarak aşınma deneylerini yapmak mümkün olmaktadır. Deneylerde değerlerin birbirinden uzak olmasını sağlamak için ön çalışmalar yapılmış ve deneylerde 42, 62, 82 N luk 3 yük kullanılması

kararlaştırılmıştır. Deneylede alınan toplam yol ise; aşındırıcı diskin yarıçapı 50 mm ve 300 devir/dakika sabit ve aşınma süresi 15 dk olduğundan;

$$(2*\pi*50)*300*15 = 1413,72 \text{ m'dir.}$$

Buradan kayma hızı ise m/sn cinsinden;

$$1413,72 / (15*60) = 1,57 \text{ m/sn}$$

olarak bulunur.

4.4. Metalografik Çalışmalar

Alaşımların aşınma deney yüzeyleleri taramalı elektron mikroskobu (SEM JEOL JSM 5600) ile incelenmiştir. SEM görüntüleri daha iyi kontrast verdiğinden dolayı back scatter (geri saçınımlı elektronlar) aparatı kullanılarak incelenmiştir. Yüzeylelerdeki yapıların karakterizasyonu için ise EDS (Energy Dispersive Spectroscopy) aparatı kullanılmıştır. Yüzeylelerden hem EDS bölge analizleri alınarak genel olarak yapıdaki elementler belirlenmeye hem de EDS çizgi analizi yardımıyla belli bir yerde çizgi boyunca var olan elementler ve piklerinden yorumlar yapılmaya çalışılmıştır.

BÖLÜM 5. DENEYSEL SONUÇLAR VE İRDELENMESİ

5.1. Sertlik ve Basma Deneyi Sonuçları

Alaşımın sertlik deneyi sonuçları ve basma deneyinden elde edilen ortalama basma akma mukavemeti değerleri Tablo 5.1.'de verilmiştir. Bu değerlerin alaşım elementi miktarına göre grafiksel değerlendirmesi Şekil 5.1-5.8'de sunulmuştur.

Tablo 5.1. Alaşımlardan elde edilen Brinell sertlik ve Basma Akma Mukavemet Değerleri

Alaşım	Basma Akma Muk.(MPa)	BSD	Alaşım	Basma Akma Muk.(MPa)	BSD
Zn-Al 5-0 Cu	195	74	ZA8-0.01 Mn	285	94
Zn-Al 5.5-0 Cu	205	74	ZA8-0.03 Mn	289	94
Zn-Al 6-0 Cu	206	76	ZA8-0.05 Mn	293	95
Zn-Al 6.5-0 Cu	210	82	ZA8-0.07 Mn	295	97
Zn-Al 7-0 Cu	213	82	ZA8-0.1 Mn	308	99
Zn-Al 7.5-0 Cu	217	84	ZA8-0.2 Mn	305	97
Zn-Al 8.5-0 Cu	225	87	ZA8-0.3 Mn	301	100
Zn-Al 10-0 Cu	232	90	ZA8-0.4 Mn	290	104
Zn-Al 11- 0 Cu	241	89	ZA8-0.5 Mn	285	105
Zn-Al 5-1 Cu	252	91	ZA 8-0.01 Cr	291	94
Zn-Al 5.5-1 Cu	232	93	ZA8-0.03 Cr	288	95
Zn-Al 6-1 Cu	237	91	ZA8-0.05 Cr	284	99
Zn-Al 6.5-1 Cu	260	93	ZA8-0.07 Cr	279	100
Zn-Al 7-1 Cu	268	96	ZA-0.10 Cr	276	101
Zn-Al 7.5-1 Cu	275	95	ZA8-0.1 Si	284	96
Zn-Al 8.5-1 Cu	286	97	ZA8-0.2 Si	283	98
Zn-Al 9-1 Cu	307	99	ZA8-0.5 Si	284	101
Zn-Al 10- 1 Cu	327	103	ZA8-0.7 Si	285	105
ZA8 std	280	95	ZA8-1.1 Si	279	108
ZA12 std	332	105	ZA27 std	339	111

Şekil 5.1’de görüldüğü üzere, artan Al içeriği ile bakırlı ve bakırsız olarak üretilen alaşımların sertlik değerlerinde sürekli olarak önemli ölçüde artış gözlenmiştir. Cu içermeyen alaşımların sertlik değerleri 74-90 BSD aralığında iken, %1 Cu içeren alaşımların sertlik değerleri ise 91-105 BSD aralığında belirlenmiştir. Şekil 5.1.’den de açık olarak görüldüğü gibi, %5-11 aralığında Al içeren alaşımlara ilave edilen %1 Cu alaşım elementi, alaşımların sertlik değerlerini yaklaşık 15 BSD artırmıştır. Bu iki seride incelenen alaşımlar içerisinde en yüksek sertlik değeri standart ZA12(% 11 Al- % 1 Cu) alaşımının bileşiminde elde edilmiştir. Bu alaşımdan elde edilen ortalama sertlik değeri 105 BSD’dir.

Şekil 5.5 incelendiğinde Cu’sız alaşımlar için artan Al oranı ile basma akma mukavemetinde belirgin bir artış görülmektedir. Cu’lı alaşımlarda en düşük Al oranına sahip %5 Al -%1 Cu alaşımının basma akma mukavemeti, %1 Cu ilavesinin alaşımın mikroyapısını ötektik altına kaydırmasından dolayı bir miktar yüksek çıkmakla birlikte yine Al oranı artışıyla belirgin bir artış söz konusudur. Ayrıca Cu’lı alaşımlarda artan Al oranıyla, Cu’sız alaşımlara nazaran daha hızlı bir mukavemet artışı görülmektedir.

Alaşımların sertlik ve basma akma mukavemeti değerlerinde artan Al oranları ile elde edilen bu artışın Şekil 2.1’de verilen Zn-Al ikili denge diyagramından görüldüğü gibi alüminyumca zengin β dendritlerinin oranının artmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. % 1 Cu ilaveleri ile sertlik ve basma mukavemeti değerlerinde görülen önemli orandaki artışın ise, daha önceki çalışmalarda[16, 23] bakır içeren Zn-Al alaşımlarında oluştuğu gösterilmiş olan $\epsilon(\text{CuZn}_4)$ çökelti fazından kaynaklandığı söylenebilir.

Şekil 5.2’de Mn ilavesinin ZA8 alaşımının sertliğinde meydana getirdiği değişim görülmektedir. Şekilden görüldüğü gibi, standart ZA8 alaşımına ilave edilen Mn alaşım elementi sertlik değerlerinde sürekli olarak artış meydana getirmektedir. En yüksek artışı % 0.5 Mn içeren alaşımda 10 BSD olarak elde edilmiştir.

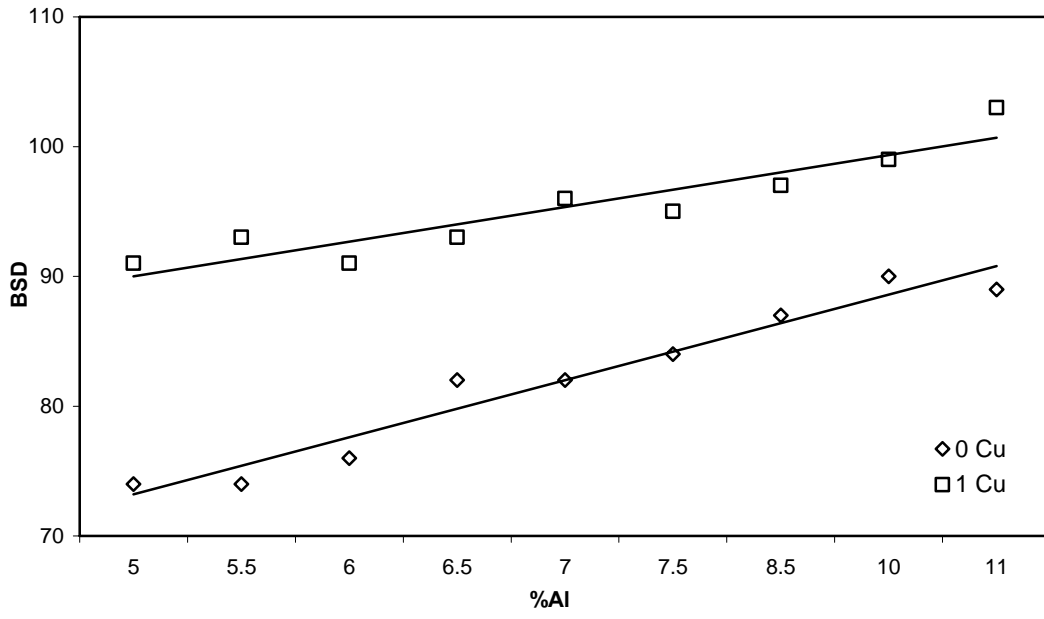
Şekil 5.6.’da Mn elementinin ZA8’in basma akma mukavemetine etkisi görülmektedir. Burada Mn’in çok büyük etkisi olmamakla birlikte, %0.1 Mn oranına

kadar sürekli olarak arttırmaktadır. %0.1 Mn içeren alaşımdan elde edilen basma akma mukavemeti değeri standart alaşımla karşılaştırıldığında yaklaşık 20 MPa daha büyük bir değere sahiptir. Bu oranın üzerindeki Mn ilaveleri ise basma akma mukavemetinde azalmalara neden olmaktadır. Fakat yine de bu alaşımlardan elde edilen değerler ZA8 alaşımının mukavemet değerinden daha yüksektir.

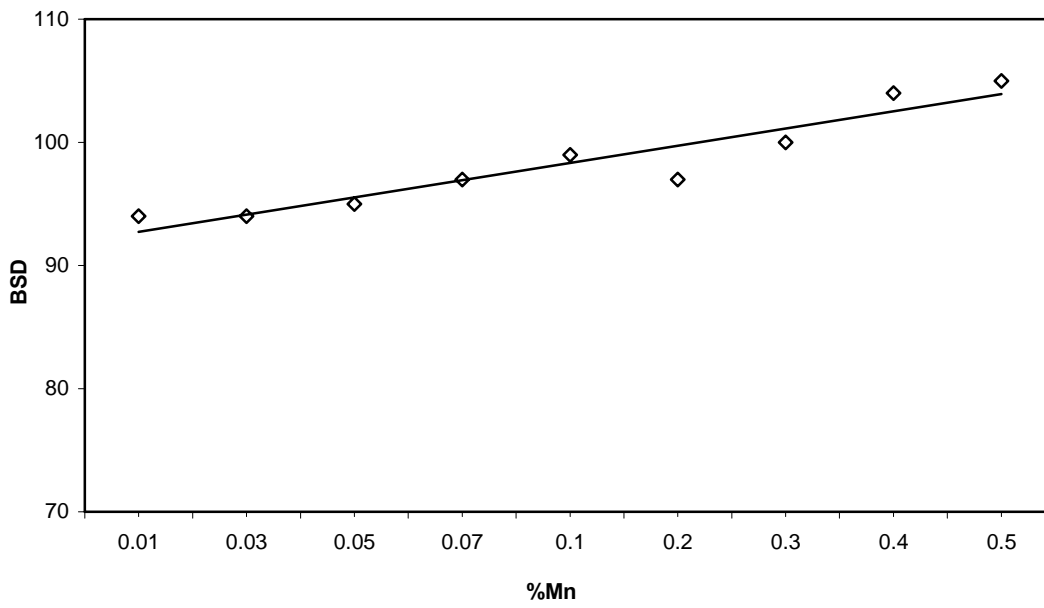
Mn ilavesi ile sertlikte ve basma akma mukavemetinde meydana gelen artışın mikro yapıda oluşan ve daha önceki çalışmalarda[16] XRD ile olduğu gösterilen Al-Mn intermetaliklerinden kaynaklandığını söylemek mümkündür. Çünkü bu intermetaliklerin sertliğinin yaklaşık 340 HV olduğu gösterilmiştir[17]. Bu sert partiküller yapı içerisinde distorsiyona neden olmakta ve oluşan iç gerilmeler nedeni ile sertlik ve mukavemet artmaktadır. Yüksek oranda Mn içeren alaşımların basma akma mukavemetlerinde bir miktar azalma gözlenmesinin ise, partiküllerin çok büyümesinden ve belli bölgelerde toplanmış olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Şekil 5.3 ve 5.4'de Si ve Cr içeren alaşımlardan elde edilen sertlik değerleri görülmektedir. Şekil 5.4'den görüldüğü gibi, az oranlarda ilave edilen Cr alaşım elementi ZA8 alaşımının sertlik değerini çok az oranda arttırmaktadır. Si elementi (Şekil 5.3) ise, standart alaşımın sertlik değerini özellikle yüksek miktarda ilave edildiğinde yaklaşık %10 oranında arttırmaktadır. ZA8 alaşımına ilave edilen Si ve Cr alaşım elementlerinin basma akma mukavemeti üzerine olan etkisi Şekil 5.7 ve 5.8'de verilmiştir. Si ve Cr alaşım elementleri standart alaşımın basma akma mukavemeti üzerinde önemli ölçüde bir değişim oluşturmamaktadır.

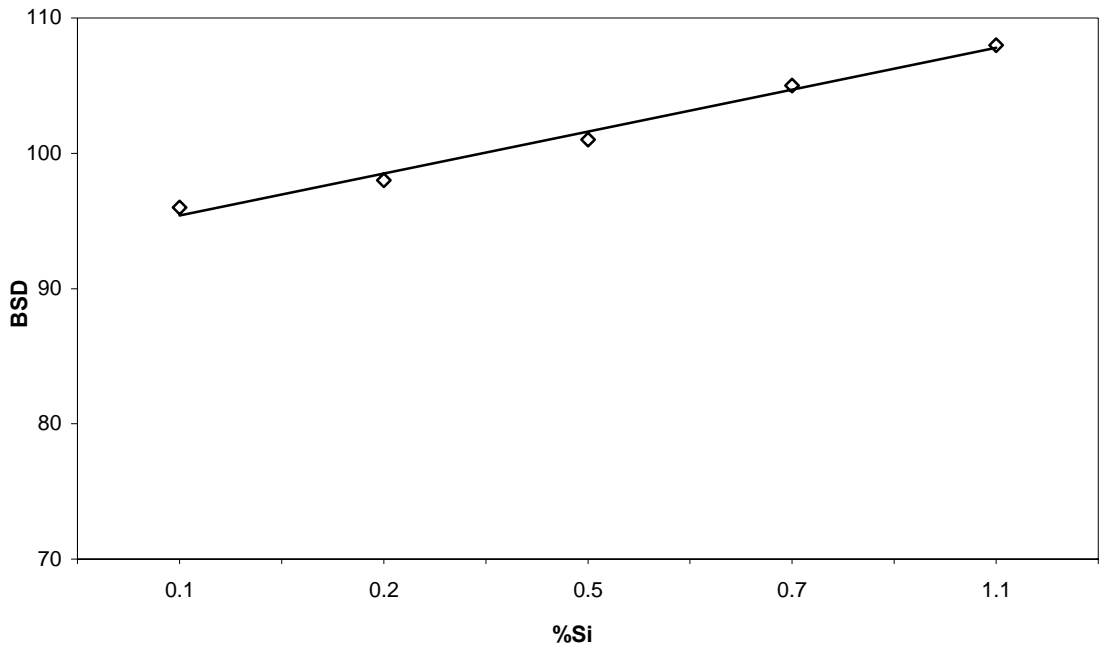
Yapılan daha önceki çalışmalarda [16] Zn-Al alaşımlarına ilave edilen Cr elementinin Al-Cr metallararası bileşiği oluşturduğu, silisyumun ise saf Si partikülleri halinde yapıda bulunduğu belirlenmiştir. Bu nedenle, sertliği yüksek olan Si elementi özellikle yüksek oranda ilave edildiğinde alaşımın sertlik değerlerinde bir miktar artışa neden olmaktadır.



