

Ag İlavesinin ZA-12 Alaşımının Mekanik ve Tribolojik Özelliklerine Etkisi

Salih Zeki Sönmez

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Temmuz 2022

Effect of Ag addition to ZA-12 alloy mechanical and tribological properties

Salih Zeki Sönmez

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Metallurgy and Materials Engineering

July, 2022

Ag İlavlesinin ZA-12 Alaşımının Mekanik ve Tribolojik Özelliklerine Etkisi

Salih Zeki Sönmez

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Malzeme Bilimi Bilim Dalında

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: İbrahim Çelikyürek

Temmuz 2022

ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, İbrahim Çelikyürek danışmanlığında hazırlamış olduğum “Ag eklentisinin ZA-12 alaşımının mekanik ve tribolojik özelliklerine etkisi” başlıklı YÜKSEK LİSANS tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim. 07/07/2022

Salih Zeki SÖNMEZ
İmza

ÖZET

Çinko-Alüminyum alaşımları ailesi 20. yüzyıldan itibaren demir, bronz ve çelik gibi malzemelerin yerine dekoratif ve yatak malzemesi olarak kullanmaya başlanmıştır. Bunun temel sebebi aşınma direnci, korozyon direnci, düşük ergime sıcaklığı, yüksek mukavemet ve bronz alaşımlarına kıyasla daha yüksek sünekliğe sahip olmasından kaynaklıdır. 100 °C'yi geçen sıcaklıklarda mekanik ve aşınma direnci özelliklerinin bozulması nedeniyle sınırlı uygulama alanına sahiptirler.

ZA-12 alaşımının daha etkin kullanılması amacıyla ek olarak Ag elementi eklenmesi ile birlikte mekanik özellikleri ve aşınma direncinin iyileştirilmesi hedeflenmiştir. Atmosfere açık koşullarda döküm yöntemiyle alaşıma eklenen Ag elementinin ZA-12 alaşımına etkisi incelenmiştir. Ag eklenmiş alaşım ve ZA-12 alaşım numunelerinin mikroyapı, mekanik ve aşınma özelliklerini karşılaştırmak üzere optik mikroskop, SEM incelemeleri, sertlik, basma deneyleri, aşınma testleri ve EDS analizleri gerçekleştirilmiştir.

Yapılan çalışmalar sonucunda Ag eklentisinin mikroyapıda ötektik bölgeyi azalttığı tespit edilmiştir. Çözeltiye alma ısıl işlemi ile birlikte yapıya eklenen Gümüşün ötektoid bölge için yapıda alüminyum ile birlikte intermetallik bileşik oluşturmuştur. Yaşlandırma işlemi sonrası ise ZA-12 bazlı alaşımın mikroyapısındaki dentritlerin kısalması, ZA-12+4Ag alaşımında ise ötektoid bölgeler artmış ve Ag çökmüştür. Ag eklentisinin her bir alaşımın sertlik değerini arttırdığı ve ısıl işlemlerin alaşımların döküm haline kıyasla sertlik değerini düşürdüğü gözlemlenmiştir. Ag eklentisi ve çözeltiye alma ısıl işlemi ile akma mukavemeti artarken, yaşlandırma ısıl işlemi ile azaldığı tüm alaşımlar için görülmüştür. Aşınma test koşullarından olan hız parametresi arttıkça malzemelerin aşınma hacmi artmaktadır. Aşınma hacmi Ag eklentisi ile birlikte genel olarak azalmaktadır. Yük parametresi arttıkça aşınma hacmi artmaktadır. Çözeltiye alma işlemi uygulanmış ZA12+4Ag alaşımın döküm haline kıyasla aşınma direnci artarken, yaşlanması ısıl işlemi ile birlikte azalmaktadır. Isıl işlem uygulanmış ZA12+4Ag ve ZA12 alaşımları için genel olarak aşınma direnci azalmaktadır. Sürtünme katsayısı aşınma hızı ile birlikte benzer sonuçlar göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Zn-Al Alaşımları, ZAMAK-12, Mekanik Özellikler, Mikroyapı, Aşınma, Ag eklentisi

SUMMARY

The family of zinc-aluminum alloys has been used as a decorative and bearing material instead of materials such as iron, bronze and steel since the 20th century. The main reason for this is its wear resistance, corrosion resistance, low melting temperature, high strength and ductility. They have limited application area due to the deterioration of their mechanical and wear resistance properties at temperatures exceeding 100 °C.

In order to use the ZA-12 alloy more effectively, it is aimed to improve the mechanical properties and wear resistance with the addition of Ag element of the alloy. The effect of the element added to the alloy by casting method in ambient conditions on the ZA-12 alloy was investigated. Optical microscope, SEM examinations, hardness, compression tests, wear tests and EDS were performed to compare the microstructure, mechanical and wear properties of alloys.

As a result of the studies, it was determined that the eutectic region was decreased by Ag addition in the microstructure. The Ag addition was resulted in intermetallic compound formation in the structure with solution heat treatment. After the aging heat treatment, the dendrite arms in the ZA-12 based alloy was shortened, while the eutectoid regions coarsened and Silver particles was precipitated in the ZA-12+4Ag alloy. It was observed that Ag addition increased the hardness value of each alloy and heat treatments decreased the hardness value of the alloys compared to casting. It was observed that yield strength increased with Ag addition and solution heat treatment, but it decreased with aging heat treatment. As the wear speed parameter of the wear resistance increases, the wear volume of the materials increases. Wear resistance generally decreases with the addition of Ag. As the load parameter increases, the wear resistance decreases. While the wear resistance of the solution heat treated ZA12+4Ag alloy increases compared to the cast state, the aging heat treatment decreases the wear resistance of the cast state. Generally, wear resistance decreases for heat treated ZA12+4Ag and ZA12 alloys. The friction coefficient showed similar results with the wear resistance.

Keywords: Zn-Al Alloys, ZAMAK-12, Mechanical Properties, Microstructure, Wear Resistance, Ag addition

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	vi
SUMMARY	vii
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMA DİZİNİ	xv
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	16
2.1. Zamak Alaşımındaki Alaşım Elementlerinin Eklentisinin Etkisi	16
2.1.1. Alüminyum.....	16
2.1.2. Bakır	17
2.1.3. Magnezyum	18
2.2. Zamak Alaşımlarına Elementlerin Etkisi	20
2.2.1. Mangan.....	20
2.2.2. Titanyum	21
2.2.3. Lityum	22
2.2.4. Silisyum.....	23
2.2.5. Krom.....	25
2.3. Zamak Alaşımlarına Diğer Elementlerin Etkisi	26
3. MATERYAL VE YÖNTEM	29
3.1. Alaşımların Hazırlanması Ve Dökümü	29
3.2. Metalografik Çalışmalar	32
3.3. Mekanik Özellik Deneyleri	34
3.4. Aşınma Testi	36
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	37
4.1. Mikroyapı, SEM Ve EDS İncelemeleri	37
4.1.1. Optik mikroskop ve sem incelemeleri.....	37

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
4.1.2. EDS incelemeleri	40
4.2. Mekanik Özelliklerin İncelenmesi.....	42
4.2.1. Sertlik testi değerlerinin incelenmesi	42
4.2.2. Basma testi değerlerinin incelenmesi	43
4.3. Aşınma Testi Değerlerinin İncelenmesi.....	48
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	60
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	61



ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Zn-Al faz diyagramı	10
1.2. ZA-8 SEM mikroyapı fotoğrafı.....	11
1.3. Ötektoid üstü zamak alaşımları için artan sıcaklık değerlerine bağlı olarak darbe dayanımı grafiği	14
1.4. ZA-27 alaşımı döküm türüne göre kırılma tokluk değerleri.....	15
1.5. Zamak alaşımlarında sıcaklığa bağlı olarak uzama miktarının değişimi.....	15
2.1. Cu-Zn ikili faz diyagramı	17
2.2. Mg-Zn ikili faz diyagramı	19
2.3. Zn-Mn ikili faz diyagramı	20
2.4. Zn-Ti ikili faz diyagramı	22
2.5. Li-Zn ikili faz diyagramı	23
2.6. Si-Zn ikili faz diyagramı.....	24
2.7. Cr-Zn ikili faz diyagramı.....	26
3.1. İndüksiyon ocağı ve indüksiyon ocağı elektrik panosu.....	29
3.2. Döküm için kullanılan grafit kalıp ve pota.....	30
3.3. Kesme cihazı.....	30
3.4. Zn-Al faz diyagramında çözeltiye alma ve yaşlandırma sıcaklıklarının gösterimi.....	31
3.5. Kamara fırın.....	32
3.6. Bakalite alma cihazı	33
3.7. Zımparalama ve parlatma cihazı	33
3.8. Hitachi regulus 8320 SEM ve EDS cihazı.....	34
3.9. Vickers sertlik ölçme cihazı	35
3.10. Shimadzu AG-IS basmatest cihazı	35
3.11. Aşınma testi cihazı	36
4.1. a) ZA-12 alaşımı 100X döküm hali optik mikroskop görüntüsü b) ZA-12+4Ag alaşımı 100X döküm hali optik mikroskop görüntüsü.....	37
4.2. a) ZA-12 alaşımı 500X döküm hali SEM görüntüsü b) ZA-12+4Ag alaşımı 500X döküm hali SEM görüntüsü.....	38