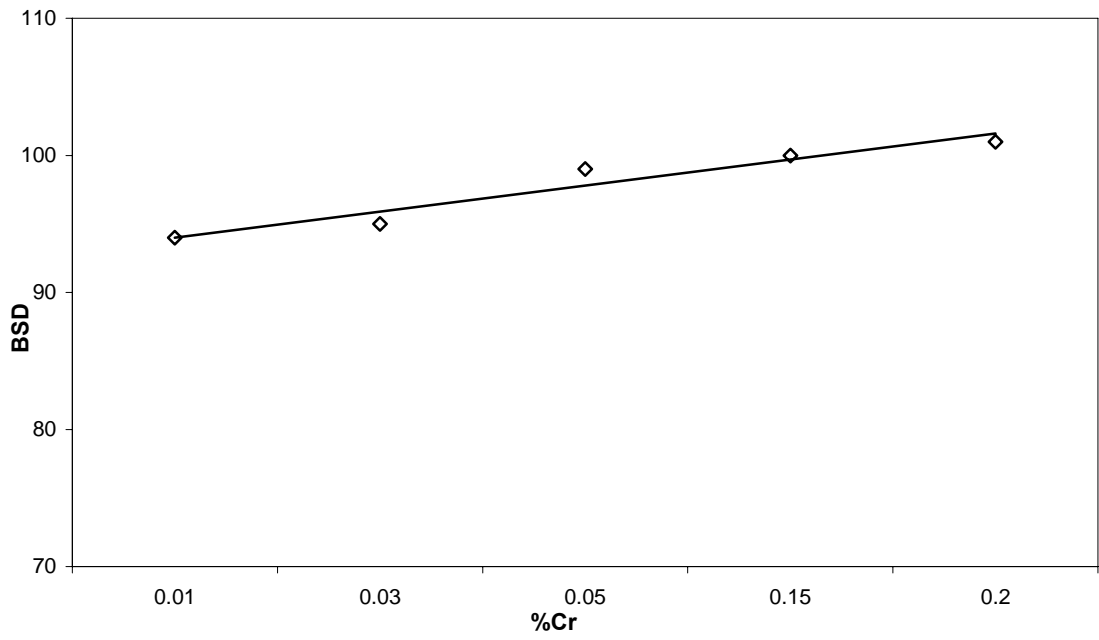
Şekil 5.1. Zn-5.1~11 Al oranlarında Cu'lu ve Cu'suz numuneler için sertlik değişimi



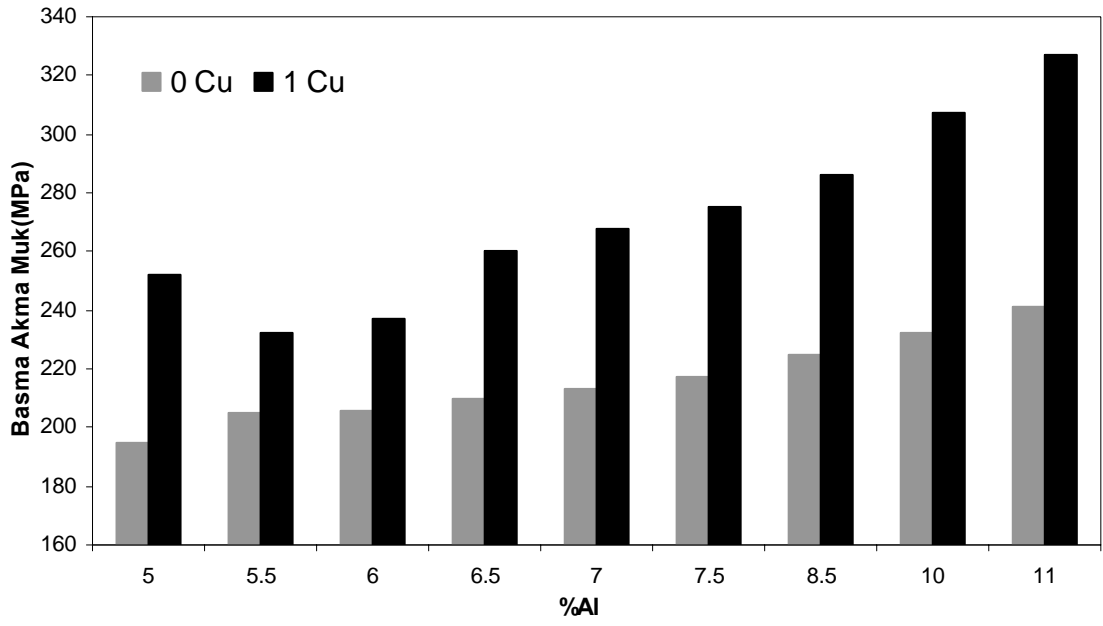
Şekil 5.2. ZA8 alaşımına Mn ilavesinin sertlik değişim grafiği



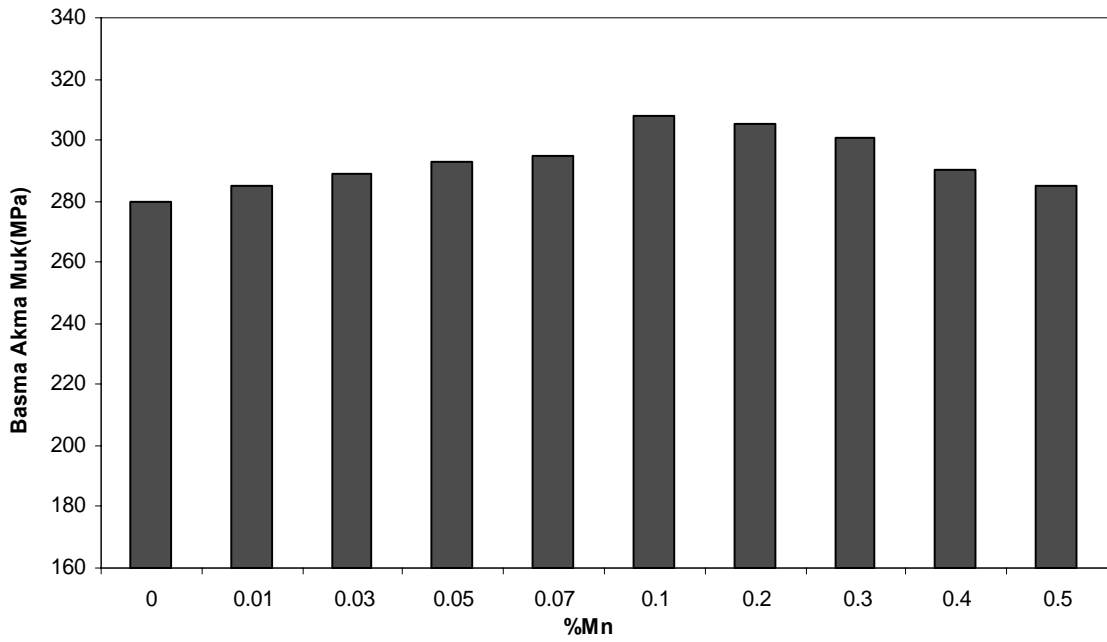
Şekil 5.3. ZA8 alaşımına Si ilavesinin sertlik değişim grafiği



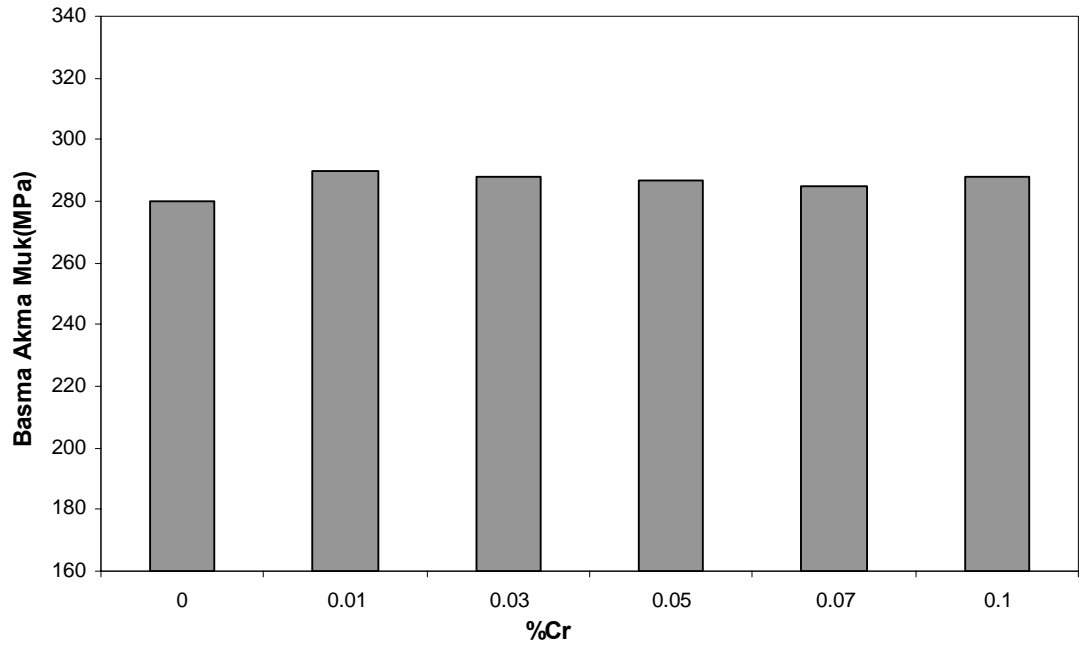
Şekil 5.4. ZA8 alaşımına Cr ilavesinin sertlik değişim grafiği



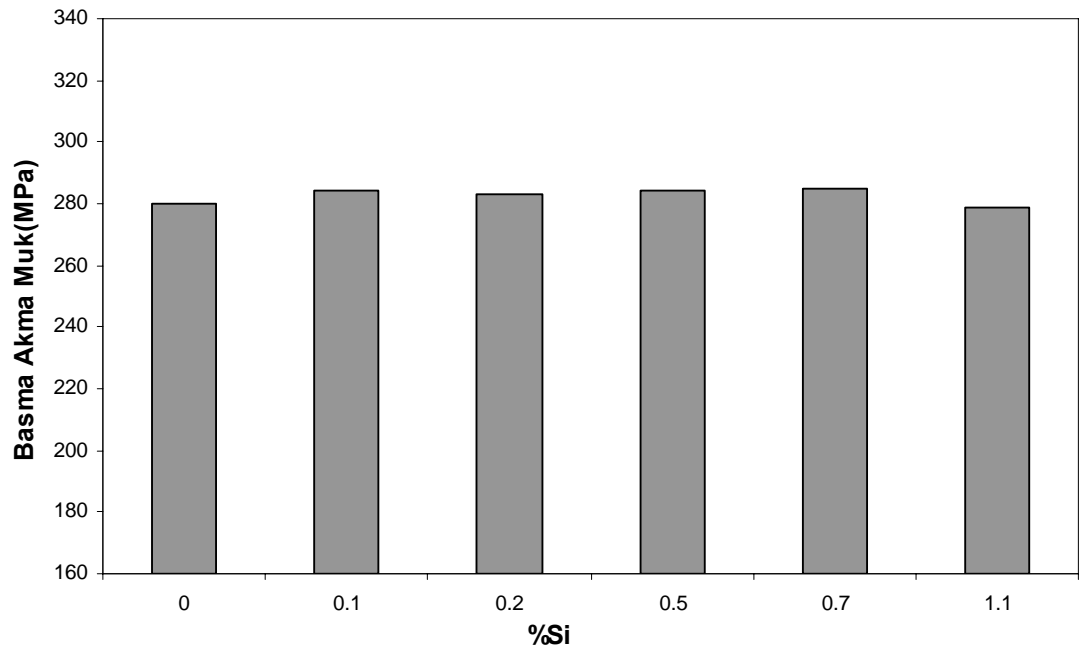
Şekil 5.5. Zn-5.1~11 Al oranlarında Cu'lı ve Cu'suz numuneler için basma akma mukavemetinin Al içeriğine göre değişimi



Şekil 5.6. ZA8 alaşımının basma akma mukavemetinin Mn ilavesi ile değişimi



Şekil 5.7. ZA8 alaşımının basma akma mukavemetinin Cr ilavesi ile değişimi



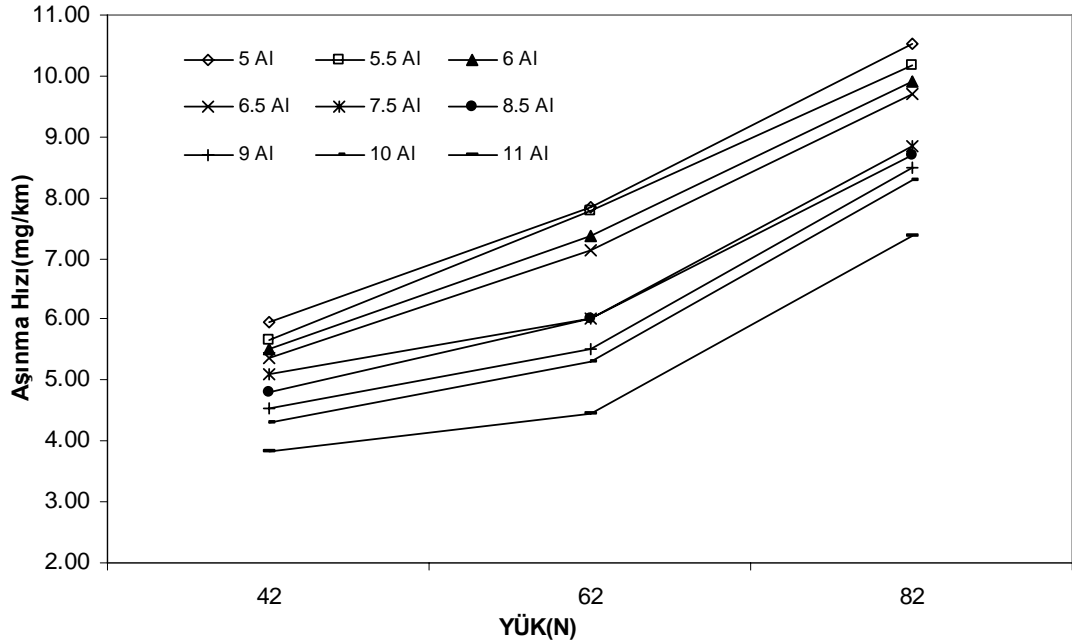
Şekil 5.8. ZA8 alaşımının basma akma mukavemetinin Si ilavesi ile değişimi

5.2. Aşınma Deneyi Sonuçları

Alaşımın pin on roller yöntemi ile yapılan aşınma deneylerinden elde edilen ağırlık kaybı değerleri Tablo 5.2-5.7’de verilmiştir. Bu verilerden hesaplanan aşınma hızı değerleri ile yük arasındaki ilişkinin alaşım elementlerine göre grafiksel değişimi ise Şekil 5.9-5.15’de görülmektedir.

Tablo 5.2. Bakır içermeyen Al serisi alaşımlardan elde edilen ağırlık kaybı değerleri (mg)

ALAŞIM	42 N	62 N	82 N
Zn-Al 5-0 Cu	8.4	11.1	14.9
Zn-Al 5.5-0 Cu	8	11	14.4
Zn-Al 6 - 0 Cu	7.8	10.4	14
Zn-Al 6.5-0 Cu	7.6	10.1	13.7
Zn-Al 7.5-0 Cu	7.2	8.5	12.5
Zn-Al 8.5-0 Cu	6.8	8.5	12.3
Zn-Al 9 - 0 Cu	6.4	7.8	12
Zn-Al 10 - 0 Cu	6.1	7.5	11.7
Zn-Al 11 - 0 Cu	5.4	6.3	10.4



Şekil 5.9. Zn-5~11 Al oranlarında Cu'suz numuneler için aşınma hızı-yük değişim grafiği

Şekil 5.9’de %5-11 Al oranlarında bakır içermeyen alaşımların aşınma deneylerinden elde edilen aşınma hızı değerleri görülmektedir. Şekilden görüldüğü gibi en yüksek aşınma hızı değeri %5 Al içeren alaşımında elde edilmiştir. Bu alaşımdan elde edilen aşınma hızı değerleri 42, 62, 82N için sırasıyla, 5.94, 7.85 ve 10.54 mg/km olarak belirlenmiştir. Bu oranın üzerindeki artan Al ilaveleri ile alaşımların aşınma hızı değerleri sürekli olarak azalmış ve minimum aşınma hızı değerine %11 Al içeren standart ZA12 alaşımında ulaşılmıştır. %11 Al içeren alaşımından elde edilen aşınma hızı değerleri ise, 42, 62 ve 82 N için sırasıyla, 3.82, 4.45 ve 7.35 mg/km olarak tespit edilmiştir.

Tablo 5.3. Zn-Al alaşımlarının değişen Al oranlarında ve Cu’lu alaşımları için yük-ağırlık kaybı

ALAŞIM (15 dk-300d/dak)	42 N ağırlık kaybı(mg)	62 N ağırlık kaybı(mg)	82 N ağırlık kaybı(mg)
Zn-Al 5-1 Cu	5.8	8.4	9
Zn-Al 5.5-1 Cu	5.6	8.3	9.3
Zn-Al 6-1 Cu	5.5	8.2	10.4
Zn-Al 6.5-1 Cu	5.3	8	10.2
Zn-Al 7-1 Cu	4.9	8.1	9.8
Zn-Al 7.5-1 Cu	5	7.9	9.5
ZA8	4.8	7.7	9.2
Zn-Al 8.5-1 Cu	4.7	7.9	9.1
Zn-Al 9-1 Cu	4.3	7.8	8.9
ZA12	3.9	6,8	8,2
ZA27	3.1	5.2	6.0

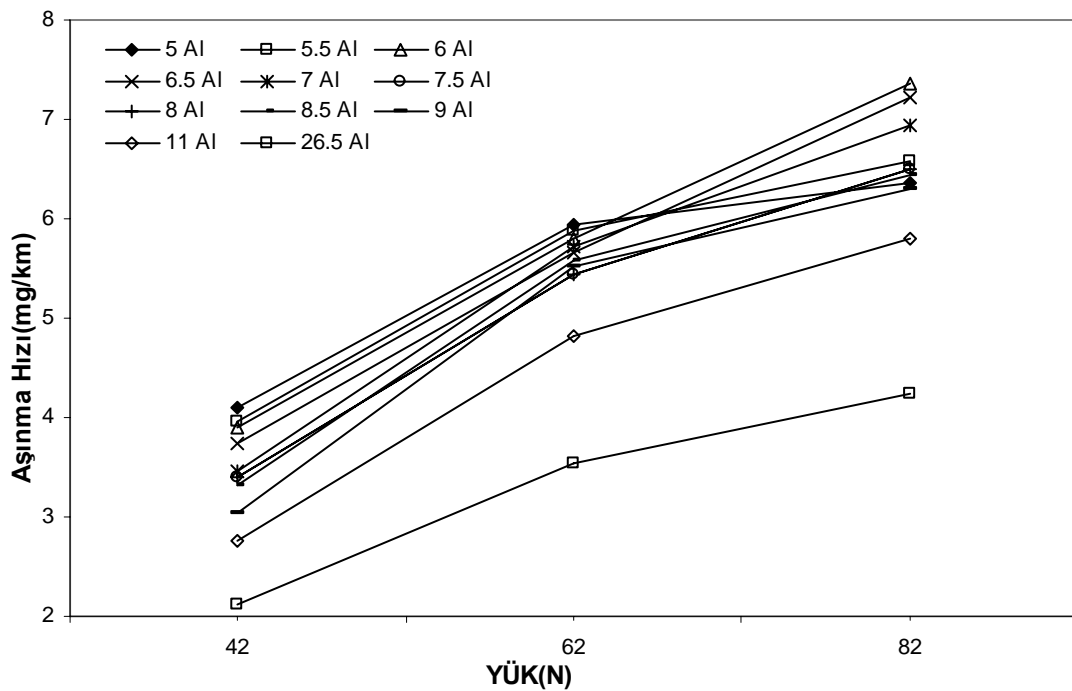
Şekil 5.10 ve Tablo 5.3’ten görüldüğü gibi, %1 Cu içeren alaşımlarda artan Al oranları ile alaşımların aşınma hızı değerleri sürekli olarak azalmış ve minimum aşınma hızı değeri, ZA27 alaşımında elde edilmiştir. Bakır içermeyen alaşımlardan elde edilen aşınma miktarı değerleri ile (Tablo 5.2) %1 Cu içeren alaşımlardan elde edilen aşınma değerleri karşılaştırıldığında %1 Cu ilavesinin alaşımların aşınma dayanımı üzerinde olumlu etki yaptığı ortaya çıkmaktadır.

Bu seri içerisinde en yüksek aşınma hızı gösteren % 5 Al-1 Cu alaşımından elde edilen değerler 42, 62 ve 82 N yükleri için sırasıyla, 4.10, 5.94, 6.36 mg/km olarak ölçülmüştür. Bu değerler aynı oranda Al içeren bakırsız alaşımdan elde edilen

değerlerle karşılaştırıldığında %1 Cu ilavesinin etkisinin önemi ortaya çıkmaktadır. Çünkü %1 Cu ilavesi aşınma hızı değerlerini yaklaşık %25 oranında azaltmıştır. %1 Cu içeren alaşımlar içerisinde bulunan ZA8, ZA12 ve ZA27 standart alaşımlarından elde edilen aşınma hızı değerleri ise üç yük değeri için Tablo 5.4’de verilmiştir. Tablodan görüldüğü gibi, pin on roller yöntemiyle yapılan aşınma deneyinde en yüksek aşınma direncinin ZA27 alaşımından elde edildiği görülmektedir. ZA8 ve ZA12 alaşımlarının aşınma dayanımları ise bu alaşıma nazaran daha kötüdür.

Tablo 5.4. Standart alaşımlardan elde edilen aşınma hızı değerleri

ALAŞIM	42N	62N	82N
ZA8	3.39	5.44	6.50
ZA12	2.75	4.81	5.80
ZA27	2.12	3.53	4.24



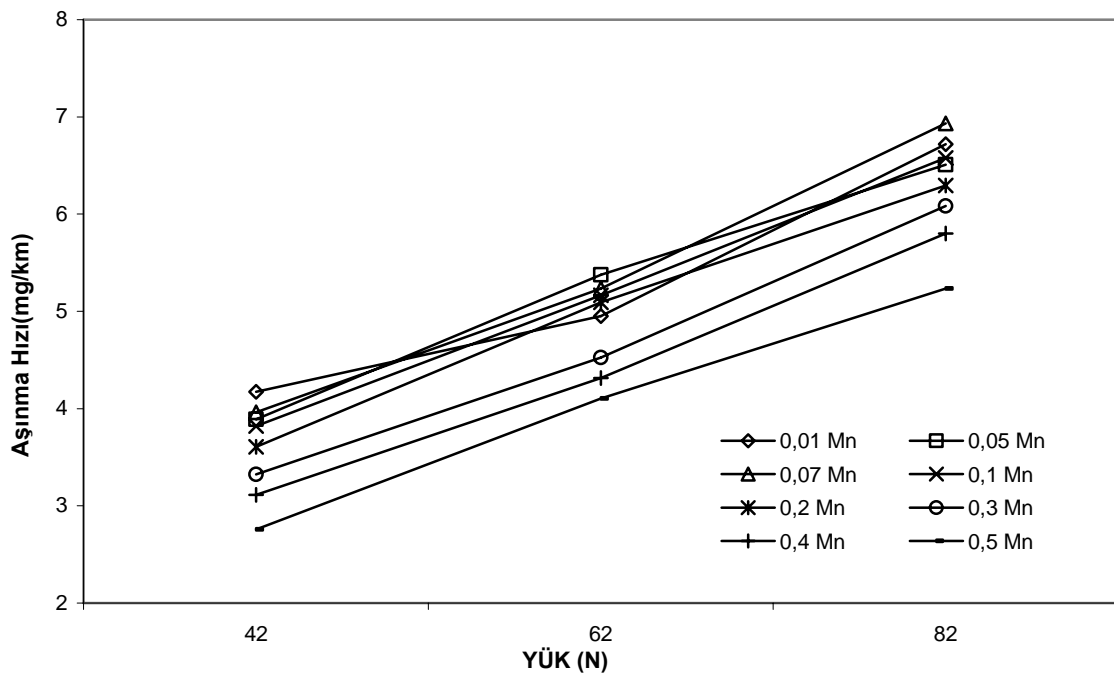
Şekil 5.10. Zn-Al 5~26,5-1 Cu'lu alaşımlar için yük-aşınma hızı grafiği

Çinko-alüminyum alaşımlarında % 5-11 Al aralığında bakırsız ve %1 Cu ilaveli olarak incelenen alaşımlarda, artan Al oranları ile aşınma dayanımının önemli ölçüde arttığı ve en yüksek aşınma direncinin bakırsız alaşımlarda % 11 Al içeriğinde, %1 Cu'lu alaşımlarda ise ZA27 alaşımında elde edildiği belirtilmişti. Çinko-alüminyum

ikili denge diyagramı göz önüne alındığında bunun beklenen bir durum olduğu ortaya çıkmaktadır. Çünkü Zn alaşımlarında Al miktarının artması ile mikroyapıdaki Al'ca zengin primer β dendritlerinin miktarı artmaktadır. ZA27 alaşımının mikroyapısında ise, yine Al'ca zengin α fazı bulunmaktadır. Al'ca zengin ve içerisinde yüksek oranda Zn çözen bu katı eriyiklerin sertliğinin yanı sıra aşınma dirençlerinin de yüksek olması beklenen bir durumdur. %1 Cu içeren alaşımlarda ise, mikroyapıda bakırın oluşturmuş olduğu $\epsilon(\text{CuZn}_4)$ fazı sertliğe benzer şekilde alaşımların aşınma dayanımlarını önemli ölçüde arttırmaktadır[16].

Tablo 5.5. ZA8 alaşımına Mn ilaveli alaşımlar için yük-ağırlık kaybı

ALAŞIM (15 dk-300d/dak)	42 N ağırlık kaybı(mg)	62 N ağırlık kaybı(mg)	82 N ağırlık kaybı(mg)
ZA8-0.01 Mn	5.9	7	9.5
ZA8-0.05 Mn	5.5	7.6	9.2
ZA8-0.07 Mn	5.6	7.4	9.8
ZA8-0.1 Mn	5.4	7.3	9.3
ZA8-0.2 Mn	5.1	7.2	8.9
ZA8-0.3 Mn	4.7	6.4	8.6
ZA8-0.4 Mn	4.4	6.1	8.2
ZA8-0.5 Mn	3.9	5.8	7.4

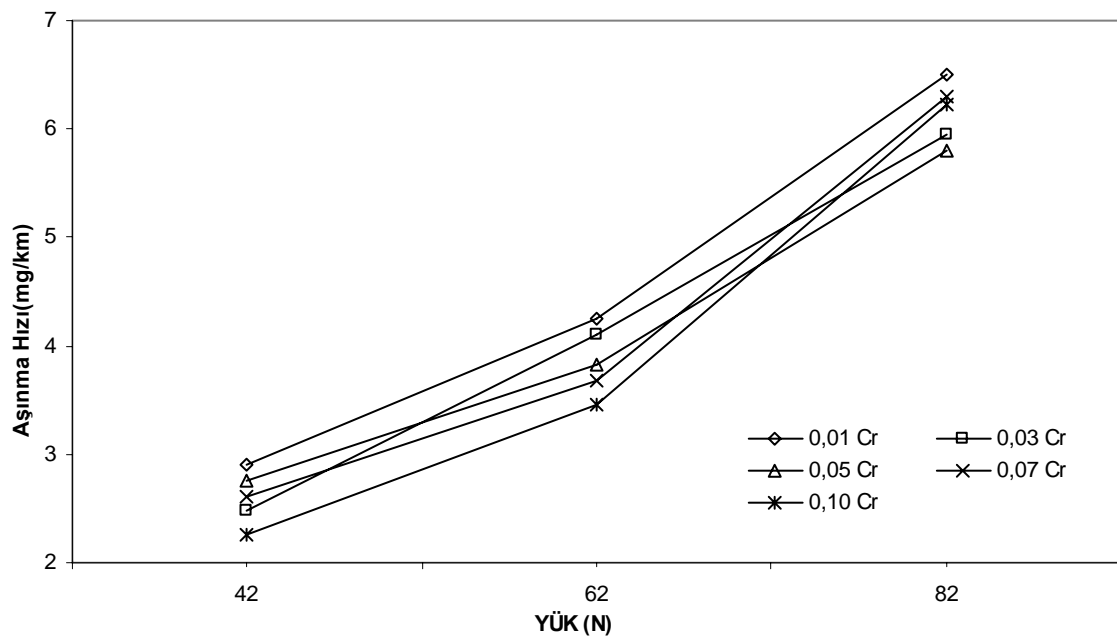


Şekil 5.11. ZA8 alaşımında Mn elementinin aşınma hızı üzerine etkisi

Standart ZA8 alaşımına %0.01-0.5 aralığında ilave edilen Mn alaşım elementinin aşınma hızı üzerine olan etkisi Şekil 5.11’de görülmektedir. Şekilden görüldüğü gibi, Mn alaşım elementi ZA8 alaşımının aşınma direncini sürekli olarak arttırmış ve maksimum aşınma dayanımı %0.5 Mn içeren alaşımdan elde edilmiştir. Bu alaşımdan elde edilen aşınma hızı değerleri 42, 62 ve 82 N için sırasıyla, 2.76, 4.10, 5.23 mg/km olarak belirlenmiştir. Bu aşınma hızı değerleri Tablo 5.4’deki standart ZA8 alaşımından elde edilen değerlerle karşılaştırıldığında Mn elementinin etkisinin önemi ortaya çıkmaktadır. %0.5 Mn elementi ilavesi standart alaşımının aşınma dayanımını yüke bağlı olarak yaklaşık %15-25 aralığında arttırmaktadır. Mn ilavesi ile alaşımın aşınma dayanımında meydana gelen bu artışın mikroyapıda oluşan Al-Mn metallererarası bileşiğinden kaynaklandığı söylenebilir. Çünkü sertliği yüksek olan bu faz aşınma esnasında yük taşıyıcı olarak davranmakta ve aşınma direncini arttırmaktadır[16, 24].

Tablo 5.6. ZA8 alaşımına Cr ilaveli alaşımlar için yük-ağırlık kaybı

ALAŞIM (15 dk-300d/dak)	42 N ağırlık kaybı(mg)	62 N ağırlık kaybı(mg)	82 N ağırlık kaybı(mg)
ZA 8-0.01 Cr	4.1	6	9.2
ZA8-0.03 Cr	3.5	5.8	8.4
ZA8-0.05 Cr	3.9	5.4	8.2
ZA8-0.07 Cr	3.7	5.2	8.9
ZA-0.10 Cr	3.2	4.9	8.8



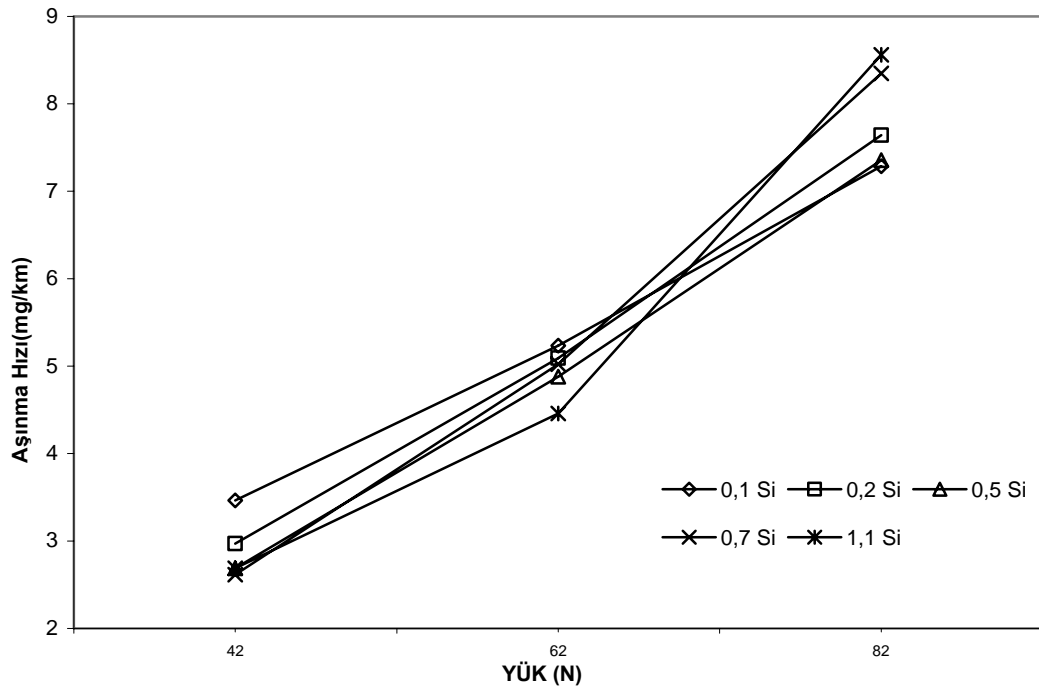
Şekil 5.12. ZA8 alaşımında Cr elementinin aşınma hızı üzerine etkisi

ZA8 alaşımına %0.01-0.1 aralığında ilave edilen Cr alaşım elementinin aşınma hızı üzerine olan etkisi Şekil 5.12’de grlmektedir. Şekilden görüldüğü üzere, Cr alaşım elementi ZA8 alaşımının aşınma direncini sürekli arttırmış ve maksimum aşınma dayanımı %0.1 Cr içeren alaşımdan elde edilmiştir. Bu alaşımdan elde edilen aşınma hızı değerleri 42, 62 ve 82 N için sırasıyla, 2.26, 3.47 ve 6.22 mg/km olarak belirlenmiştir. Bu aşınma hızı değerleri Tablo 5.4’deki standart ZA8 alaşımından elde edilen değerlerle karşılaştırıldığında Cr elementinin etkisi açıkça grlmektedir. %0.1 Cr elementi ilavesi standart alaşımın aşınma dayanımını yüke bağlı olarak yaklaşık %5-30 aralığında arttırmaktadır. Cr ilavesi ile alaşımın aşınma dayanımında meydana gelen artışın mikroyapıda oluşan Al-Cr metallererası bileşiğinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bunun sebebi, sertliği yüksek olan bu fazın aşınma esnasında yük taşıyıcı olarak davranmasıdır. Burada şunu da belirtmek gerekir ki, 82 N gibi yüksek yüklerde, özellikle yüksek oranda Cr ilavesi ile alaşımın aşınma direnci %5 oranında yükselmiştir. Bunun sebebinin de, bu yüklerde Cr alaşım elementinin oluşturduğu sert Al-Cr metallererası bileşiğinin kısmen parçalanarak aşınma dayanımındaki artışı engellemesi olduğu düşünülmektedir.