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.3. a) ZA-12 100X çözeltiye alma işlemi görmüş hali optik mikroskop görüntüsü b) ZA-12+4Ag 100X çözeltiye alma işlemi görmüş hali optik mikroskop görüntüsü.....	38
4.4. Ag-Al faz diyagramı	39
4.5. a) ZA-12 alaşımı 100X yaşlandırma uygulanmış hali optik mikroskop görüntüsü b) ZA-12+4Ag alaşımı 100X yaşlandırma uygulanmış hali optik mikroskop görüntüsü.....	39
4.6. a) ZA-12 alaşımı 1500X yaşlandırılmış hali SEM görüntüsü b) ZA-12+4Ag alaşımı 1500X yaşlandırılmış hali SEM görüntüsü.....	40
4.7. ZA-12 Döküm EDS grafiği ve görüntü alındığı noktanın SEM resmi üzerinde gösterimi	40
4.8. ZA-12+4Ag Döküm EDS grafiği ve görüntü alındığı noktanın SEM resmi üzerinde gösterimi	41
4.9. ZA-12 Yaşlandırılmış hali EDS grafiği ve görüntü alındığı noktanın SEM resmi üzerinde gösterimi	41
4.10. ZA-12+4Ag Yaşlandırılmış hali EDS grafiği ve görüntü alındığı noktanın SEM resmi üzerinde gösterimi	42
4.11. Sertlik değerleri.....	43
4.12. ZA-12 Döküm alaşımı gerilme – birim şekil değiştirme grafiği	45
4.13. ZA-12+4Ag Döküm alaşımı gerilme – birim şekil değiştirme grafiği.....	45
4.14. ZA-12 Çözeltiye alma alaşımı gerilme – birim şekil değiştirme grafiği	46
4.15. ZA-12+4Ag Çözeltiye alma alaşımı gerilme – birim şekil değiştirme grafiği.....	46
4.16. ZA-12 Yaşlandırma alaşımı gerilme – birim şekil değiştirme grafiği.....	47
4.17. ZA-12+4Ag Yaşlandırma alaşımı gerilme – birim şekil değiştirme grafiği.....	47
4.18. ZA-12 Alaşımı 5 cm/sn hız ve 1N yük altında aşınma grafiği	48
4.19. ZA-12+4Ag Alaşımı 5 cm/sn hız ve 1N yük altında aşınma grafiği.....	49
4.20. ZA-12 Alaşımı 10 cm/sn hız ve 1N yük altında aşınma grafiği	50
4.21. ZA-12+4Ag Alaşımı 10 cm/sn hız ve 1N yük altında aşınma grafiği.....	51
4.22. ZA-12 Alaşımı 5 cm/sn hız ve 2N yük altında aşınma grafiği	51
4.23. ZA-12+4Ag Alaşımı 5 cm/sn hız ve 2N yük altında aşınma grafiği	52
4.24. ZA-12 Alaşımı 10 cm/sn hız ve 2N yük altında aşınma grafiği	53

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)**Sekil****Sayfa**

4.25. ZA-12+4Ag Alaşımı 10 cm/sn hız ve 2N yük altında aşınma grafiği	53
4.26. a) ZA-12 alaşımı döküm hali aşınma yapılmış numunenin optik mikroskop görüntüsü b) ZA-12 alaşımı döküm hali aşınma yapılmış numunenin SEM görüntüsü	58
4.27. a) ZA-12+4Ag alaşımı döküm hali aşınma yapılmış numunenin optik mikroskop görüntüsü b) ZA-12+4Ag alaşımı döküm hali aşınma yapılmış numunenin SEM görüntüsü	58
4.28. a) ZA-12 alaşımı yaşlandırma ısıl işlemi görmüş hali aşınma yapılmış numunenin optik mikroskop görüntüsü b) ZA-12 alaşımı yaşlandırma ısıl işlemi görmüş hali aşınma yapılmış numunenin SEM görüntüsü	59
4.29. a) ZA-12+4Ag alaşımı yaşlandırma ısıl işlemi görmüş hali aşınma yapılmış numunenin optik mikroskop görüntüsü b) ZA-12+4Ag alaşımı yaşlandırma ısıl işlemi görmüş hali aşınma yapılmış numunenin SEM görüntüsü	59

ÇİZELGELER DİZİNİ

Cizelge

Sayfa

1.1. Zn-Al esaslı alaşımlarının ASTM B 86-09a standartına göre % ağırlıkça kimyasal bileşimleri.....	10
1.2. Çinko-Alüminyum faz diyagramı dönüşümleri.....	11
1.3. Zamak alaşımlarının fiziksel özellikleri	12
1.4. Zamak alaşımlarının mekanik özellikleri	14
3.1. Hazırlanan numune adetleri.....	32
3.2. ZA-12 Aşınma testi koşulları ve adetleri.....	36
3.3. ZA-12+4Ag Aşınma testi koşulları ve adetleri.....	36
4.1. ZA-12 Döküm hali EDS analizi	40
4.2. ZA-12+4Ag Döküm hali EDS analizi	41
4.3. ZA-12 Yaşlandırılmış hali EDS analizi.....	41
4.4. ZA-12+4Ag Yaşlandırılmış hali EDS analizi.....	42
4.5. Sertlik değerleri	43
4.6. Basma test sonuçları	44
4.7. 2000 metredeki aşınma hacmi miktarları	54
4.8. 2000 metredeki aşınma hızı.....	55
4.9. Alaşımların ortalama sürtünme katsayıları.....	57

SİMGELER VE KISALTMA DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Acıklama</u>
°C	Derece santigrat
β	Beta
η	Eta
α	Alfa
μm	Mikrometre
%	Yüzde

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Acıklama</u>
ZA	Zamak alaşımı
Al	Alüminyum
Mg	Magnezyum
Zn	Çinko
Ti	Titanyum
Mn	Mangan
Ag	Gümüş
B	Bor
Si	Silisyum
Pb	Kurşun
In	İndiyum
Sn	Kalay
Co	Kobalt

SİMGELER VE KISALTMA DİZİNİ (devam)

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
Mo	Molibden
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
AFM	Atomik Kuvvet Mikroskobu
ASTM	Amerikan Test ve Materyalleri Topluluğu
Fe	Demir
Cd	Kadmiyum
EDS	Enerji Dağılımlı X-ışını Spektroskopisi
XRD	X-ışını Kırınım Yöntemi
Li	Lityum
Ti-B	Titanyum diborür
Sr	Stronsiyum
mm	Milimetre
mm ²	Milimetre kare
N	Newton
kN	Kilonewton
cm/sn	Santimetre / saniye
Wt	Ağırlıkça
HV	Vickers sertlik birimi

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Endüstrileşme ve teknolojinin gelişmesi ile birlikte pazar ihtiyaçları ve rekabet oluşturmaktadır. Buna dair çevre ile dost, düşük maliyetli ve kalite oranı iyi üretim yapmak temel hedef olmaktadır. Sektörde yeni malzeme türlerinin bulunması ve mevcut malzemelerin geliştirilmesi sektörde ihtiyaçların doğmasından kaynaklıdır (Polat, 2017).

20. yüzyılın başlarından itibaren Çinko-Alüminyum alaşımları demir, bronz ve çelik gibi malzemelerin yerine dekoratif ürünler ve yatak malzemesi olarak kullanmaya başlanmıştır. Bunun temel sebebi iyi aşınma, korozyon direnci, düşük ergime sıcaklığı, yüksek mukavemet ve sünekliğe sahip olmasındandır. Bu sayede maliyet azaltma ve kalite arttırımına olanak vermiştir (Polat, 2017).

Çinko alaşımları temel olarak işlenebilir alaşımlar ve döküm alaşımları olmak üzere iki başlıkta incelenmektedir. İşlenebilir alaşımlar çinkonun bakır, kurşun ve kadmiyum ile oluşturduğu alaşımlardır. 1929 yılında bulunan alaşım %95 oranında %99.995'lik çinko metaline %4'lük alüminyum ve farklı miktarlarda bakır metalinin eklenmesi sonucu bulunmuştur. İsmi Almanca alaşımı oluşturan: Zink (çinko), Aluminium (Alüminyum), Magnesium (Magnezyum) ve Kupfer (Bakır) metallerin baş harflerinden almaktadır (Polat, 2017). Çinko döküm alaşımlarının başlıcalarından olan Zamak alaşımının diğer adları ALZEN ve ZA olarak adlandırılmaktadır. Zamak alaşımlarının kimyasal bileşimine bağlı olarak üretilecek malzemelerin fiziksel, mekanik vb. özellikleri değişmektedir. Yaygın olarak kullanılan ZA alaşım türleri: ZA-2, ZA-3, ZA-5, ZA-8, ZA-12 ve ZA-27'dir. ZAMAK 12 yapısında %10,5-11,5 Al, %0,5-1,25 Cu, %0,015-0,03 Mg ve geri kalanı çinko elementi içermektedir. Literatürde Zn-Al alaşımlarının Titanyum (Ti), Mangan (Mn), Gümüş (Ag), Bor (B), Silisyum (Si) ile alaşımlandırılmasına ek olarak alaşımın elementlerinin miktarlarının değiştirilmesiyle alakalı çalışmalar yapılmıştır (Uğur, 1998). ZA-12 özelinde mekanik özelliklerinin ve mesafe ile aşınma oranı özelliklerinin birlikte incelendiği bir çalışma gözlemlenmemiştir.

ZA-8, ZA-12 ve ZA-27 gibi ticari çinko bazlı alaşımlar, özellikle son birkaç yıldır çeşitli mühendislik uygulamalarında vazgeçilmez malzemelerden olan ağırlıkça %8–27 alüminyum, ağırlıkça %1–3 bakır ve ağırlıkça %0,2'ye kadar magnezyum içermektedir. Bakır alaşımları ve bazı alüminyum alaşımları gibi demir dışı alaşımlara kıyasla iyi dökülebilirlikleri, mekanik ve tribolojik özellikleri nedeniyle kullanılmaktadır. Dökme demirler ve çeliklere kıyasla aşınma direnci ve mekanik özellikleri düşüktür. ZA-12 alaşımının endüstrideki üretim süreçlerinin iyileştirilmesi ve kullanım ömrünün arttırılmasına dair bu çalışmanın yapılmasına karar verilmiştir. Yapılan literatür taramasının ardından ZA-12 alaşımının daha etkin kullanılması amacıyla ek olarak alaşımın elementi eklenmesi ile birlikte mekanik özellikleri ve aşınma direncinin iyileştirilmesi hedeflenmiştir. ZA-12 diğer Zamak alaşımları gibi düşük ergime sıcaklığına sahiptir. Atmosfere açık koşullarda döküm yöntemiyle alaşıma ilave alaşım elementinin eklenmesi ve numunelerine gerçekleştirilen ısıtma işleminin mikroyapıya, sertliğe, mekanik ve aşınma özelliklerine etkisi incelenmiştir.

Triboloji yunanca "tribos" kelimesinden gelen ve çevirisi sürtünme bilimi olarak adlandırılmaktadır. İngilizceki karşılığı; sürtünme, aşınma ve yağlama bilimidir. Birbiri ile temas halinde hareket eden yüzeyler arasındaki etkileşimi inceleyen bilim dalıdır. Triboloji biliminin başlangıcı yontma taş devrinde delik açmak için matkapların yapılması, kemikten yapılan yataklarda ateşle üretilmesi ve tahılların öğütülmesi için taşların kullanılmasıyla başlamıştır.

Tribolojinin amacı, yüzey sürtünmelerinin olduğu uygulamaların bütün kademelerinde sürtünme ve aşınmadan kaynaklanan kayıpları minimize etmek ve giderilmesinin analiz edilmesidir. Bu alanda yapılan araştırmalar sayesinde daha fazla verimlilik, daha iyi performans, daha az hasar ve büyük miktarda tasarruf edilmiştir.

İki katı yüzey temas ettirildiğinde yüzeyler arasında adhezyon veya bağlanma oluşabilir buna adhesif kuvvet denir ve iki katı parçayı ayırmak için belirli bir normal kuvvet gerekir. Kohezyon bir malzeme içindeki atomik bağlanma kuvvetleridir. Yani kohezyon bir malzeme içindeki bir atomun diğer atoma ya da bir molekülün diğer moleküllere bağlanma kuvvetidir. Buna karşın iki farklı malzeme bir ara yüzeyde katı halde temas ettirildiğinde yüzeylerin birbirine bağlanmasına adhesif bağlanma denir. Adhezyon sürtünme ve

aşınmanın temel nedenidir. Uygulamaya bağlı olarak adhezyon istenebilir yada istenmeyebilmektedir.

Sürtünme, kayma ve yuvarlanma esnasında harekete karşı gösterilen dirence denir. Bir katı cismin temas halinde başka bir katı ile yüzeysel hareketi sonucunda sürtünme oluşmaktadır. Sıvı ve kuru sürtünme olmak üzere 2 tür sürtünme mevcuttur. Kuru sürtünme Coloumb sürtünmesi olarakta adlandırılmaktadır. İki kuru yüzey hareket ettiğinde oluşan temas kuvvetlerinin teğetsel bileşenlerine kuru sürtünme denir. Sıvı sürtünme birbirine göre farklı hızlarda hareket eden bir sıvı içerisinde temas eden tabakalar arasında oluşan temas kuvvetlerinin teğetsel bileşenlerine denir. Sürtünme bir malzeme özelliği değildir. Kimyasal fiimlerden ve adsorbantlardan arındırılmış katı temiz iki yüzeyde yüksek sürtünme oluşmaktadır. İyi yağlanmış yüzeylerde ise zayıf adhezyon ve sürtünme oluşmaktadır. Fakat iki yüzey arasında çok az miktar sıvının bulunması sıvı ortamlı adhezyon oluştururken yüksek sürtünmeye neden olur. Sürtünme kuvvetinin uygulanması istenen veya istenmeyen uygulamalar mevcuttur. Araç frenleri vb. uygulamalarda genellikle sürtünme kuvvetleri üst düzeyde istenirken, yatak ve contalar gibi birbirine sürtünen parçalarda sürtünme istenmemektedir. Sürtünme enerji kaybına ve temas haline hareket eden yüzeylerde aşınmaya neden olur. Bu durumlarda sürtünme en az seviyeye indirilmeye çalışılmaktadır.

Sürtünmenin iki temel nedeni mevcuttur. Bunlar adhezyon ve deformasyon mekanizmalarıdır. İki yüzey yük altında birleştirildiğinde temas pürüzlerin ucunda meydana gelir, yüke dayanan temas eden pürüzlerin deformasyonu ile sağlanır ve birleşen temas noktaları ile adhezyon mekanizması meydana gelir. Pürüzlerin yakınlığı ya fiziksel ya da kimyasal etkileşimlerin neden olduğu adhesif temaslarla sonuçlanır. Ara yüzeyin adhezyon mukavemeti temas eden cisimlerin mekanik özellikleri cisimlerin fiziksel ve kimyasal etkileşimine bağlıdır. Adhezyon mukavemeti ara yüzeydeki yüzey etkileşimlerinin düşürülmesiyle azalır.

İki yüzeyin birbiri üzerinde kayması sırasında iki tür etkileşim oluşur. Birincisi, plastik deformasyon ve birbirine kenetlenen yüzey pürüzlerinin hareketini gerektiren etkileşimdir. İkincisi, daha sert malzemenin pürüzlerinin yumuşak malzemeye plastik deformasyon sonucunda oyuk açması ya da kırılma, çizme ve parçalar koparma gibi sonuçlanan makroskobik etkileşimlerdir.

Her bir malzemenin sürtünme katsayısı ara yüzey veya malzeme çifti, yüzey hazırlama ve çalışma şartlarına bağlı olarak değişmektedir.

Yüzeyi temiz metal ve alaşım yüzeyleri temas halindeyken yüksek adhezyon sebebiyle yüksek sürtünme ve aşınma gösterirler. İyi temizlenmiş yüzeylere sahip temas halindeki metalik malzemelerin sürtünme katsayısı yüksek olabilir. Ara yüzeyde kuvvetli metalik bağlar ve metalin birinden diğerine ciddi malzeme transferi oluşur veya kayma boyunca aşınma tozları gibi kayıp oluşur. Önemsiz sayılan kalıntılar teması azaltır veya adhezyonu azaltan kimyasal film oluşturur, nihai olarak sürtünme azalmasına neden olur.