Tablo 5.7. ZA8 alaşımına Si ilaveli alaşımlar için yk-ağırlık kaybı

ALAŞIM (15 dk-300d/dak)	42 N ağırlık kaybı(mg)	62 N ağırlık kaybı(mg)	82 N ağırlık kaybı(mg)
ZA8-0.1 Si	4.9	7.4	10.3
ZA8-0.2 Si	4.2	7.2	10.8
ZA8-0.5 Si	3.8	6.9	10.4
ZA8-0.7 Si	3.7	7.1	11.8
ZA8-1.1 Si	3.8	6.3	12.1

Standart ZA8 alaşımına %0.1-1.1 aralığında ilave edilen Si alaşım elementinin aşınma hızı üzerine olan etkisi Şekil 5.13’te grlmektedir. Şekilden görüldüğü üzere, Si alaşım elementi ZA8 alaşımının aşınma direncini 42 ve 62 N’luk yüklerde sürekli olarak arttırmış, fakat 82 N’luk yük altında ise aşınma direnci her oranda ilave edilen Si ile azalmıştır. Bunun nedeninin mikroyapıda bulunan saf Si partiküllerinin yüksek yük altında parçalanması ve malzemeye zarar vermesinden kaynaklandığı söylenebilir.

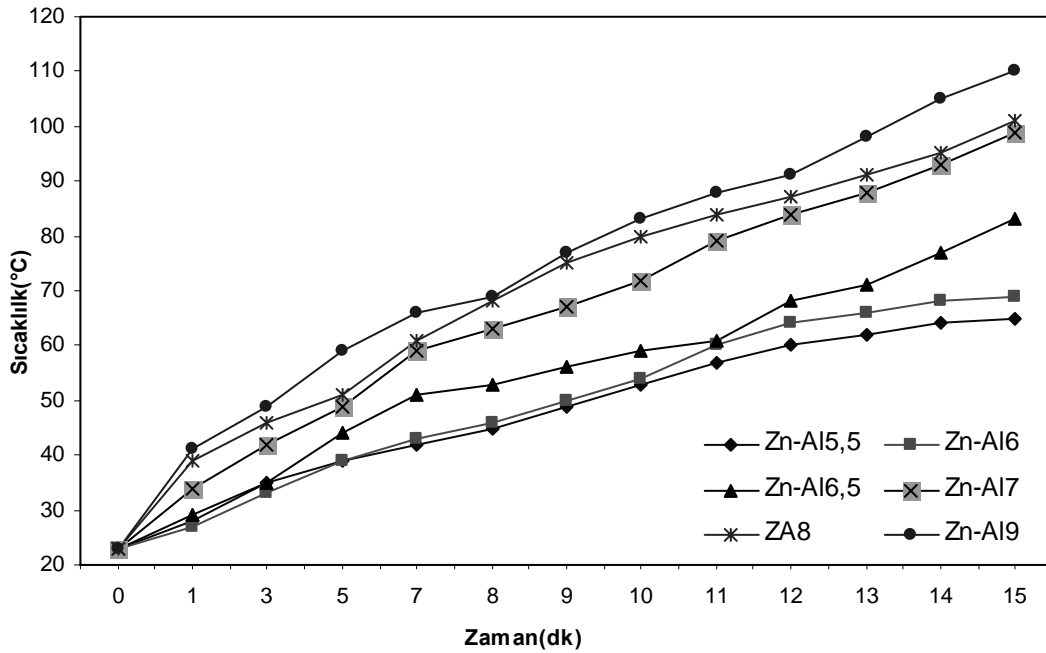


Şekil 5.13. ZA8 alaşımında Si elementinin aşınma hızı üzerine etkisi

Bu aşınma hızı değerleri Tablo 5.4'deki standart ZA8 alaşımından elde edilen değerlerle karşılaştırıldığında Si elementinin etkisi açıkça görülmektedir. %1.1 Si elementi ilavesi standart ZA8 alaşımının aşınma dayanımını 42,62 Nluk yüklerde yaklaşık olarak %5-30 aralığında arttırmaktadır.

5.2.1. Sıcaklık ölçümleri

Bazı alaşımların pin on roller aşınma testi esnasında aşınma cihazına monte edilen bir sistem yardımıyla numunelerinin deney sırasındaki sıcaklık değişimleri belirlenmiştir. Sıcaklık ölçümleri dışarıdan infrared bir sıcaklık ölçer yardımıyla ve Cr-Ni termokupla numune-aşındırıcı disk arayüzeyinin 3 mm. uzağına yerleştirilerek gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.14'de Zn-5.5-9 Al-0 Cu alaşımlarından elde edilen, aşınma süresi-sıcaklık değişim verilmiştir. Artan Al oranı ile alüminyumun ısı absorblama ve yayma kapasitesindeki artıştan dolayı arayüzeyde sürtünmeden doğan sıcaklık da artmaktadır. Deneylerde oda sıcaklığı olan 23°C baz alınmış ve her dk başındaki ölçümler alınarak grafik oluşturulmuştur. Görüldüğü üzere Zn-5.5 Al alaşımında deney sonundaki maksimum sıcaklık 60°C'lerde iken, Zn-9 Al alaşımında bu sıcaklık 110°C'lere yükselmiştir.



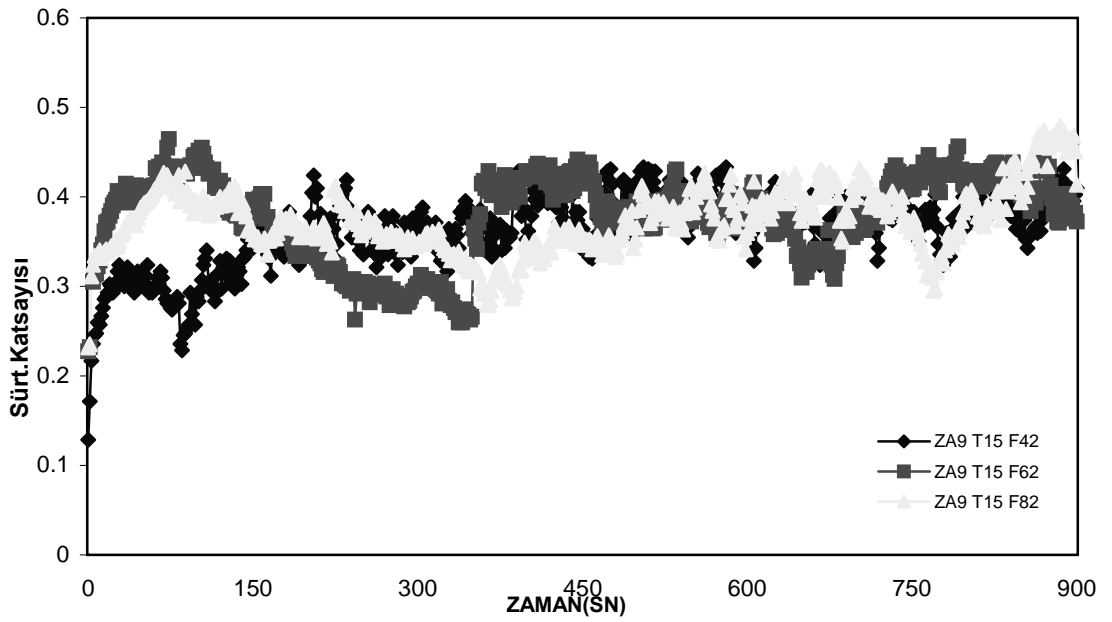
Şekil 5.14. Zn-5.5~9 Al oranlarındaki alaşımlar için Zaman-Sıcaklık değişim grafiği

5.2.2. Sürtünme katsayısı ölçümleri

Çalışmalarda elde edilen F_s 'ler, her deneyde saniyede bir alınan (toplam 900) değerler olup, yatak uygulamalarında segman sistemi kullanıldığında daha etkin değerler alınabileceği, yani ortalama 40 N olan bir F_s 'nin, segmanlı sistemde 26-30N'a kadar düşebileceği gözlemlenmiştir. Bu da daha az aşınma ve piston-yatak ömrünün uzaması demektir. Daha sonra, uygulanan normal yüke bölünen bu verilerle sürtünme katsayısı-zaman grafikleri (Şekil 5.15-5.18) çizilmiştir. Deneylerde F_s 'nin yüksek çıkmasının sebebi, yüzeyden kopan Si, Cr, Mn gibi parçacıkların, aşındırıcıya geçip dönme hareketi sonucunda tekrar aşınan yüzeyle karşılaşmasıdır, bu da istenmeyen veya doğru olmayan aşınma sonuçlarına neden olmaktadır. Kopan parçaları sistemden tamamen uzaklaştıran bir sıyırıcı veya süpürücü sistemiyle bu problemin çözülebileceği görülmüştür.

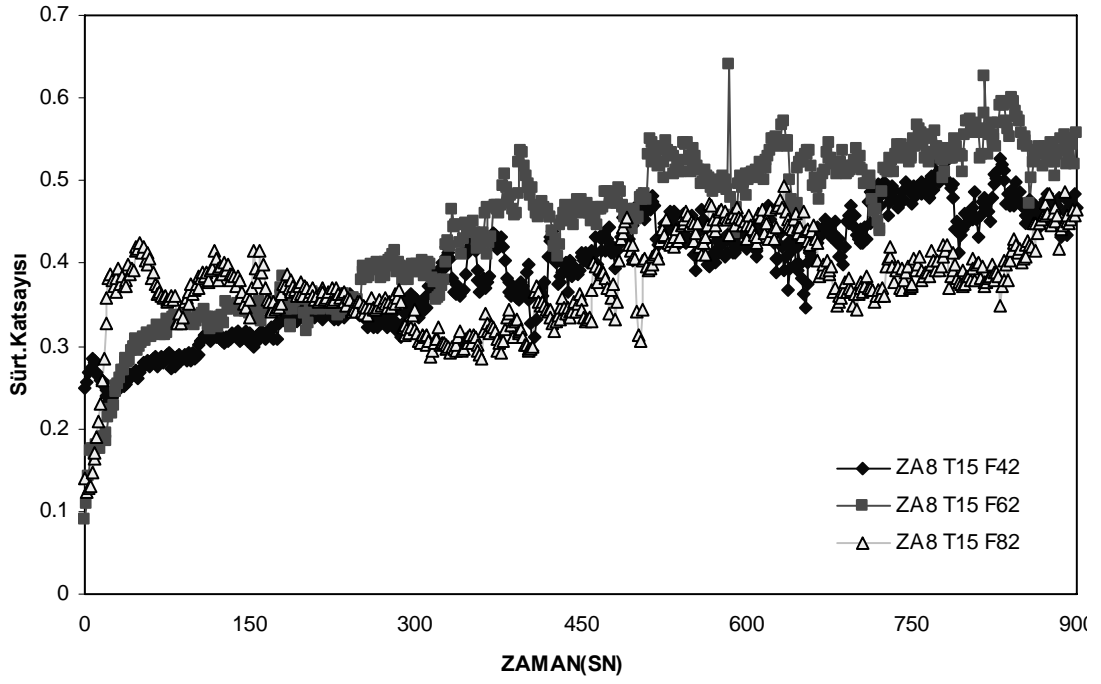
Alaşımların sürtünme katsayıları ise $F_s = \mu_{(k)} * N$ formülü kullanılarak hesaplanmıştır. Burada; F_s belirlenen sürtünme kuvveti, $\mu_{(k)}$ kinetik sürtünme katsayısı ve N uygulanan kuvveti göstermektedir. Sürtünme katsayısı

hesaplamalarında kullanılan sürtünme kuvvetleri cihazın kontrol panelinden sürekli olarak bir kamera yardımı ile kayıt altına alınmıştır. Bilgisayara aktarılan bu kayıtlar yazılan bir program yardımıyla uygulanan normal kuvvete bölünmüş ve kinetik sürtünme katsayılarındaki değişim deney boyunca sürekli olarak izlenmiştir. Elde edilen bu sürtünme katsayısı-yük grafiklerinden ortalama sürtünme katsayısı değerleri hesaplanmıştır. Şekil 5.15-5.18’de örnek olarak ZA8, ZA12 ZA9-0 Cu ve ZA5.5-0 Cu alaşımlardan elde edilen sürtünme katsayısı-zaman grafikleri verilmiştir.

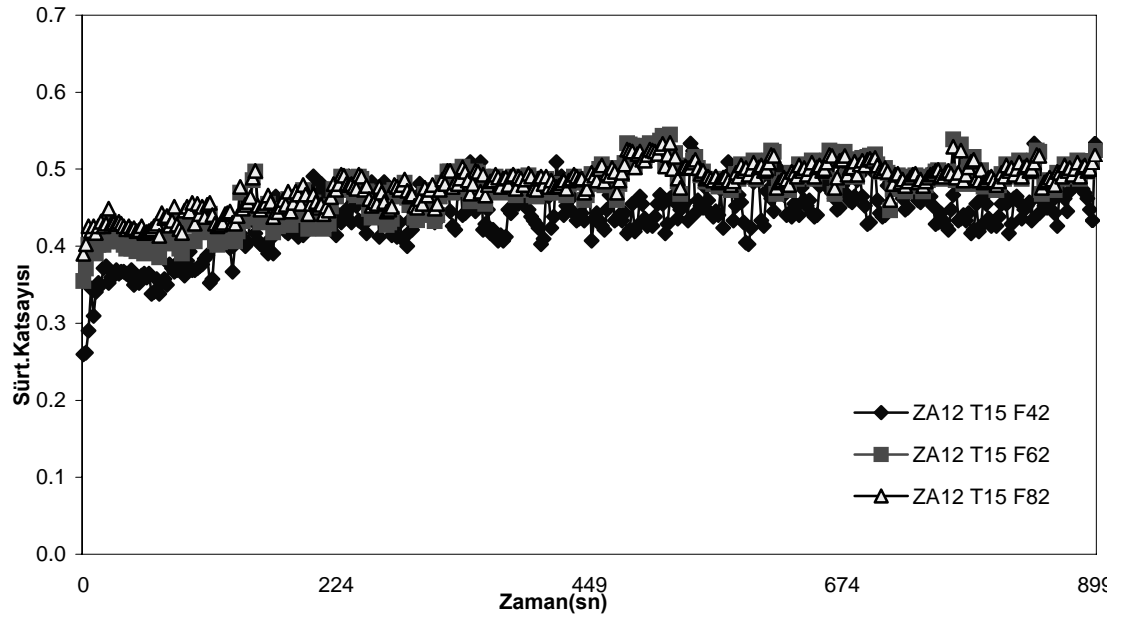


Şekil 5.15. Zn-Al 9-0 Cu alaşımı için zaman-sürtünme katsayısı grafiği

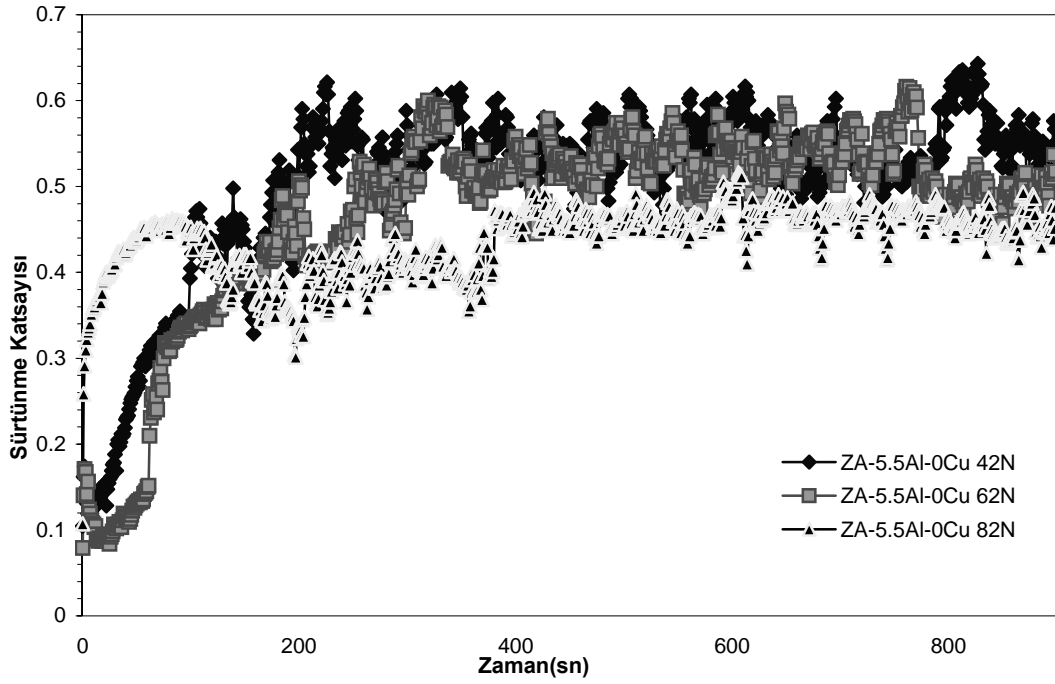
Aşınma deneyi esnasında bazı alaşımlarda belirlenen sürtünme katsayısı değerlerinden her alaşım için ortalama sürtünme katsayısı değeri hesaplanmıştır.