Birçok metal hava ile temas sonucu oksitlenir ve kısa süre içinde tipik olarak oksit filmi oluşur. Oksit filmi düşük kesme mukavemeti film olarak rol oynar ve düşük süneklikten dolayı düşük sürtünme meydana gelir. Oksit filmi iki metalik yüzeyi etkili şekilde ayırabilir. Fakat kayma boyunca ince oksit filmi kırılabilir. Diğer seçenek olarak film büyük yükler sonucunda kırılır ve yüksek değerlerde sürtünmeye geçiş oluşur. Metal ve alaşımların sürtünme katsayısı yüzey temizliğine ek olarak kayma hızı, temas basıncı, sıcaklık, ortamdaki gazlar ve nemden gibi koşullardan etkilenir.

Sürtünme kuvvetinin uygulanan normal kuvvete oranından sürtünme katsayısı hesaplanır. Malzeme çiftlerinin sabit elemanı esnek bir eleman üzerinde bindirilmiştir ve sürtünme kuvveti yük ölçerler veya yerdeğiştirme ölçerleri kullanılarak ölçülür.

Çarpma hareket, yuvarlanma ve birbiri ile kayma hareketi yapan iki yüzeyden birinde veya her ikisinde de yüzey hasar oluşması veya yüzeyden malzemenin ayrılmasına aşınma denir. Bir çok uygulamada pürüzlerdeki yüzey etkileşimi nedeniyle aşınma meydana gelir. Aşınma bir malzeme özelliği olmayıp bir sistem karşılığıdır. Sürtünme koşulları ara yüzey aşınmasını etkilemektedir. Aşınma bazı uygulamalarda tercih edilirken bazı uygulamalarda tercih edilmemektedir. Aşınma tercih edilen uygulamalar için talaşlı imalat ve parlatma örnek verilebilir. Aşınma tercih edilmeyen uygulamalar için yataklama, contalar ve dişliler örnek verilebilir.

Aşınma mekanik ve/veya kimyasal anlamda oluşur ve genellikle sürtünme ısınmasıyla sonucunda artmaktadır. 6 farklı şekilde aşınma gerçekleşmektedir. Bunlar:

adhesif, abrasif, yorulma, erozyon, kimyasal ve elektriksel ark aşınmadır. Endüstriyel uygulamalarda bütün aşınma şekillerinin yaklaşık üçte ikisi katı adhesif ve abrasif aşınma mekanizmaları sonucunda oluşur. Yorulma mekanizması haricinde diğer bütün aşınma mekanizmalarında malzeme kaybı meydana gelmektedir.

Adhesif aşınma iki normal düzgün katı cismin kayma temasında oluşur. Ara yüzeydeki pürüzlerin teması sonucu adhezyon meydana gelir ve kayma ile sona erer. Bir yüzeyden kopan parçalar diğer yüzeye yapışabilir. Kaymanın devamıyla birlikte diğer yüzeye transfer olan parçalar tekrar ilk yüzeye transfer olabilir veya serbest aşınma partikülleri oluşturabilir. Bazıları serbest partiküllerin oluşmasına sebep olan tekrarlı yükleme ve boşaltma hareketleri sırasında yorulmanın etkisiyle kırılmaktadır

Abrasif aşınma, sert bir yüzeyin pürüzleri veya sert partiküllerin yumuşak bir yüzey üzerinde kaymasıyla oluşur ve ara yüzeyi plastik deformasyon veya kırılma ile hasar meydana getirmektedir. Yüksek kırılma tokluğu olan sünek malzemelerde, sert pürüzler veya sert partiküller yumuşak malzemede plastik deformasyona sebep olur. Birçok metalik ve seramik yüzey kayma esnasında plastik akma gösterir. Metallerin temas eden pürüzlerinde belirli bir miktar plastik deformasyon görülmektedir. Düşük kırılma tokluklu kırılğan malzemelerde ise aşınma gevrek kırılma ile sonuçlanır.

Aşınma işlemi aşınma hızıyla ölçülmektedir. Aşınma hızı birim zamanda birim kayma mesafesindeki ağırlık kaybı ve hacimdir. Aşınma hızı, karşı malzemeye, yüzey hazırlamaya ve çalışma şartlarına bağlıdır. Aşınma hızı birimsiz olup aşınma katsayısı (k) terimi ile gösterilir. Uygulanan birim yük ve birim kayma mesafesi başına aşınma hacmi ile belirlenerek alınma hızı olarak ifade edilir (mm^3/Nm).

Metal ve alaşımlar bir katı teması halinde yüksek adhezyon, dolayısıyla yüksek sürtünme ve aşınma gösterirler. Vakum altında aşınma hızı çok yüksek olabilir.

Çok az miktarda kalıntıların bulunması veya kimyasal filmlerin oluşması adhezyonu aşınmayı azaltır. Yumuşak metaller örneğin Pb, In ve Sn gibi metallerde temas alanı geniştir bundan dolayı düşük yüklerde bile yüksek aşınma göstermektedir. Co ve Mg gibi hekzagonal metaller düşük aşınma sergilemektedir (Arıcı vd., 2021). Co, Cr ve Mo gibi elementler

çeliklere aşınmayı azaltmak için ilave edilir. Çelikler yapısal ve tribolojik uygulamalarda en çok kullanan malzeme grubudur.

Aşınma ölçüm teknikleri ağırlık kaybı, hacim kaybı veya aşınma genişliği veya derinliği ölçümlerdir ve bir kaplamayı aşındırmak için gerekli süre veya şiddetli bir aşınmaya sebep olacak veya yüzeyde bir değişikliğe sebep olacak yük miktarı gibi ölçümlerdir. Hasarlı yüzeylerin mikroskobik aşınma ölçümünde taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve atomik kuvvet mikroskobu (AFM) kullanılmaktadır.

Büyük miktarda aşınmalar için ağırlık kaybı ölçümleri yapılır. Ağırlık kaybı ölçümlerindeki iki büyük sınırlama mevcuttur. Birincisi aşınan malzemenin hacmine bağlı bu yüzden karşılaştırılan malzemelerin yoğunluğu farklı ise farklı sonuçlar doğabilir. İkincisi malzemenin yer değiştirmesi için ölçü olmayıp, numune transferi gerçekleşirse ağırlık kazanılabilir. Bu yüzden ağırlık kaybı ölçümleri sadece yoğunluk stabil olduğunda ve aşınma işleminde partikül transferi oluşmadığında geçerlidir.

Sürtünme aşınması için uygulanan test türleri aşağıda belirtilmiştir.

- Disk üzerinde çubuk
- Düzlem üzerinde çubuk
- Silindir üzerinde çubuk
- Sürtünen rondelalar
- Burç içinde çubuk
- Dönen silindir üzerinde dikdörtgen düzlemler
- Çapraz silindirler
- Dört bilye testleri

Tribolojik uygulamalar için malzeme gelişiminde en çok tercih edilen yöntem disk üzerinde çubuktur. Disk üzerinde çubuk yönteminde: disk üstünde çubuk aparatında çubuk sabittir ve disk döner. Çubuk, dönmeyen bir bilye, yarım küre uçlu bir ilave, düz uçlu bir silindir veya hatta dikdörtgenel bir paralel boru kullanılabilir.

20. yüzyılın başlarından günümüze kadar Çinko-Alüminyum alaşımları başta otomotiv endüstrisi olmak üzere, yatak malzemelerinde, mobilya parçalarında, musluklarda, kapı kulplarında, oyuncaklarda, kaplamalarda ve giyim endüstrisinde kullanılmaktadır. Günümüzde en yaygın olarak kullanılan Çinko-Alüminyum alaşımı olan Zamak: 1929 yılında New Jersey Cooperation tarafından bulunan alaşım %95 oranında %99.995'lik Çinko metaline %4'lük Alüminyum ve farklı miktarlarda Bakır metalinin eklenmesi sonucu bulunmuştur. Zamak'ın diğer Çinko-Alüminyum alaşımlarından farkı ise min. %4 Al içermesidir. Zamak diğer metallere göre seri üretime uygunluğu, yüksek korozyon direnci, yüksek aşınma mukavemeti, düşük döküm sıcaklıklarında sergilediği yüksek metalik akışkanlığı, özgül mukavemetlerinin yüksek olması, sağladığı uzun kalıp ömrü ve nihai ürün eldesinde gösterdiği üstün şekil alabilme özelliklerine sahiptir. Yüksek sıcaklıklarda düşük darbe, çekme ve sürünme mukavemeti gibi dezavantajlara sahiptir. Bu alaşımlar, bakır ve alüminyum esaslı alaşımlara kıyasla, özellikle düşük döküm sıcaklığına sahip yüksek mukavemetli avantajlar sunar (Rohatgi, 1980). Zamak alaşımlarının dezavantajı, yüksek sıcaklıklardaki kararsızlığı ve yorulma direncinin düşük olmasıdır. Zn esaslı alaşımlar tribolojik uygulamalarda kullanılan bronzlara alternatif bir malzeme olarak tercih edilmektedir. Zn esaslı yatak uygulamaları, ağır yük ve orta sürtünme hızı koşullarında bronzlara göre daha iyi aşınma, kırılma direncine ve daha düşük sürtünme katsayısına sahip olduğu bildirilmektedir (Prasad vd., 1996).

Çinko-Alüminyum döküm alaşımları, ötektik altı ve ötektik üstü olarak ikiye ayrılmaktadır. Ötektik altı alaşımlar %4'e yakın alüminyum ve %0,25-1,25 bakır içeriğine sahiptir. Bu alaşım grubuna örnek olan alaşımlar ZA-2, ZA-3 ve ZA-5'tir. Ötektik üstü alaşımlar %5-28 alüminyum ve %2 bakır içeriğine sahiptir. Bu alaşım grubuna örnek olan alaşımlar ZA-8, ZA-12 ve ZA-27'dir. Ötektik üstü alaşımlar kum kalıba döküm, basınçlı döküm ve sürekli döküm yöntemleri ile birlikte üretilebilmektedir (Vander voort vd., 2004). ZA-12 ve ZA-27 dökümü için soğuk kamara makineleri kullanılmasına rağmen, diğer alaşımların dökümü için sıcak kamara makineleri kullanılmaktadır. Bu farkın oluşmasının temel sebebi alaşımların içerdiği Alüminyum miktarıdır (Vander voort vd., 2004).

Tüm Çinko döküm alaşımları Zamak dahil olmak üzere delme, frezeleme, tormalama, testere ile kesme, raybalama ve frezeleme gibi işlemlere olanak sağlar. Bu işlemler sırasında

alaşımlar düşük kesme kuvvetleri, iyi yüzey kalitesi, düşük takım aşınması ve küçük talaş oluşumu sağlamaktadır (Vander voort vd., 2004).

ZA alaşımları genel olarak: Kranklarda, ızgaralarda, radyatörlerde, otomobiller, genel donanım, tarım ekipmanları, elektronik ve elektrikli armatürler, ev ve bahçe aletleri, bilgisayar donanımı, iş makineleri, kayıt makineleri, radyolar ve el aletlerinde kullanılmaktadır. ZA-2, ZA-3 ve ZA-5 alaşımları daha sert ve mukavemete sahiptir. Manyetik özelliklerinin düşük olması sebebiyle elektronik endüstrisinde kullanılmaktadır. ZA-8, ZA-12, ZA-27 elektrik aksamalarının üretiminde kullanılmaktadır. Darbe esnasında kıvılcım çıkarmadıklarından dolayı yanıcı ve patlayıcı gaz tanklarında kullanılmaktadır.

ZA-2 alaşımı: %3,7-4,3 Al, %2,7-3,3 Cu, %0,02-0,06 Mg ve geri kalanı Çinko elementidir (Vander voort vd., 2004). ZA-3 alaşımından farkı, bileşiminde %3 Bakır içermesidir. Bakır içermesi sayesinde hem mukavemet hem de aşınma özelliği ZA-3'e göre daha iyidir. Yüksek sıcaklıkta uzun süreli yüksek performans gösteremez ve içerdiği Bakır oranı nedeniyle boyutsal genişleme hızı düşüktür (0,0355 mm/20 yıl) (Vander voort vd., 2004). Ayrıca bu alaşım kirksite olarak adlandırılmaktadır (Vander voort vd., 2004). Küçük boyutlu hacimlerde tercih edilmesinin sebepleri yüksek aşınma direnci, yüksek çekme mukavemeti ve sertlik sunmasıdır.

ZA-3 alaşımı: %3,7-4,3 Al, < %0,05 Cu, %0,02-0,06 Mg ve geri kalanı Çinko elementidir (Vander voort vd., 2004). Fiziksel ve mekanik özellikleri, yüksek dökülebilir özelliği ve uzun dönem sergilediği boyutsal kararlılığı nedeniyle Çinko dökümünde ilk tercih edilen alaşım türüdür. Boyama işlemi için uygundur.

ZA-5 alaşımı: %3,7-4,3 Al, %0,7-1,25 Cu, %0,02-0,06 Mg ve geri kalanı Çinko elementidir (Vander voort vd., 2004). ZA-3 alaşımından farkı yapısında %1 Bakır içermesidir. Daha az Bakır içermesi nedeniyle mukavemet değeri ZA-3'e göre yaklaşık %10 düşük ve daha sert bir yapıdadır. Bu özelliklere ek olarak alaşım düşük süneklik gibi dezavantaja sahiptir. Çekme mukavemetinin önemli olduğu alanlarda kullanılacak parçalar için tercih edilmektedir. Genellikle karmaşık şekile sahip ve yüzey hazırlamanın zor olduğu parçalar için boyama, kaplama, kromatlama gibi işlemlerde kullanılır. Özellikle otomotiv parçaları ve aksesuarlarda kullanılmaktadır.

ZA-8 alaşımı:%8-8,8 Al, %0,8-1,3 Cu, %0,015-0,03 Mg ve geri kalanı çinko elementidir (Gervais vd., 1985). Kalıcı kaplama alaşımı olarak geliştirilmiştir. Dekoratif uygulamalar için idealdır. Diğer Zamak alaşımlarına kıyasla iyi döküm özelliklerine sahip olmamasına rağmen, önemli bir seviyede mukavemet, sertlik ve sürünme özellikleri sunar. Çinko alaşımları arasında en yüksek sürünme mukavemetine ve oda sıcaklığında en yüksek mukavemete sahiptir. Dekoratif parçaların üretiminde ve mükemmel işlenebilirlik sunmaktadır.

ZA-12 alaşımı:%10,5-11,5 Al, %0,5-1,25 Cu, %0,015-0,03 Mg ve geri kalanı çinko elementidir (Gervais vd., 1985). Mukavemeti, sertlik ve yüksek boyutsal stabilitesi ile bilinen alaşım türüdür. Soğuk kamara döküm makineleri ile üretim için uygundur. Aşınma mukavemeti yüksek olduğu için dişli ark ve yatak malzemelerinde kullanılmaktadır. Dökme demir, bronz ve alüminyum imalatları için alternatif olarak kullanılan bir alaşımdır. Kolayca kromotlama ve kaplama yapılabilir.

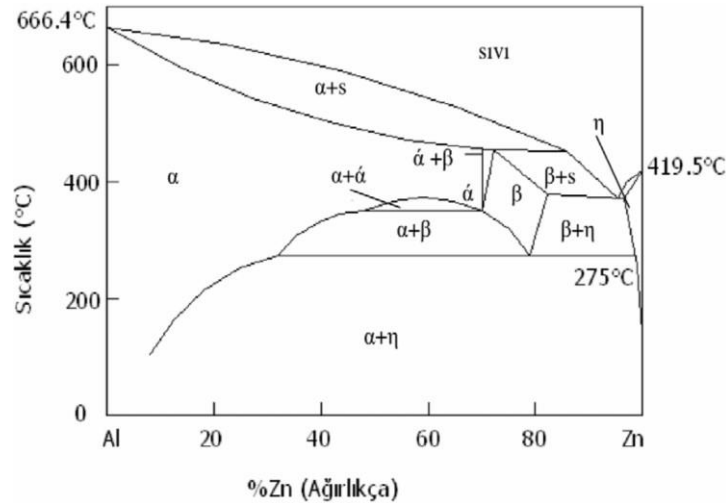
ZA-27 alaşımı:%25-28 Al, %2-2,5 Cu, %0,0-0,02 Mg ve geri kalanı çinko elementidir (Gervais vd., 1985). Yüksek dayanım isteyen güç aktarım mekanizmalarında kullanılan dişli çarklarda kullanılır. Yüksek mukavemete ve süneklığe sahiptir. Geniş katılaşma aralığına sahip olduğundan dolayı döküm esnasında yönlü katılaşmanın üretimindeki önemini vurgular.

Çizelge 1.1'de ZA-12 ile diğer Zn-Al alaşımlarının kimyasal bileşimleri verilmiştir.