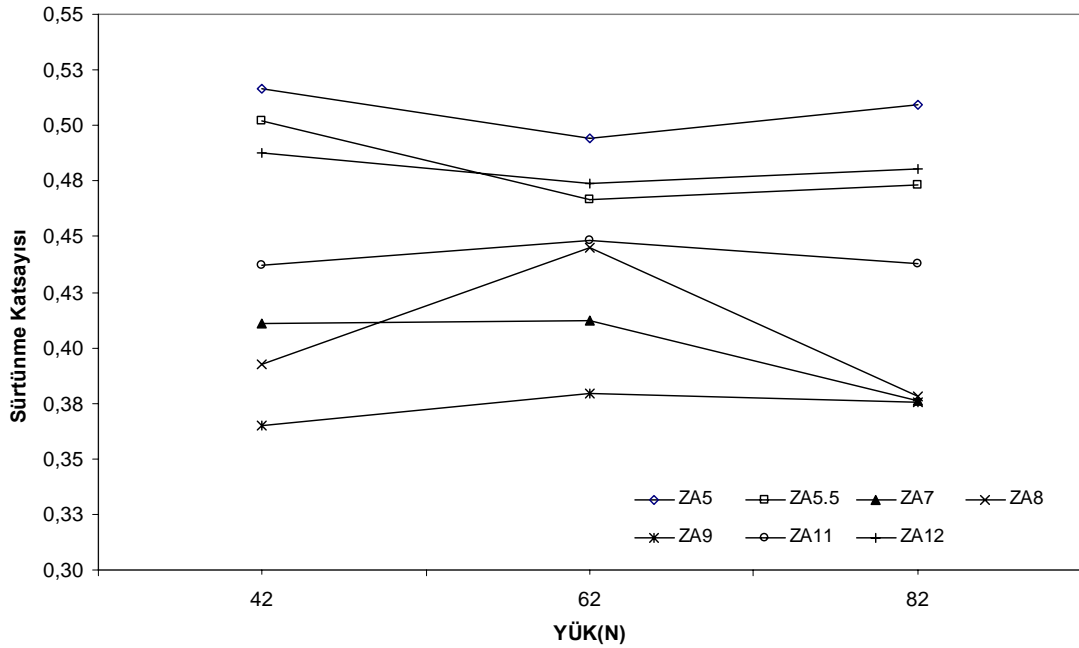
Şekil 5.16. ZA8 alaşımı için zaman-sürtünme katsayısı grafiği



Şekil 5.17. ZA12 alaşımı için zaman-sürtünme katsayısı grafiği



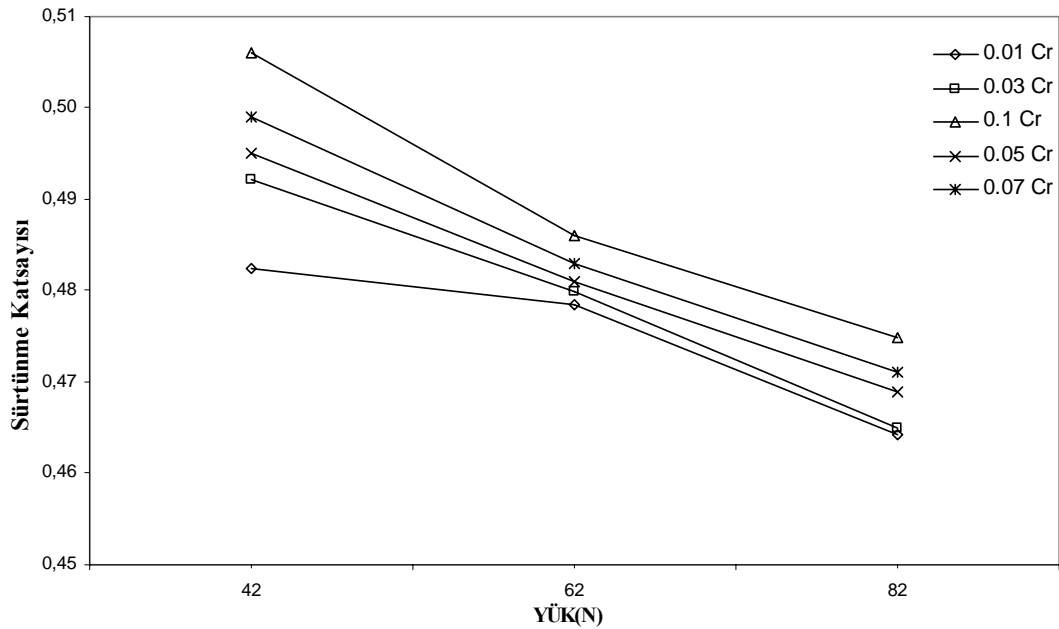
Şekil 5.18. Zn-Al 5.5 - 0 Cu alaşımı için zaman-sürtünme katsayısı grafiği



Şekil 5.19. Zn-5-11 Al-0 Cu ve standart alaşım ZA8-ZA12'nin sürtünme katsayılarının yüklerle değişimi

Şekil 5.19-5.20'den görüldüğü gibi alaşımların sürtünme katsayısı değerleri birbirine yakın ve 0.4~0.6 değerleri arasında değişmektedir. Yukarıdaki zaman-sürtünme katsayısı grafiklerinden de görüldüğü üzere, ZA alaşımları sürtünmeye başlarken karakteristik bir (n) şeklinde zorlanma yani ilk başta yüzeyin bozulmasına neden olan

bir ağırlık kaybı ve sürtünme kuvvetlerinde ve buna bağlı olarak sürtünme katsayısı bir yükseliş, fakat sonra lineer ve sabit bir sürtünme kuvveti (katsayısı) değeri göstermektedir. Genel olarak bakıldığında orta yüklerde (62N) daha fazla zorlanma ve bununla beraber dalgalanmalar göze çarpmaktadır. Fakat 82 N'a maruz bırakılmış numunelerde bu seyir daha homojen devam etmektedir. Bu da test edilen alaşımların orta yüklerle direnç gösterdiği fakat yüzeyden parça koptuğunda hem zorlanmanın arttığı hem de yüzey alanının daha artması veya azalmasından dolayı dalgalanmalar meydana geldiğini göstermektedir. 82 N'da daha durağan bir sürtünme katsayısı sürekliliğinin olması ise alaşımların bu yüke zorlanmalarının yani yüzey alanı oluşumuna karşı tepki artışının sabit olduğunu göstermektedir.

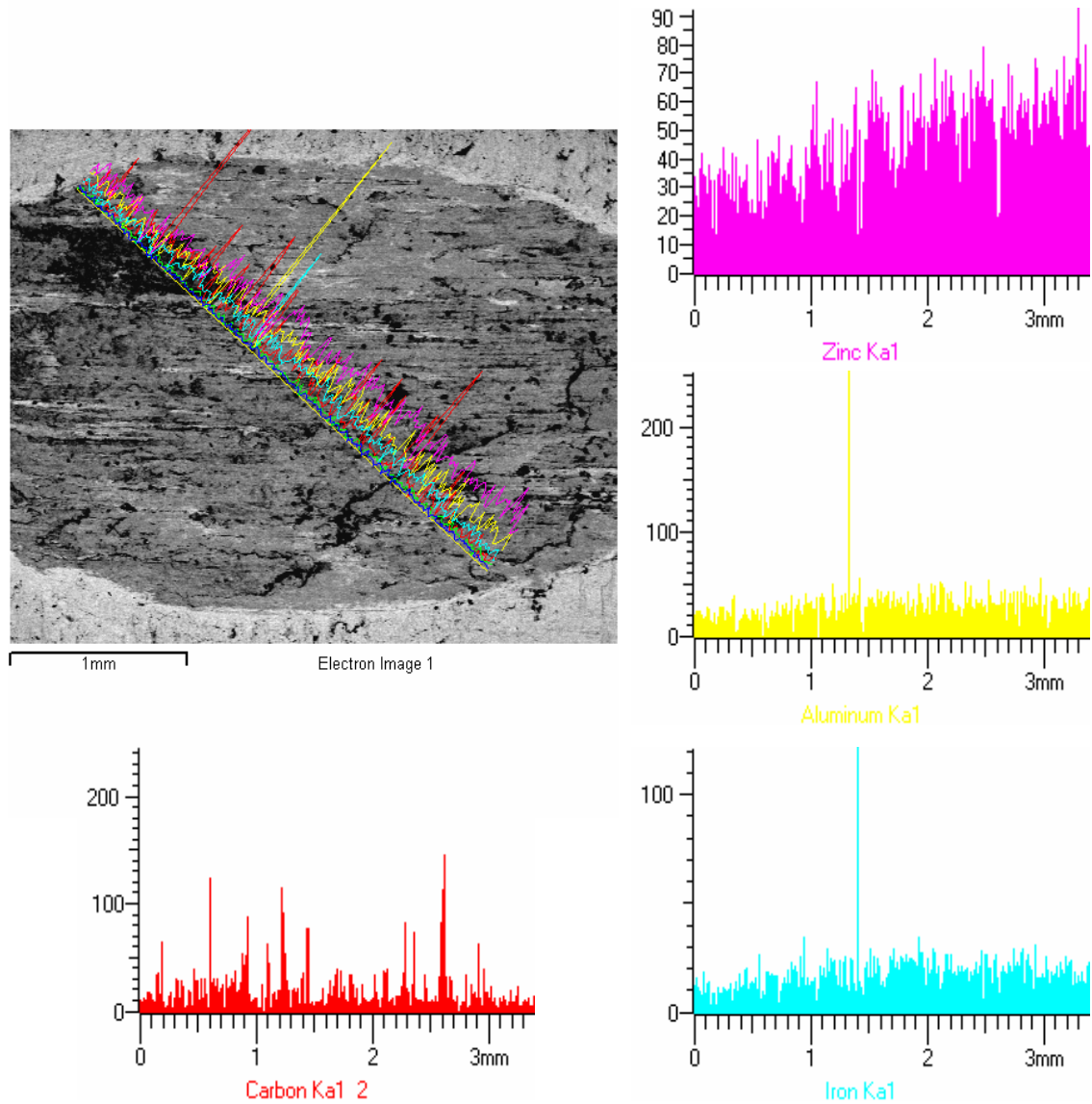


Şekil 5.20. ZA8 alaşımına Cr ilavesi ile sürtünme katsayılarının yüke bağlı olarak değişimi

Şekil 5.20'den görüldüğü gibi ZA8 alaşımına Cr ilavesiyle alaşımın sürtünme katsayısı değerlerinde belli bir artış gözlenmektedir. Burada ZA8-0.01 Cr ilavesinde sürtünme katsayısı 42 N'luk yükte 0.485 iken %0.1 Cr ilavesiyle bu değer 0.507'e çıkmıştır. 82N'luk yüklemde de %0.01 Cr ilavesiyle 0.464 olan sürtünme katsayısı değeri, % 0.1 Cr ilavesiyle 0.475 değerine çıkmıştır. Bunun sebebinin de Al-Cr metaller arası bileşiğinin veya Cr partiküllerinin yapıda çok büyüyerek aşınmada parçalanma ve kopma ile arayüzeyde aşırı zorlanmalara, pürüzlülüğe, dolayısıyla sürtünme katsayısı değerlerinde artışa neden olduğu düşünülmektedir.

4.3. Aşınma yüzeylerinin SEM İncelemeleri

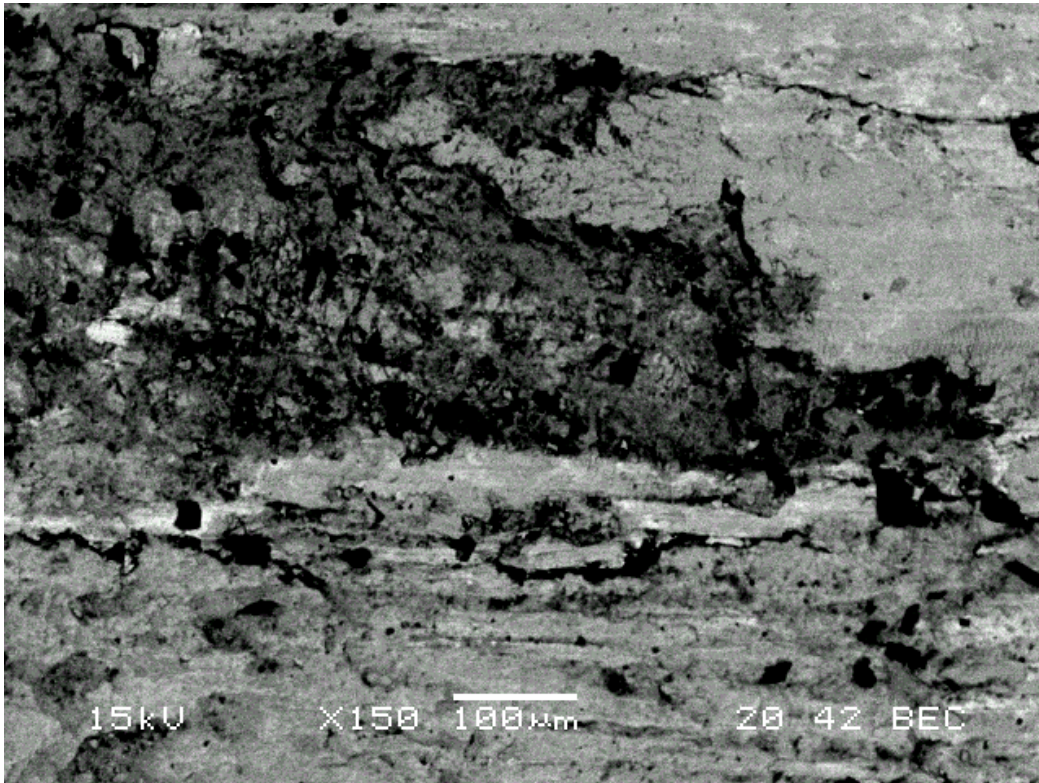
Aşınma yüzeylerinden alınan SEM- BEC fotoğrafları ve EDS analizleri göstermiştir ki, literatürle uyumlu olarak yapıda Zn, Al, Fe metallerine ve bunların oksitlerine rastlamak mümkündür. EDS analizlerinden de görüleceği gibi, alınan çizgi analizlerinde çizgi üzerinde denk gelen noktadaki pikler karşılaştırıldığında bu piklerin hangi metalin oksiti olduğu açıkça görülmektedir. Ayrıca yapıda hem EDS sırasındaki yanmadan hem de Fe'den gelen C'lara rastlamak mümkündür. Zn-5Al-0Cu alaşımının 42N yükte yapılan aşınma sonrası yüzey görünümüne yüzeyden EDS analizi Şekil 5.21. ve Tablo 5.8'de verilmiştir. Şekil 5.22'de ise, aynı alaşımın yüksek büyütmede BEC SEM mikrografı görülmektedir.



Şekil 5.21. Zn-5 Al-0 Cu alaşımı için SEM ve EDS çizgi analizi

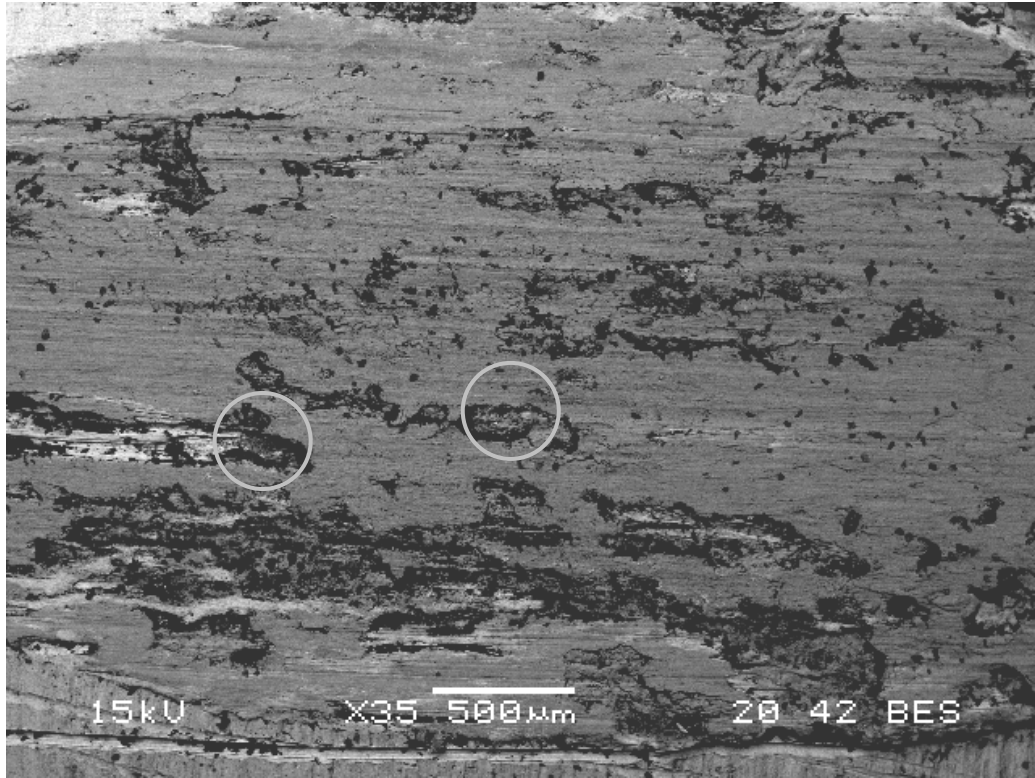
Tablo 5.8. Zn-5 Al-0 Cu alaşımı için EDS b3lge analizi

Element	App Conc.	Intensity Corm.	Weight%	Atomic %
C K	3.11	0.3962	9.53	22.96
O K	23.29	1.1144	25.38	45.91
Al K	1.47	0.5753	3.11	3.34
Fe K	3.45	0.9137	4.58	2.37
Zn L	31.23	0.6600	57.41	25.42
Totals			100.00	



şekil.5.22. Zn-5 Al-0 Cu alaşımını için SEM BEC fotoğrafı

şekil 5.22'den gör3ld3đüğü üzere Zn-5 Al-0 Cu alaşımının aşınması abrazyif olup yer yer gör3len partik3llerin EDS analizinden de anlaşılacağı üzere Al_2O_3 ve ZnO olduğu d3ř3n3lmektedir. şekil 5.21'da daha geniş gör3lmekle birlikte şekil 5.22'de de partik3llerin k3melendiği b3lgelerde zorlanmadan doğan y3zey çatlakları ve orta kısımda da partik3llerin sebep olduğu bir bant halinde daha açık renkte aşınmış oyuklar gör3lmektedir. EDS analizinde gör3ld3đüğü üzere Tablo 5.8'deki analizdeki miktarları az olan Fe ve Al yapıda genel olarak bulunmalarına karşın piklerinin belli bir b3lgedeki şiddetlerinden dolayı b3yle bir veri elde edilmiştir.