Çizelge 1.1. Zn-Al esaslı alaşımlarının ASTM B 86-09a standartına göre % ağırlıkça kimyasal bileşimleri

Alaşım adı	Al (%)	Cu (%)	Mg (%)	Fe (%) (maks.)	Pb (%) (maks.)	Cd (%) (maks.)	Sn (%) (maks.)	Zn (%)
ZA-2	3,5 – 4,3	2,6 – 3,0	0,025 – 0,05	0,1	0,003	0,004	0,003	Kalan
ZA-3	3,5 – 4,3	0,25 maks.	0,02 – 0,05	0,1	0,005	0,004	0,003	Kalan
ZA-5	3,5 – 4,3	0,75-1,25	0,03 – 0,08	0,1	0,005	0,004	0,003	Kalan
ZA-8	8,0 – 8,8	0,8 – 1,3	0,015 – 0,03	0,075	0,006	0,006	0,003	Kalan
ZA-12	10,5 – 11,5	0,5 – 1,2	0,015 – 0,03	0,075	0,006	0,006	0,003	Kalan
ZA-27	25 – 28	2,0 – 2,5	0,01 – 0,02	0,075	0,006	0,006	0,003	Kalan

Çinkonun Alüminyum içerisinde çözünürlüğü diğer elementlere kıyasla en yüksektir. Bunun temel sebebi Al ve Zn atomları arasındaki etkileşim zayıf olduğundan dolayı intermetallik faz oluşturmamasıdır. Faz diyagramı bir çok bilimadamı tarafından çalışılmış son hali Goldak ve Parr'ın çalışması sayesinde Şekil 1.1'deki haline evrilmiştir.



Şekil 1.1. Zn-Al faz diyagramı (Goldak ve Parr, 1964)

Artan Al miktarına bağlı olarak alaşımın ergime noktası değişmektedir. 275 °C'de ve %78 Zn değerinde ötektoid dönüşüm, 382 °C'de ve %94,9 Zn değerinde ötektik dönüşüm

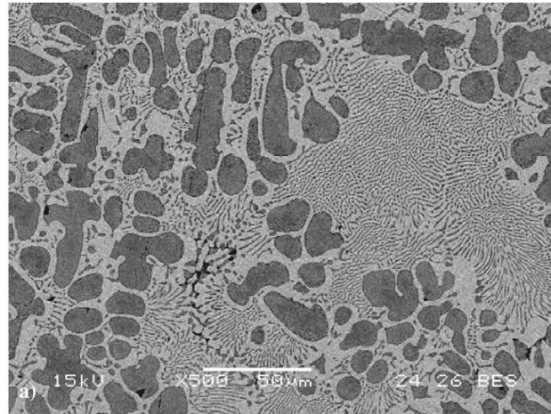
ve 443°C’de ve %70 Zn değerinde peritetik dönüşüm gerçekleşmektedir. Çizelge 1.2’de dönüşümler gösterilmiştir.

Çizelge 1.2. Çinko-Alüminyum faz diyagramı dönüşümleri (Türk vd., 2007 a)

Faz Dönüşümü	Sıcaklık	Çinko Oranı	Dönüşüm Adı
$L - \beta + \eta$	382 °C	% 95	Ötektik
$\beta - \alpha + \eta$	275 °C	% 78	Ötektoid
$\alpha + \alpha' - \alpha + \beta$	340 °C	% 52	Ötektoid
$\alpha + L - \beta$	443 °C	% 71,6	Peritetik

Ticari öneme sahip olan Zamak alaşımları (ZA-2, ZA-3 ve ZA-5) faz diyagramında ötektik altı bileşime sahiptirler. Ötektik altı bileşimlerde η fazının dentrit halinde oluşmasıyla beraber katılaşma başlar. Dentritlerin büyümesi 382 °C’ye kadar devam etmekte olup bu sıcaklıktan sonra β (beta) + η (eta) ötektik dönüşümü meydana gelir. Faz diyagramı incelenince oda sıcaklığında α (alfa) fazının alüminyum içeriğince daha zengin olduğu, η (eta) fazının ise çinko içeriğince daha zengin olduğu ve α (alfa) + η (eta) matrisi içerisindeki η (eta) dentritlerinden mikroyapı oluştuğu görülmüştür (Türk vd., 2007 a).

Faz diyagramında ötektik üstü bileşime sahip alaşımlar ZA-8, ZA-12 ve ZA-27dir. ZA-8 mikroyapısı heterojen ve lamel ötektik matris ($\alpha + \eta$) içerisinde gelişmiş birincil β dentritikleri içermektedir. β fazı 275 °C altında kararsız bir yapıda olduğundan ötektoid dönüşüm ile birlikte çinkoca zengin η ve alüminyumca zengin α fazlarına dönüşmektedir (Türk vd., 2007 a). Örnek mikroyapı gösterimi Şekil 1.2’de gösterilmiştir.



Şekil 1.2. ZA-8 SEM mikroyapı fotoğrafı (Türk vd., 2007 a)

Zamak alaşımların fiziksel özellikleri ve karşılaştırmaları aşağıdaki çizelgede gösterilmiştir. Ötektik üstü alaşımlarda içeriğinde bulunan alüminyum miktarına bağlı olarak ergime sıcaklığı, ısıl iletkenlik katsayısı, doğrusal termal genleşme katsayısı, elektrik iletkenliği artarken, elektriksel direnci azalmaktadır. Ötektik altı alaşımlarda alüminyum oranı arttıkça ergime aralığı, doğrusal termal genleşme katsayısı azalmaktadır.

ZA-27 alaşımının nispeten yüksek ergime aralığı nedeniyle, aşırı miktarda büzülme gözenekliliğini önlemek için katılaşma yönlü bir şekilde kontrol edilmelidir (Gervais vd., 1985). Çizelge 1.3’de Zamak alaşımlarının fiziksel özellikleri gösterilmiştir.

Çizelge 1.3. Zamak alaşımlarının fiziksel özellikleri (Vander voort vd., 2004)

Alaşım Adı	Diğer Adları	Yoğunluk (g/cm ³)	Ergime Aralığı (°C)	Doğrusal termal genleşme katsayısı 20-100 °C de (µm/m · K)	Isı iletkenlik katsayısı (W/m · K)	Elektrik iletkenliği 20 °C ‘de IACS	Elektriksel Direnc (µΩ· cm) 20 °C ‘de
ZA-2	Mazak 2 AC43A	6,6	379 – 390	27,8	105	% 25	6,85
ZA-3	Mazak 3 AG40A	6,6	381 - 387	27,4	113	% 27	6,37
ZA-5	Mazak 5 AC41A	6,7	380 – 386	27,4	109	% 26	6,54
ZA-8	-	6,3	375 – 404	23,2	115	27,7	6,2
ZA-12	ILZRO 12	6,3	377 – 432	24,1	116	28,3	6,1
ZA-27	-	5	375 – 484	26	125,5	29,7	5,8

Zamak alaşımların mekanik özellikleri ve karşılaştırılması çizelge 1.4’de gösterilmiştir. Döküm türüne bağlı olarak mekanik özellikler değişmektedir. Ötektik üstü alaşımlarda alüminyum oranı arttıkça elastisite modülü ve darbe mukavemeti azalırken, çekme mukavemeti ve yorulma dayanımı artmaktadır. Ötektikaltı alaşımlarda bakır oranına

bağlı olarak çekme mukavemeti, kesme mukavemeti, basma dayanımı, sertlik ve yorulma dayanımı artmaktadır.

Çinko-Alüminyum (ZA) alaşımları ailesi 1960'larda ve 1970'lerde geliştirildi ve aşınmaya dayanıklı parçalar üretmek için pirinç ve dökme dövülebilir demirin yerini aldı. Şekillendirme için düşük enerji gereksinimi, mükemmel döküm kabiliyeti, yüksek mukavemet özellikleri olan bu alaşımlar, bazı standart bronz yatak alaşımlarına eşdeğer veya daha iyidir, ancak özellikle 100 °C'yi geçen sıcaklıklarda mekanik ve aşınma direnci özelliklerinin bozulması nedeniyle sınırlı uygulama alanına sahiptirler (Yan vd., 2010).

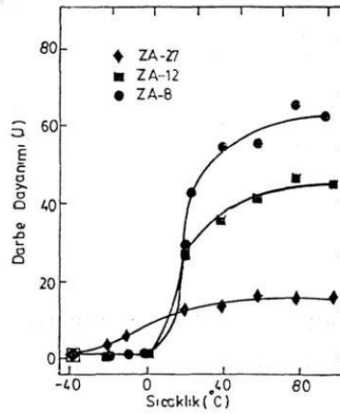
Çelikyürek vd. ZA-12 alaşımının döküm sürecinde karıştırmanın mikroyapı ve mekanik özellikler üzerindeki etkisini incelemiştir (Çelikyurek ve Torun, 2019). Karıştırmayı 1500 rpm'de çelik bir çubuk yardımıyla gerçekleştirmişlerdir. Döküm sonrasında sertlik değerlerini, basma mukavemetini ölçüp mikroyapıyı incelemiştir. Mikroyapı açısından her iki dökümde dentritik yapının olduğunu, fakat karıştırılan döküm numunesindeki dentritik yapının daha uzun ve ince olduğunu görmüşlerdir. Karıştırılan döküm numunesinde sertlik değerinin ve akma mukavemetinin yüksek olduğunu, elastise modülünün ve akma gerilmesinin düşük olduğunu tespit etmişlerdir. Bunun temel sebebinin mikro yapıdaki tane boyutunun küçülmesinden dolayı olduğunu görmüşlerdir.

Zamak alaşımlarının oda sıcaklığındaki özellikleri dökme demir ve alüminyum alaşımları olmak üzere diğer döküm alaşımlarının özelliklerinden daha iyidir. Dökümlerdeki termal gradyanlardan kaynaklanan büzülme gözenekliliğinde bir azalma nedeniyle ZA-27 alaşımında darbe dayanımı diğerlerine kıyasla önemli ölçüde daha yüksektir (Gervais vd., 1985). Çizelge 1.4'te Zamak alaşımlarının mekanik özellikleri gösterilmiştir.

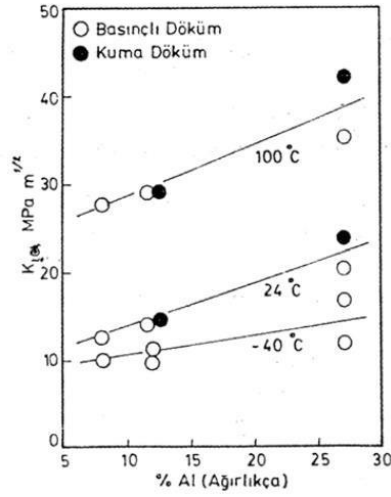
Çizelge 1.4. Zamak alaşımlarının mekanik özellikleri (Vander voort vd., 2004)

Özellik	ZA-2	ZA-3	ZA-5	ZA-8		ZA-12			ZA-27	
	Basınçlı	Basınçlı	Basınçlı	Kokil	Basınçlı	Kum	Kokil	Basınçlı	Kum	Basınçlı
Elastisite Modülü (GPa)	-	-	-	85,5	85,5	82,7	82,7	82,7	77,9	77,9
Çekme Dayanımı (MPa) 6,35 mm çapındaki numune için	358	283	331	240	374	299	328	404	421	426
Uzama (%)	7	10	7	1 - 2	8	1,5	2,2	5	4,5	2,5
Kesme Mukavemeti (MPa)	317	214	262	242	275	253	320	296	292	325
Basma dayanımı (MPa)	641	414	600	210	252	230	234	269	330	359
Sertlik (HB) 500 kg yük ve 10 mm çapındaki çelik top ve 30 sn'de.	100	82	91	85-90	103	94	89	100	90	119
Darbe dayanımı (J)	47	58	6,5	20	42	26	20	29	48	12
Yorulma dayanımı (MPa) 5x10 ⁷ çevrim	59	48	56,5	52	103	103	-	117	172	117

Şekil 1.3'te ZA-8, ZA-12 ve ZA-27 alaşımlarının sıcaklığı bağlı olarak darbe dayanım dirençleri gösterilmiştir. 0°C'de en yüksek darbe dayanımına sahip alaşımlar sırasıyla ZA-27, ZA-12 ve ZA-8 iken, 60°C'de en yüksek darbe dayanımına sahip alaşımlar sırasıyla ZA-8, ZA-12 ve ZA-27'dir. 85°C'de alaşımlarda ZA8 alaşımı 65 J darbe direnci değeriyle en yüksek, ZA27 alaşımı ise 19 J darbe direnci değeriyle en düşük darbe dayanımına sahiptir.

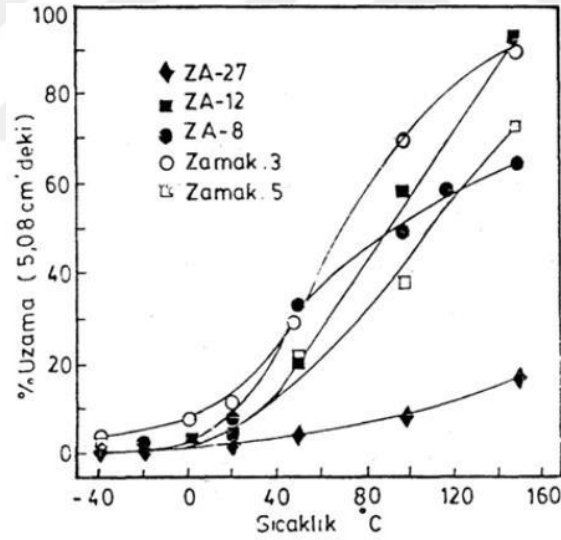
**Şekil 1.3.** Ötektoid üstü Zamak alaşımları için artan sıcaklık değerlerine bağlı olarak darbe dayanımı grafiği (Uğur, 1998)

Şekil 1.4'te ZA-27 alaşımının kırılma tokluğu değerleri kuma döküm ve basınçlı döküm üretim yöntemleri karşılaştırılmalı olarak gösterilmiştir. Kum kalıba dökülen ZA-27 alaşımının kırılma tokluğu değeri artan sıcaklıkla basınçlı döküm ile üretilen alaşımdan daha yüksek bir değerde olduğu görülmektedir.



Şekil 1.4. ZA-27 alaşımı döküm türüne göre kırılma tokluk değerleri (Uğur, 1998)

Zamak alaşımlarındaki uzama miktarının sıcaklığa bağlı değişimi şekil 1.5'te gösterilmiştir. Sıcaklık ile beraber sünekliliğin arttığı grafikten okunmaktadır.



Şekil 1.5. Zamak alaşımlarında sıcaklığa bağlı olarak uzama miktarının değişimi (Uğur, 1998)

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Zamak Alaşımındaki Alaşım Elementlerinin Eklentisinin Etkisi

2.1.1. Alüminyum

Abou El-Khair vd. tarafından Çinko-Alüminyum alaşımlarına farklı miktarlarda Al katkısının alaşımın mikroyapıya, sertliğe ve aşınma özelliklerine etkisini incelenmiştir (Abou el-Khair vd., 2004). Alaşımdaki alüminyum miktarının artmasıyla (alüminyum içeriği max. %27) mukavemetin, sertliğin ve aşınma direncinin arttığı gözlenirken, süneklik azaldığını gözlemlemiştir. Artan sıcaklıkla beraber alaşımın sünekliği artarken darbe mukavemetinin azaldığını tespit etmiştir. Artan Al içeriği ile birlikte aşınma direncinin arttığını ve yüksek sıcaklıklarda mukavemet arttığını gözlemlemiştir. Alüminyum elementinin bileşimdeki oranının artması ile ergiyik metalin akışkanlığında artış görülürken, darbe mukavemetinde azalma görülür. Alüminyumun alaşımda bileşim oranının az olması halinde mekanik özelliklerde azalma görülür.