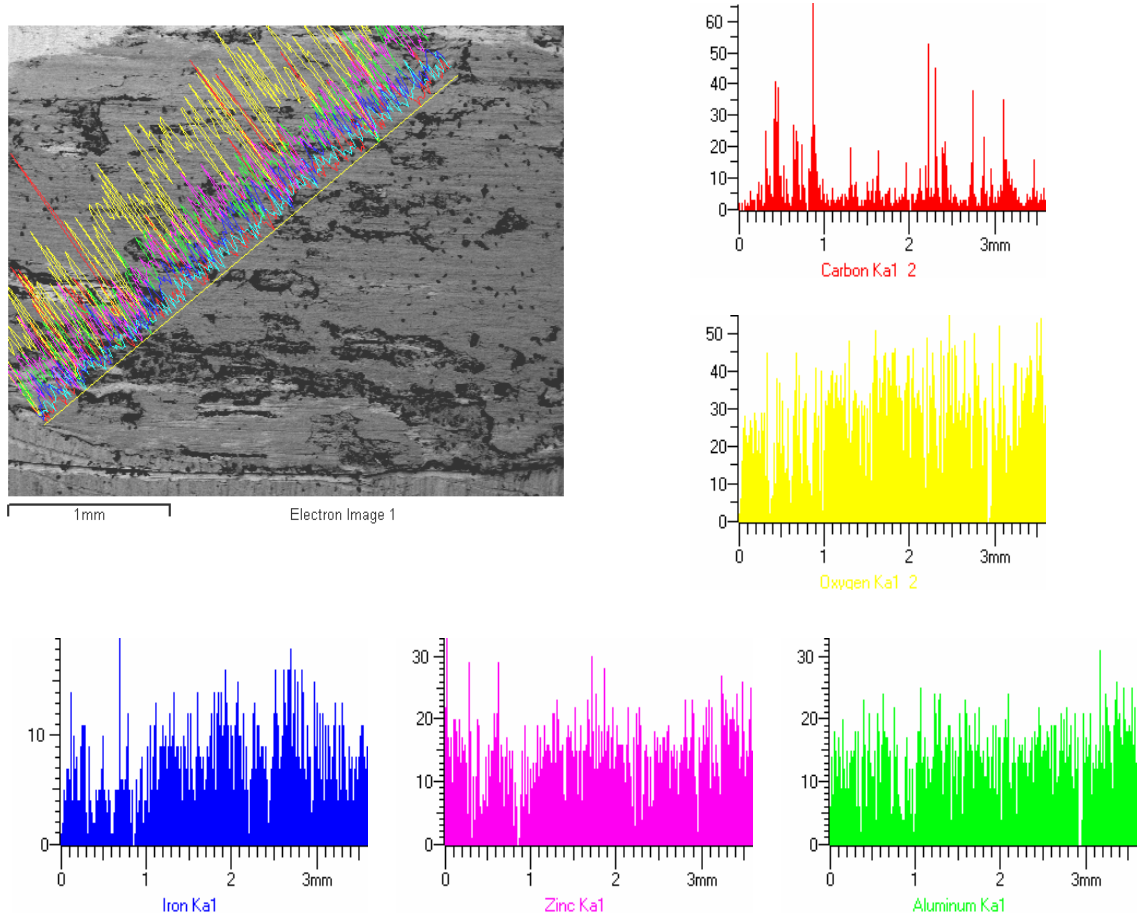
Şekil 5.23. ZA8 alaşımının SEM-BES fotoğrafı

Tablo 5.9. ZA8 alaşımının EDS bölge analizi

Element	App Conc.	Intensity Corr.	Weight%	Weight% Sigma	Atomic %
C K	3.48	0.3996	9.45	0.73	21.94
O K	28.37	1.1305	27.26	0.43	47.55
Al K	2.47	0.5937	4.51	0.13	4.67
Fe K	5.44	0.9056	6.52	0.29	3.26
Zn L	29.68	0.6222	51.76	0.55	22.10
Totals			100.00		

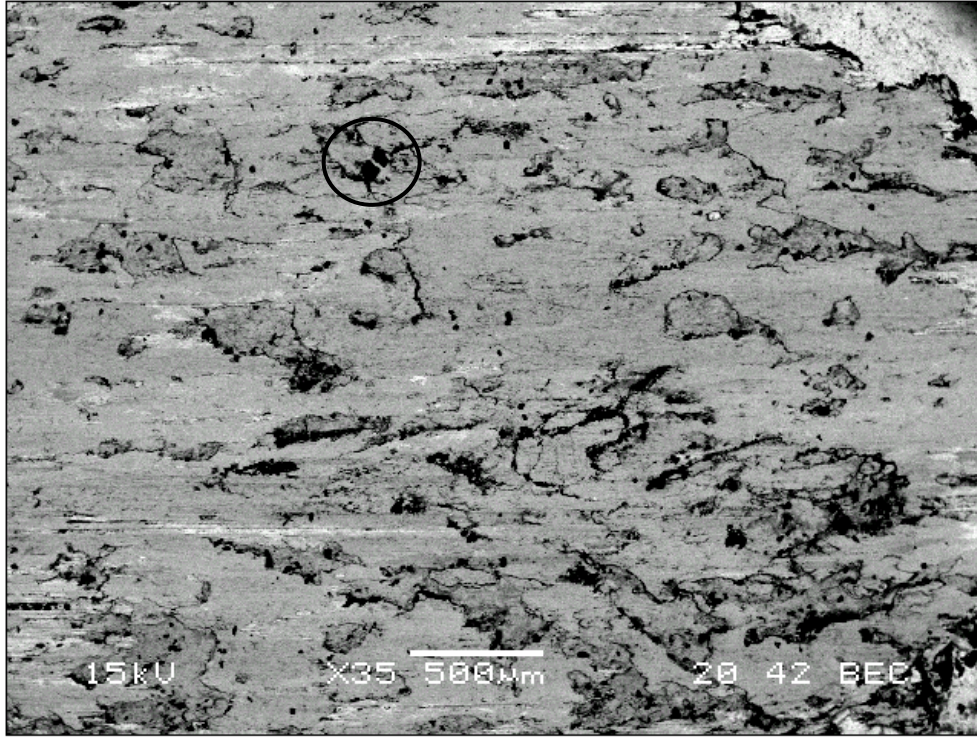
Tablo 5.9.'da ve Şekil 5.23'de ZA8 standart alaşımının 42 N'luk aşınma testinden elde edilen aşınma yüzeyinin SEM BEC fotoğrafı görülmektedir. Burada Cu'nun oluşturduğu ϵ fazının yarattığı bölgesel aşınma iyileşmeleri ve yapıda sıvanma tarzı aşınma gözlenmektedir. Şekil 5.24'deki piklerde ise oksit piklerinin çok yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca aşındırıcı diskten geldiği tahmin edilen Fe ve aşındırıcı diskten geldiği ve/veya yanmayla oluştuğu düşünülen C oranlarının da yapının genelinde bulunmasına karşın belli bölgelerde yoğun olduğu görülmektedir.

Şekil 5.24'ten görüldüğü gibi Fe ve Zn piklerinin yükseldiği bölgelerde (1,7.-1,9. mm'lerde) bir Fe, Fe oksit ve ZnO varlığından söz edilebilir. Al ve Zn piklerinin arttığı 3,2. mm'lerde ve işaretli bölgede Al_2O_3 (yük taşıyıcı) ve ZnO (yumuşak faz) olabileceği düşünülmektedir[16, 20, 21].



Şekil 5.24. ZA8 alaşımının SEM-EDS çizgi analizi, fotoğrafı ve element pikleri

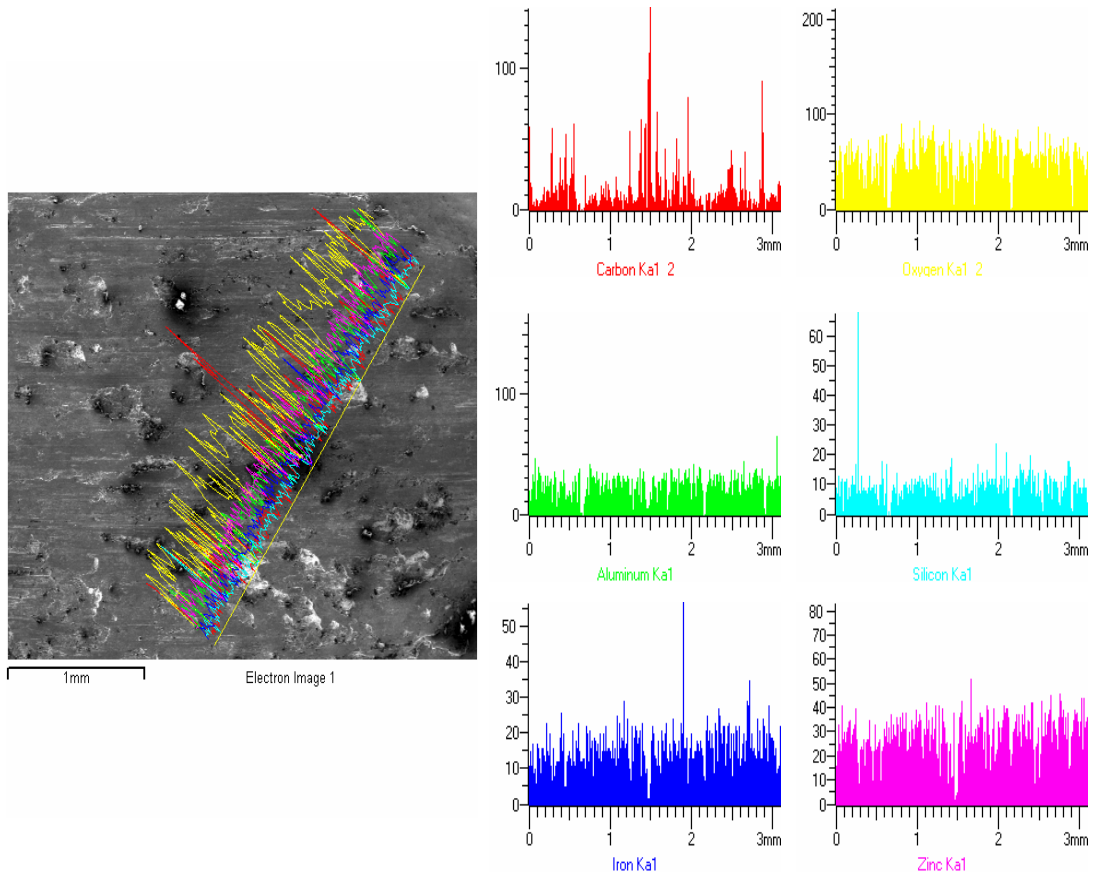
Şekil 5.24'te C'un maksimum pikini verdiği 0,9. mm'de yanmadan dolayı bir C birikmesinden söz edilebilir çünkü diğer elementlerin pikleri bu bölgede 0'a inmiştir. Tablo 5.9'da görüldüğü gibi ortalama %27 olan oksijen varlığı C yanmasının olduğu bölgeden sonra gri görülen bölgelerde yoğun olarak bulunmaktadır. Buradan da ortamdaki elementlerin genelde oksitlenmiş halde bulduklarını düşünmek mümkündür.



Şekil 5.25. ZA8-0.7 Si alaşıımının SEM BEC fotoğrafı

Şekil 5.25’de ZA8-0.7Si alaşıımının 62 N’luk yüklemdeki aşınma testinden elde edilen yüzeyin SEM BEC fotoğrafı görölmektedir. Yapıda Si ilavesi ile yer yer bantlaşma ve sıvanma tarzı yapıların olduğu bölgeler dikkati çekmektedir. Bunun yanı sıra muhtemelen saf Si olan partiküller gözlenmektedir. Şekil 5. 26’daki EDS analizi sonuçlarından elde edilen piklerden göröldüğü gibi, silisyum elementi 0,3. mm de en yüksek pikini vermiştir ve buranın bir Si primer partikülü olduğu düşünölebilir [2, 16]. Yapıda Si veya kopan Fe parçalarının oluşturduğu düşünölen yüzey çatlakları ve ayrıca plastik deformasyon bölgeleri de gözlenmektedir.

C’nun maksimum pik oluşturduğu bölgede Fe, Zn ve Al elementlerinin piklerinin sıfıra doğru indiğı, az miktarda silisyum elementinin bulunduğu görölmektedir. Fakat yapıda yoğun bir şekilde çinko bulunduğu göze çarpmaktadır.



Şekil 5.26. ZA8-0.7Si alaşımlının SEM EDS çizgi analizi ve pikleri

Tablo 5.9. ZA8-0.7Si alaşımlının EDS bölge analizi

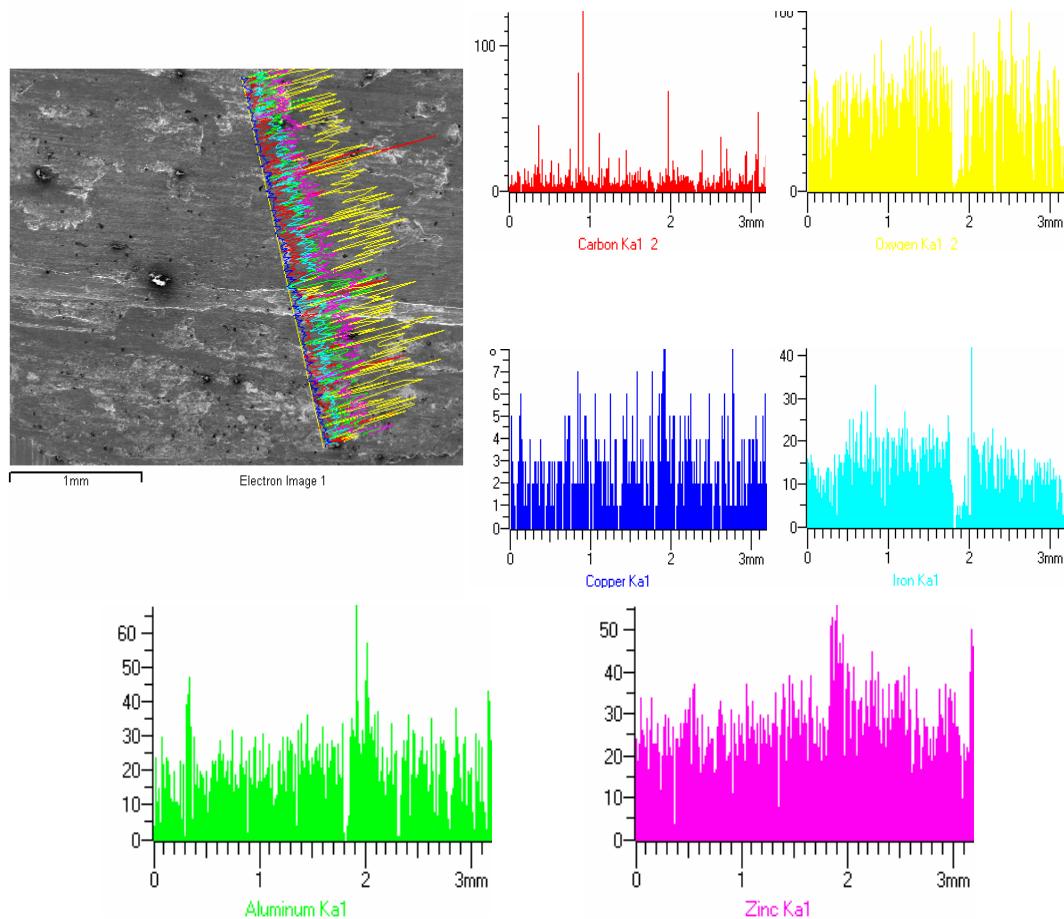
Element	App Conc.	Intensity Corm.	Weight%	Weight% Sigma	Atomic %
C K	8.35	0.4109	12.67	0.48	28.14
O K	45.37	1.0750	26.30	0.30	43.86
Al K	3.78	0.6011	3.92	0.08	3.88
Si K	0.78	0.6985	0.70	0.06	0.66
Fe K	9.22	0.8991	6.39	0.21	3.05
Zn L	49.83	0.6208	50.02	0.37	20.42
Totals			100.00		

Alaşımlın sertliğinin de ortalamanın üstünde olması ve yapıda genel olarak Si piklerinin bulunması, ayrıca Şekil 5.25'deki daire içerisinde gösterilen koyu gri partiküllerin saf Si olduğu düşünülmektedir. SEM fotoğrafında da yer yer kayma izleri görülmesi, aşınma mekanizmasının adheziv-abrasiv karma tip olduğunu göstermektedir.

Şekil 5.27’de Zn-7Al-1Cu içeren alaşımın aşınma yüzeyinden elde edilen SEM mikrografı ve EDS analizleri görülmektedir. Bu analiz değerleri Tablo 5.10’da özetlenmiştir.

Tablo 5.10. Zn-7 Al-1 Cu alaşımının EDS bölge analizi

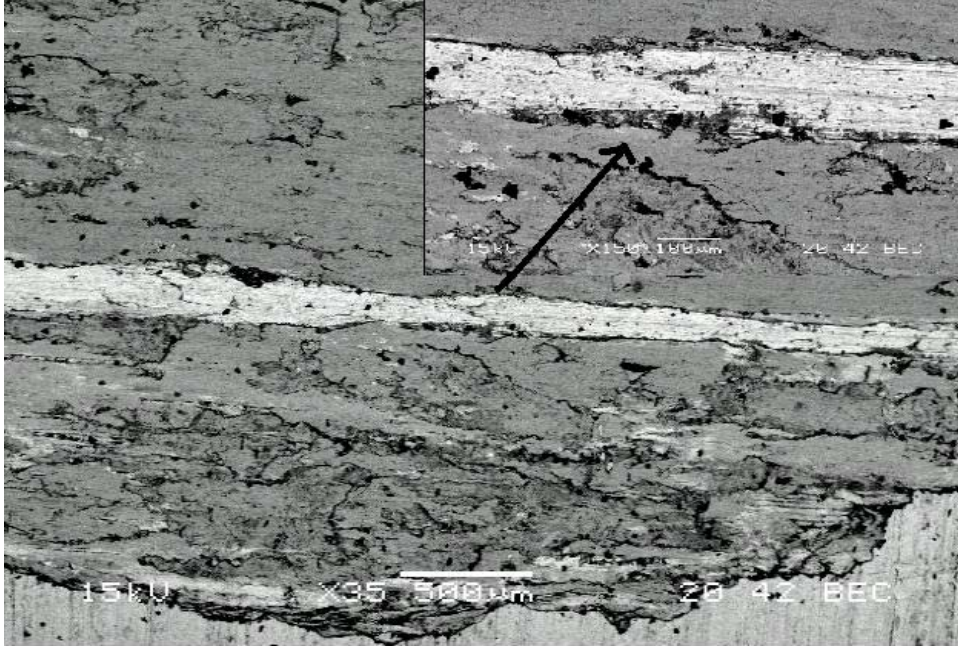
Element	App Conc.	Intensity Conn.	Weight%	Weight% Sigma	Atomic %
C K	3.96	0.3886	7.12	0.54	17.79
O K	42.59	1.1598	25.67	0.34	48.15
Al K	3.39	0.5758	4.12	0.10	4.58
Fe K	8.55	0.9184	6.50	0.23	3.50
Cu L	0.43	0.5726	0.52	0.46	0.25
Zn L	50.85	0.6334	56.07	0.51	25.74
Totals			100.00		



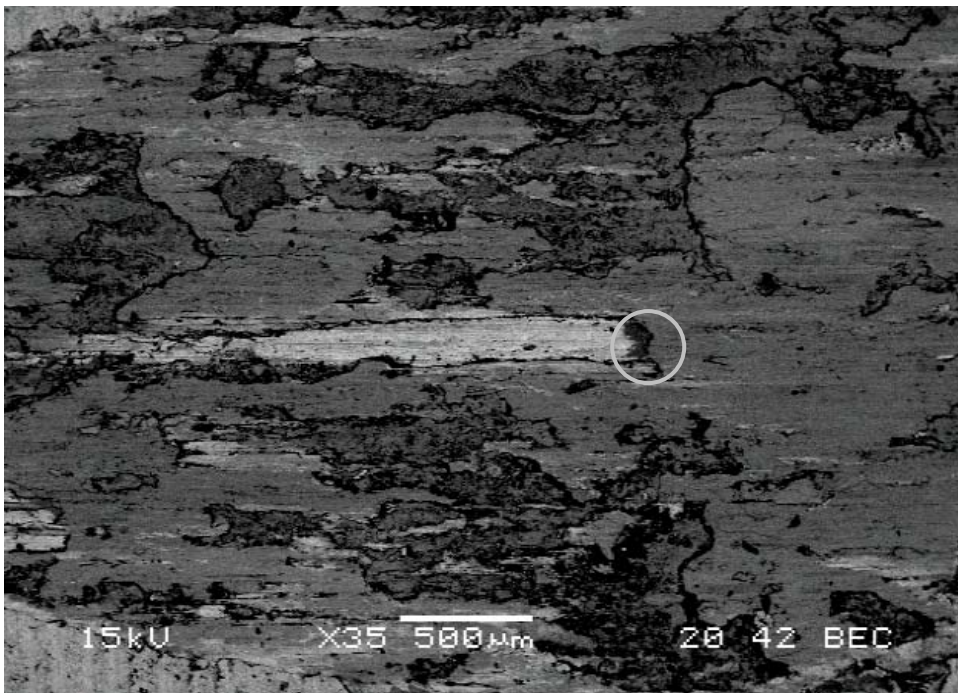
Şekil 5.27. Zn-7 Al-1 Cu alaşımının EDS çizgi analizi ve element pikleri

Şekil 5.27’deki EDS analizinde görüldüğü gibi çizgi analizinin 1.8. ve 1.9. mm’lerinde Al, Fe, C ve O pikleri sıfıra inmiş, bunların yerine Zn, ve Cu pikleri yükselmiştir. Böylece ϵ fazının o bölgedeki varlığından söz etmek mümkündür. 2. mm civarında ise Zn Al ve Fe pikleri yükselme göstermiştir. Bu, Şekil 5.28’de

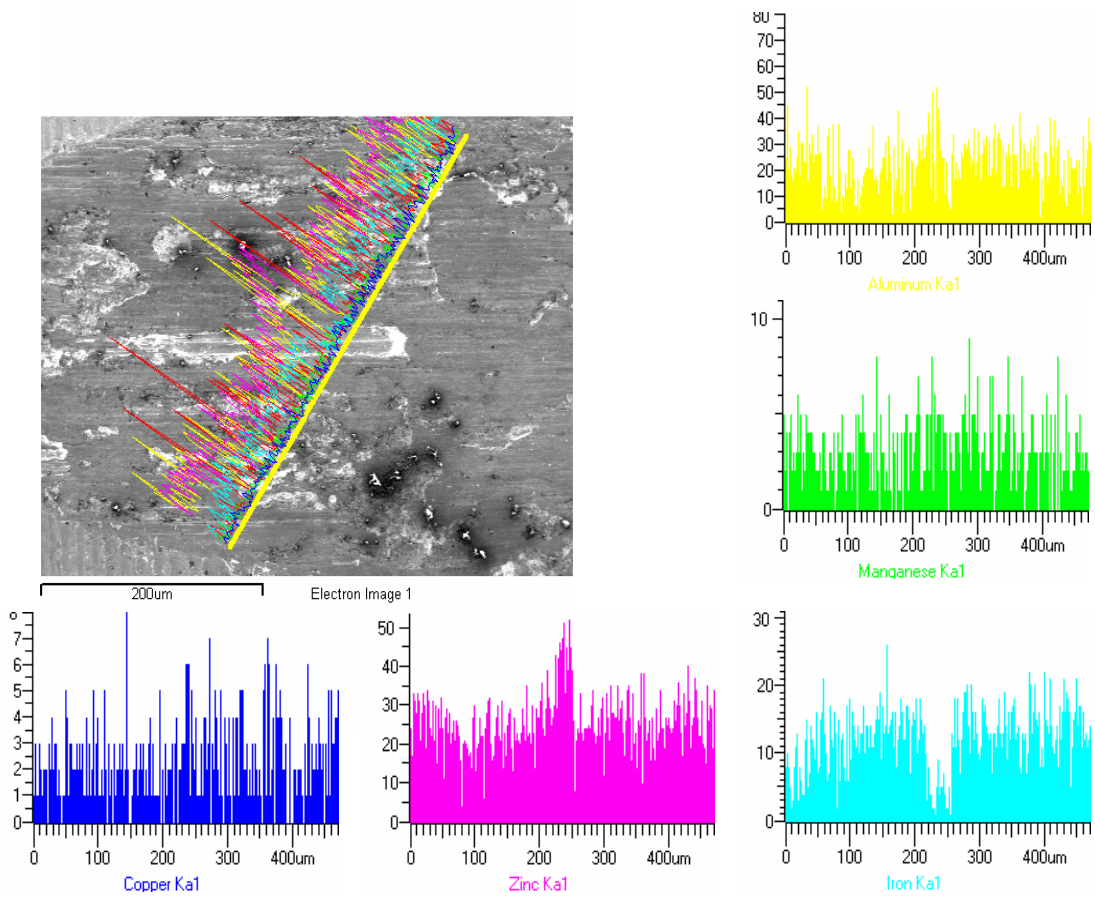
büyütülmüş bölgeye denk gelmektedir. Burada da kopan bir Fe partikülüyle Al_2O_3 -ZnO çiftinin etkileşimi olduğu düşünülmektedir. Çizgi analizinde ϵ fazının bulunduğu bölge hariç genel olarak görülen oksijen pikleri yüzeyin sıcaklıktan ve sürtünmeden dolayı oksitlendiğini göstermektedir.



Şekil 5.28. Zn-7 Al-1 Cu alaşımının SEM-BEC fotoğrafı



Şekil 5.29. ZA8-0.4 Mn ilaveli alaşımın SEM-BEC fotoğrafı



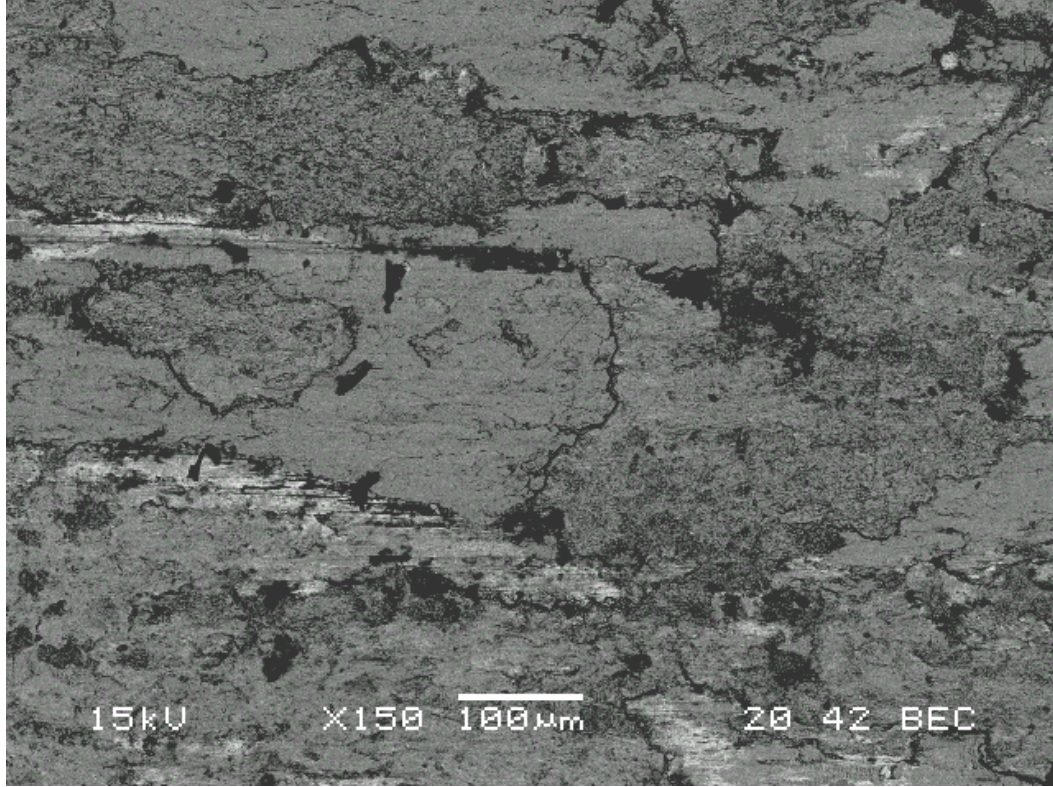
Şekil 5.30. ZA8-0.4 Mn ilaveli alaşımanın SEM ve EDS çizgi analizi ve element pikleri

Tablo 5.11. ZA8-0.4 Mn ilaveli alaşımanın EDS bölgesel element analizi

Element	App Conc.	Intensity Corr.	Weight%	Weight% Sigma	Atomic %
C K	3.10	0.3803	6.96	0.59	17.72
O K	32.47	1.1481	24.18	0.36	46.20
Al K	3.40	0.5751	5.05	0.11	5.72
Mn K	0.10	0.9033	0.09	0.13	0.05
Fe K	6.58	0.9214	6.11	0.23	3.34
Cu L	0.42	0.5864	0.62	0.49	0.30
Zn L	43.07	0.6455	57.00	0.55	26.66
Totals			100.00		

Şekil 5.29’da verilen 42N’luk yükleme şartlarındaki aşınma yüzeyinden alınan SEM BEC görüntüsünde, yapıda abrazyiv-adhesiv karma tür aşınma olduğu gözlenmektedir. Şekil 5.30’da görülen çizgi EDS analizinde Mn yapıda az miktarda fakat homojen olarak dağılmış şekilde bulunmaktadır. İşaretili bölgeden alınabilecek bir EDS nokta analizinde aşınmayı durdurabileceği ön görülen bir Al-Mn intermetalğine rastlanacağı düşünülmektedir. Çünkü aşınma yüzeyi kopan bir

partikül nedeniyle (örneğin Fe) derin bir oyuk oluşturmakta fakat işaretli bölgede bir engelle karşılaşılarak sönümlenmektedir.



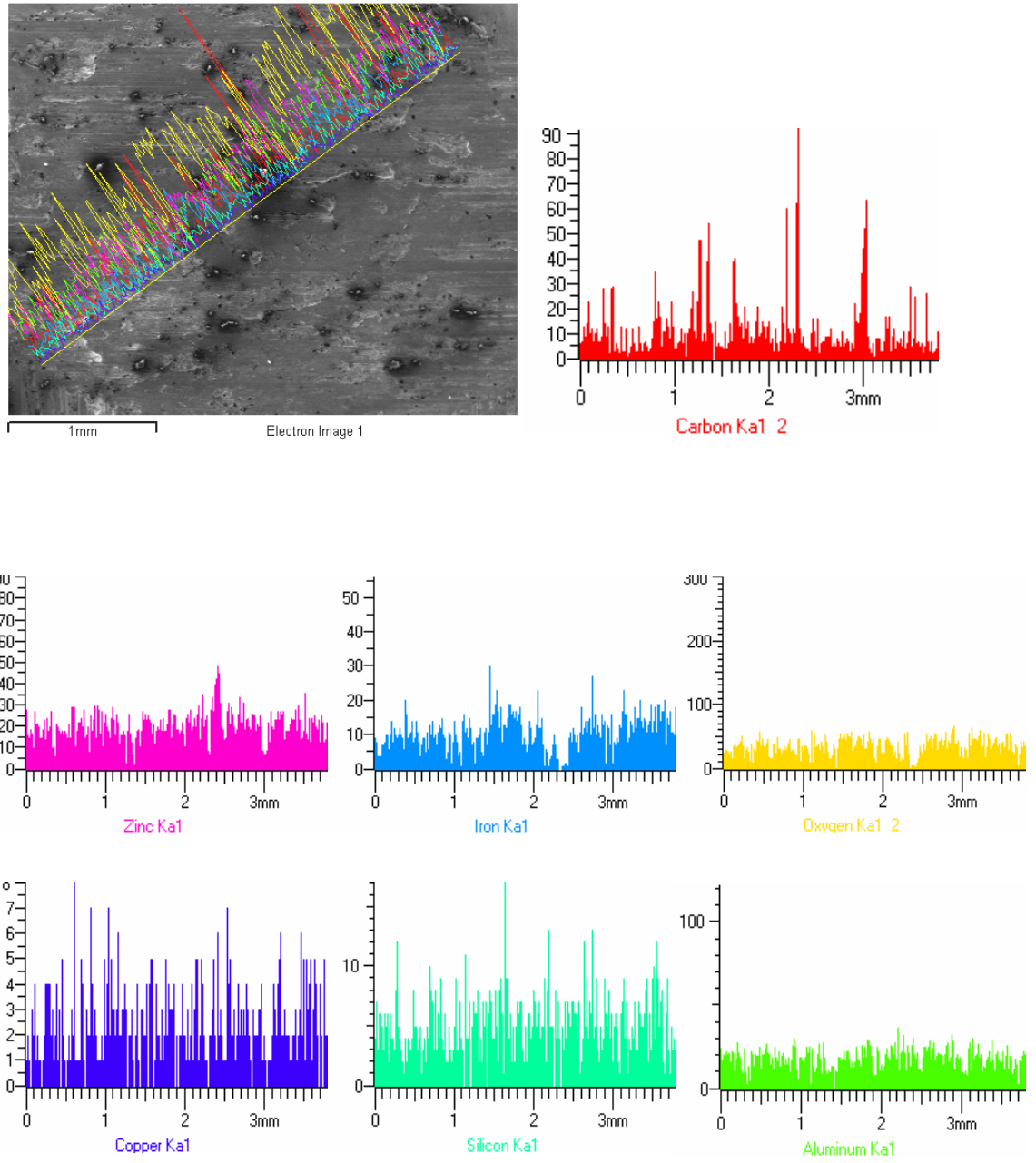
Şekil 5.31. ZA8-0.03 Cr ilaveli alaşımın SEM-BEC fotoğrafı

Tablo 5.12. ZA8-0.03 Cr ilaveli alaşımın EDS bölge analizi

Element	App Conc.	Intensity Corr.	Weight%	Weight% Sigma	Atomic %
C K	8.40	0.4381	14.83	0.47	30.39
O K	41.29	1.0694	29.87	0.56	45.94
Al K	3.67	0.6220	4.56	0.09	4.16
Cr K	0.04	0.8992	0.03	0.09	0.02
Fe K	7.44	0.8842	6.51	0.21	2.87
Zn L	33.78	0.5914	44.19	0.45	16.63
Totals			100.00		

ZA8-0.03 Cr içeren alaşımın 62 N yüklemde yapılan aşınma deneyi sonrası yüzeyden alınan SEM görüntüsü Şekil 5.31’de verilmiştir. Burada, belli bölgelerde siyah olarak dikkati çeken Cr intermetalik partiküllerinin varlığı görülmektedir. Yapıda keskin köşeli ve kompleks şekilli partiküller şeklinde bulunan bu intermetalik bileşiğin daha çok sıvanmayı ve plastik deformasyonu durdurucu görev üslendiği ve bu bölgelerde yoğunlaştığı söylenebilir. Tablo 5.12’de görülen bölgesel EDS

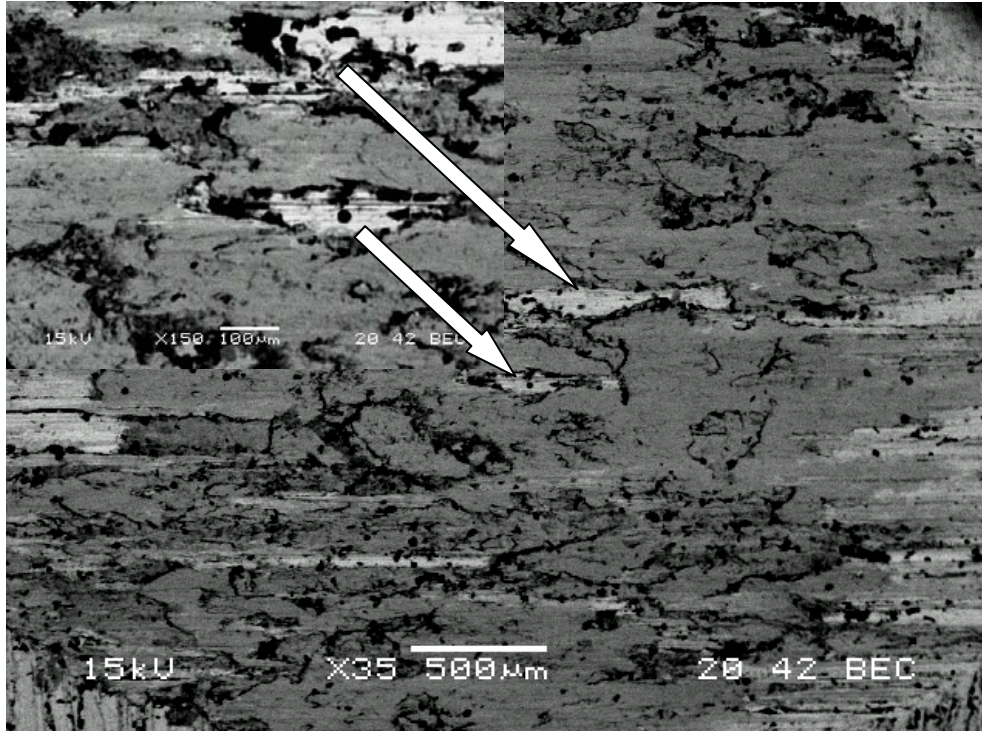
analizinden de anlaşılacağı gibi, Cr elementinin % ağırlıkça miktarından yapıda homojen bir dağılım gösterdiği düşünülmektedir. Bunu yanı sıra, yapıda bulunan Fe'in de aşındırıcı diskten kopan partiküllerden kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 5.32.ZA8-0,2 Si ilaveli alaşımın SEM-EDS çizgi analizi ve element pikleri

Tablo 5.13. ZA8-0,2 Si ilaveli alaşımın EDS bölge analizi

Element	App Conc.	Intensity Corn.	Weight%	Weight% Sigma	Atomic %
C K	7.77	0.4105	13.27	0.58	29.76
O K	37.53	1.0595	24.84	0.38	41.81
Al K	3.46	0.5969	4.06	0.10	4.05
Si K	0.20	0.6942	0.21	0.07	0.20
Fe K	7.75	0.9018	6.03	0.24	2.91
Cu L	0.64	0.5654	0.80	0.48	0.34
Zn L	45.10	0.6224	50.80	0.52	20.93
Totals			100.00		



Şekil 5.33.ZA8-0,2 Si ilaveli alaşımın SEM-BEC fotoğrafı

Şekil 5.33'de verilen %0.2 Si içeren alaşımın 42 N aşınma yüzey görüntüsünden görüldüğü gibi, yapıda sıvanma bantları ve plastik deformasyon bölgeleri beraber bulunmaktadır. Ayrıca oklarla gösterilen bölgelerde partikül birikmesinden dolayı çatlaklar göze çarpmaktadır. Bu bölgelere yapılmış olan EDS izgi analizleri, tam bu partiküllerin üzerinden alınmadığı veya düşük voltajda EDS nokta analizi yapılmadığı için bu partiküllerin ne oldukları tam olarak anlaşılamamıştır. Fakat daha önce yapılan benzer çalışmalar dikkate alındığında[2,16] bu partiküllerin saf silisyum olduğunu söylemek mümkündür. Şekil 5.32'deki çizgi analizinden anlaşıldığı üzere, 2,4. mm de Zn ve Cu'a ait pikler yükseklik gösterirken, diğer elementlerin pikleri ya tamamen 0'a inmiş ya da özellikle o bölgede düşmüştür. Bu da yapıda bulunduğu bilinen ϵ fazının o bölgede varlığını belirtmektedir.

BÖLÜM 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1. Giriş

Bu çalışmada ZA-8, ZA12, ZA27 standart alaşımlarının yanı sıra ötektik Zn-5 Al içeriğinden Zn-11 Al içeriğine kadar bakırsız ve %1 bakırlı alaşımların ayrıca ZA-8 alaşımına %0.01-0.5 oranında Mn, %0.01-0.1 oranında Cr ve %0.1-1.1 oranında Si alaşım elementi ilavelerinin pin on roller tipi aşınma, sertlik ve basma akma mukavemetine etkileri incelenmiştir.

6.2. Sonuçlar

1. Zn-Al alaşımlarında Cu ilave etmeksizin %5-11 oranında Al ilavesiyle aşınma, sertlik ve basma mukavemetinde artış gözlenmiştir. Fakat bu artış %1 bakır ilaveli alaşımlarda daha belirgin ve bakırsız alaşımlara göre çok yüksektir.
2. %0.01-0.1 oranında Cr ilavesiyle ZA8 alaşımının sertlik ve aşınma mukavemetinde artış gözlenmiş fakat basma akma mukavemetine çok etkisi olmadığı belirtilmiştir.
3. ZA-8 standart alaşımına %0.01-0.5 oranında yapılan Mn ilavesiyle aşınma, ve sertlik değerlerinde belirli bir artış bulunurken, basma akma mukavemetinde %0.1 Mn oranına kadar yükselme ve daha yüksek ilavelerde düşüş gözlenmiştir. Fakat bu düşüşler yine de ZA-8 standart alaşımın basma akma mukavemetinden yüksektir.
4. Numunelere uygulanan farklı yüklerde, en yüksek aşınma kaybı en yüksek yük olan 82 N'luk yüklemde bulunmuştur. ZA esaslı alaşımlar düşük ve orta kayma hızlarında fakat yüksek yüklem şartlarında iyi performans

göstermektedirler.

5. Aşınma mekanizmaları alaşım elementi miktarının artması ile adhesivden abrasive doğru kaymaktadır.
6. ZA-8 alaşımına Si ilavesiyle sertlikte bir artış görülmüştür. Fakat aynı artış basma akma mukavemetinde ve yüksek yüklerdeki aşınma testlerinde görülmemiştir. Bunun nedeninin de yüksek yüklerde primer Si partiküllerinin yük taşıyıcı özelliğini yitirip, yüzeyde parçalanarak malzemeye zarar vermesi ve aşınma kaybına uğratması olduğu söylenebilir.
7. Standart alaşımlar içerisinde en düşük aşınma hızına ZA-27'nin sahip olduğu görülmüştür. Bunun sebebinin de ZA-27'de bulunan yüksek oranda Zn çözen Al'ca zengin primer α 'nın olduğu söylenebilir. Ayrıca ZA-27'de bulunan %2 Cu 'da yapıda $\epsilon(\text{CuZn}_4)$ çökelti fazı oluşturarak aşınma dayanımı, sertlik ve basma akma mukavemetinin yüksek olmasında rol oynamaktadır.

6.3. Öneriler

1. SEM incelemelerinde düşük voltajda EDS nokta analizi alınarak belli bölgelerde olduğu gözlenen partikül ve intermetalikler daha iyi karakterize edilebilir.
2. Mn, Si ve Cr ilave oranları değişimi daha detaylı olarak gözlenerek artırılabilir.
3. Yatak malzemelerinin yağlı ortamda çalışacağı öngörülerek yağlı-yağsız aşınma karşılaştırılabilir.
4. Farklı yüklerde ve farklı kayma hızlarında daha detaylı incelemeler yapılabilir.
5. Aşınma yüzeyler daha detaylı araştırılarak aşındırıcı diskteki oluşan yapılar da incelenebilir.
6. Aşınma esnasında oluşan doğal yağlayıcılar ve oksitler X ışınlarıyla belirlenebilir.
7. Farklı element ilavelerinin aşınma ve diğer mekanik özellikler ile mikroyapıya etkileri ortaya koyulabilir.

KAYNAKLAR

- [1] GOODWIN, F.E., "Development of a High Creep Strength Hot-Chamber Die-Casting Zinc Alloy", Metall, Vol. 46, No. 5, pp. 458-462, (1992)
- [2] APAYDIN, İ., "Çinko-Alüminyum (ZA) Alaşımlarının Aşınması ve Yatak Malzemesi Olarak Kullanımının Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, 1996, Adapazarı.
- [3] GERVAIS, E., "ZA Alloys-A Challenge to the Metals Industry", CIM Bulletin, 80, pp. 67-72(1987)
- [4] YILMAZ, F. Alaşımlar, İTÜ Sakarya Müh. Fak. Yayını, 1985
- [5] SAVAŞKAN, T., V. Metalurji Kongresi Bildiriler Kitabı, Cilt 2, s 785, 1988.
- [6] DURMAN, M., V. Malzeme Sempozyumu.
- [7] ASTM Handbook, Vol 2, ASM International, The Materials Society, pp. 527, 540 (1992).
- [8] ARIKAN, R., V. Metalurji Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Cilt 2, 1988,
- [9] ARIKAN, R., "ZA3 ve ZA12 Zn-Al Esaslı Alaşımların Metalografisi ve Özellikleri", Gazi Üni. Müh. Fak. Dergisi, sayı 3, s 91, 1988.
- [10] KURNAZ, S. CAN, "δ Alümina (Saffil) Takviyeli ZA-12 esaslı kompozit malzemelerin infiltrasyon yöntemiyle üretimi ve özelliklerinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Şubat 1993.
- [11] YARAR, Y., "Çinko Alüminyum Esaslı ZA-8 Alaşımının Isıl İşlemi", Bitirme Ödevi, Sakarya Üniversitesi Müh. Fak. Metalurji Müh. Blm., Ocak 1991.
- [12] SAVAŞKAN, T., MURPHYS, S., "Mechanical Properties and Lubricated Wear of ZA25 Based Alloys", Wear, Vol. 116, pp. 211-224, 1987

- [13] M.T. ABOU EL-KHAÏRA, A. DAOUDA, A. ISMAÏL, "Effect of different Al contents on the microstructure, tensile and wear properties of Zn-based alloy", *Materials Letters*, vol:58, 2004, pp:1754-1760.
- [14] L'ESPERANCE, G., HONG, B.D, GAGNE, M. and BARNHUST, R., "Microstructure characterization of a new Zn-based creep-resistant alloy", *Mater. Sci. and Eng.*, Vol, A172, pp. 1-14, 1993.
- [15] SKENAZI, A.F., PELERIN, J., COUTSOURADIS, D, MAGNUS, B., MEEUS, M, "Some Recent Development in the improvement of the Mechanical Properties of Zinc Foundry Alloys", *Metall* 37, No 9, pp. 898-902, 1983.
- [16] TÜRK, A., "Çinko-Alüminyum Esaslı ZA-8 alaşımında Alaşım Elementlerinin Mekanik Özelliklere ve Mikroyapıya Etkisi", *Doktora Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Kasım 1996.*
- [17] MA, T., CHEN, Q.D., LI, S.C. and WANG, H.M., "Effect of Mn of Lubricated and Wear Properties of Zn-Al alloys", *Wear of Materials, American Soc. Of Mech. Eng., Proc. Conf.*, vol:1, pp:297-304.
- [18] TEMEL SAVASKAN, OSMAN BİCAN, "Effects of silicon content on the microstructural features and mechanical and sliding wear properties of Zn-40Al-2Cu-(0-5)Si alloys", *Materials Science and Engineering A*, vol:404 , 2005, pp:259-269
- [19] TEMEL SAVASKAN, ALEV AYDINER, "Effects of silicon content on the mechanical and tribological properties of monotectoid-based zinc-aluminium-silicon alloys", *Wear*, vol:257, 2004, pp:377-388.
- [20] A. TÜRK, M. DURMAN, E.S. KAYALI, "Effect of Copper on the Creep Behaviour of Gravity Cast Zinc-Aluminium based ZA8 Alloy", *Z. Metallkunde*, vol:51, 1998, pp:351-356.
- [21] DURMAN, M. and TURK, A., Bakır ilavesinin ZA-8 Alaşımının Mekanik ve Mikroyapısal özelliklerine Etkisi, *J. of Eng. And Enviromental Science*, Vol. 18, No 6, pp 472-479, (1994).
- [22] BARNHURST, R.J., "Zinc Alloy Bearings Design Guidelines", *Automotive Engineering*, Vol. 96, No 4, pp 56-60, April, 1988
- [23] DURMAN, M., MURPHYS, S., "Precipitation of Metastable Phase in A Hypereutectic Zinc-Aluminium Alloy containing Copper", *Acta Mater.*, vol:39, pp:2235-2242, 1991.

- [24] SAVAŞKAN, T., ÇUVALCI, H., "Çinko-Alüminyum esaslı yatak alaşımlarının tribolojik özelliklerinin incelenmesi", 4. Ulusal Tasarım ve İmalat Kongresi, ODTÜ, ANKARA, 1990

ÖZGEÇMİŞ

1978 İstanbul doğumlu olan Ali ÖZER, ilk ve ortaokulu İstanbul Pendik'te bitirmiş, 1992'de lise öğrenimine başlayarak, Tuzla Anadolu Teknik Lisesi İngilizce Bilgisayar Donanımı bölümünde tamamladıktan sonra 1997'de Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nü kazanmış ve 2001'de mezun olmuştur.

Halen yüksek lisans öğrenimini sürdürmekte olan Ali ÖZER, Sevda Hanım'la 2004 yılında hayatını birleştirmiştir.