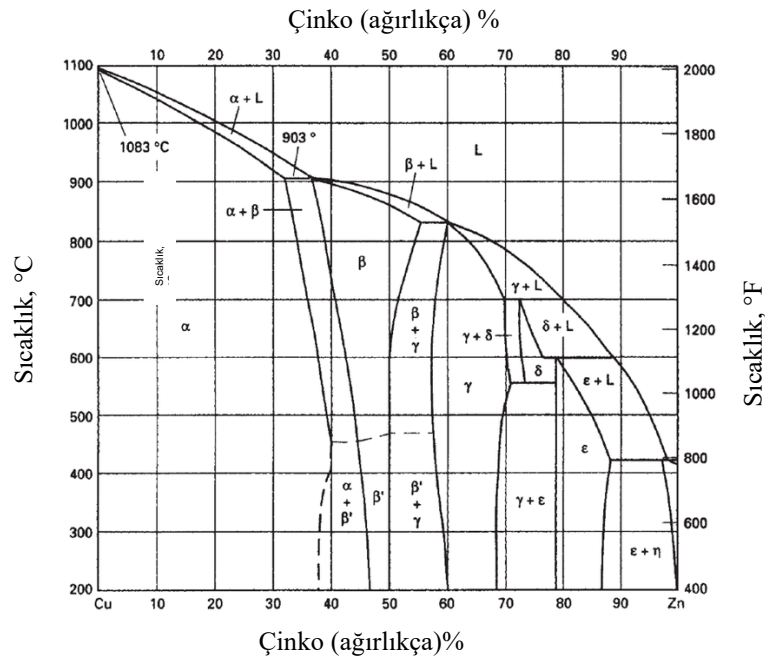
Liu vd. döküm halindeki çinko alaşımına alüminyum ekleyerek mikroyapıyı düzenleyip mekanik özelliklerin gelişimini incelemiştir (Liu vd., 2016). Ötektik oluşturan Al'in döküm Zn'nin mikroyapısal modifikasyonu üzerindeki rolünü incelemek için nominal olarak %0,25, %0,50, %1,00, %1,50 ve ağırlıkça %2,00 Al içeren beş ikili Zn alaşımı 600 °C'de dökmüşlerdir. Daha sonrasında döküm olarak silindirik Zn-Al külçeleri 340 °C'de 3 saat homojen olarak tavlama işlemi yapmışlardır. Çekme testi ve sertlik testleri gerçekleştirilerek mekanik özelliklerini incelenmiştir. Ötektik oluşturan Al çözüneninin döküm halindeki Zn'ye eklenmesi ile birlikte sertlik, uzama ve akma gerilmesinde artış gözlemlemiştir.

Yan vd. farklı oranlardaki Al içeriklerinin Zn esaslı alaşımların mikro yapısı, sertliği, çekme ve aşınma davranışları üzerindeki etkisini araştırmışlardır (Yan vd., 2010). Yüksek Al içeriğine (max. %48 Al) sahip Zn bazlı alaşımlar üreterek ve Al içeriklerinin Zn-Al alaşımlarının katılma davranışı üzerindeki etkisini ve farklı miktarlarda Al içeren Zn esaslı alaşımların mekanik ve aşınma özelliklerini incelemiştir. 4 farklı miktarda alüminyum içeriğine (27, 33, 40 ve 48) sahip Zn alaşımları için 610 C'de döküm gerçekleştirmişlerdir.

Çekme testi için 5 mm çapından 25 mm uzunluğunda test numunesi hazırlamışlardır. Mikroyapı görüntüleri için SEM kullanmışlardır. Aşınma için ise pin-on-disk yöntemini kullanmışlardır. Alüminyum oranının artmasıyla mikroyapıdaki birincil α fazının arttığı ve ötektoid $\alpha + \eta$ fazının azaldığı gözlemlenmiştir. Alaşımdaki artan Alüminyum oranına bağlı olarak (%27 - %48) sertlik değerinin arttığı, bunun da yapıdaki α fazının artışına bağlı olduğu tespit edilmiştir. %27 Alüminyum içeriğine sahip olan Zamak alaşımı diğerlerine kıyasla daha fazla mukavemet ve uzama değerleri göstermiştir. Diğer miktarlarda ise (%33 - %48) artan Al miktarına bağlı olarak sertliğin arttığı fakat uzama miktarının düştüğü tespit edilmiştir. %27 Alüminyum içeriğine sahip olan Zamak alaşımı diğerlerine kıyasla daha fazla aşınma direnci göstermiştir. Diğer miktarlarda ise (%33 - %48) artan Al miktarına bağlı olarak aşınma direncinin arttığı gözlemlenmiştir. ZA-27'nin diğer alaşımlara kıyasla daha iyi aşınma direnci, mukavemet ve uzama değerleri göstermesinin temel sebebi artan Alüminyum miktarına bağlı olarak mikroyapıda segregasyon ve boşluk oluşmasıdır.

2.1.2. Bakır

Bakır elementinin saf çinko içerisindeki çözünürlüğü oldukça düşüktür. Şekil 2.1'de ikili faz diyagramı incelendiğinde 400 °C'de yaklaşık % 3 olan Cu çözünürlüğünün, oda sıcaklığında daha da azaldığı görülmektedir.



Şekil 2.1. Cu-Zn ikili faz diyagramı (Zhou, 2017)

Bakır elementinin bileşim oranının artması ile yapının sertliğini ve akışkanlığını arttırmasına rağmen nihai üründe boyutsal kararsızlığı neden olur. Bakır elementi yapı içerisinde bulunan empüritelerle yaptığı reaksiyonlar nedeniyle eklenir ve mukavemet ile sertliği arttırır. Yapıda bakır elementinin fazla bulunması durumunda ötektoid dönüşümünün geciktirdiğinden dolayı dros (çapak, katı empürite küresi) miktarı artmakta ve ergiyik metalin akışkanlığını azalır (Vander voort vd., 2004).

Zn-Al alaşımlarındaki Al miktarına bağlı olarak bakırın çözünürlüğü değişmektedir. Bakır elementi mukavemeti,sertliği, sürünme ve korozyon direncini arttırken, uzama değerinde azalmaya sebep olmaktadır.

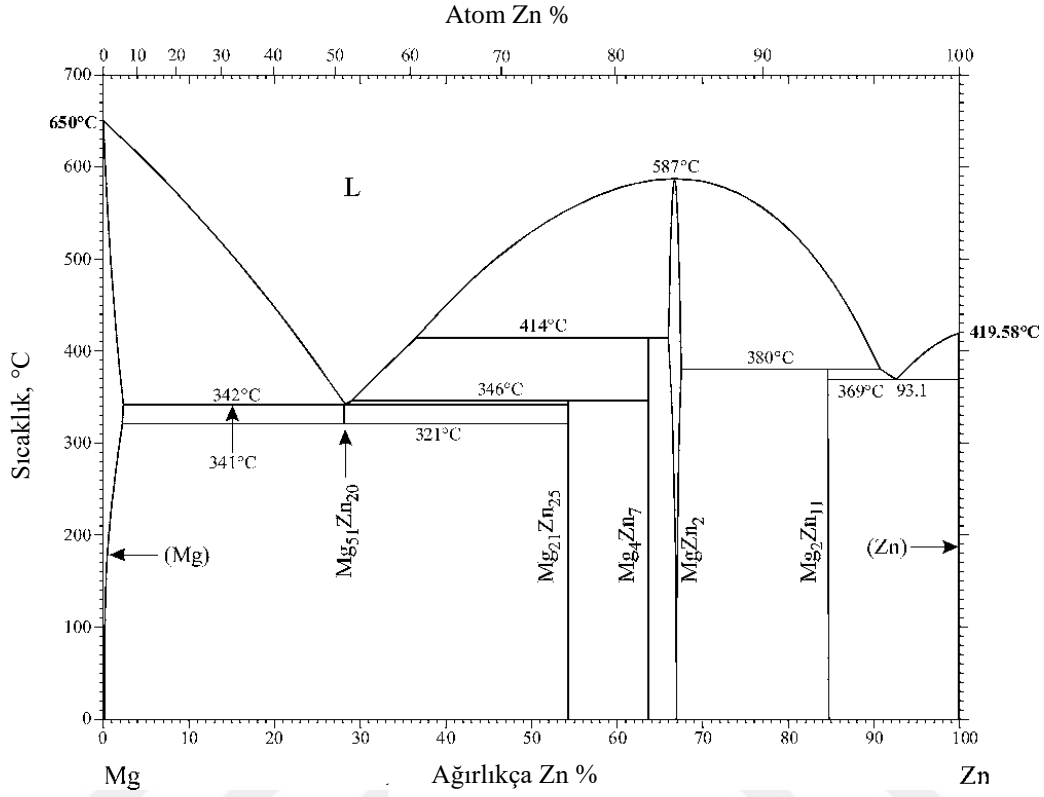
Savaşkan vd. tarafından yapılan çalışmada bakır eklentisinin çinko esaslı monoötektoid alaşımlarda aşınma ve mekanik özelliklerine etkilerini incelemiştir (Savaşkan vd., 2002). Çinko-Alüminyum-Bakır alaşımlarının hem çekme mukavemeti hem de aşınma direncinin %2'ye kadar artan bakır içeriğiyle oranlı olarak arttığını, bunun üzerinde her iki özelliğin azaldığını görmüştür. Bunun temel sebebinin bakırın Çinko-Alüminyum alaşımlarında bakır içeriği %2 seviyesini aştıktan sonra inter-dentritik bölgelerde bakırca zengin sert fakat kırılğan fazlar oluşmaktadır. Bakır içeriği arttıkça çekme dayanımı azalırken sertlik sürekli artar.

Wang vd. tarafından yapılan çalışmada püskürtme atomizasyonu ve biriktirme tekniği ile üretilen ikili Zn-30Al ve üçlü Zn-30Al-Cu alaşımlarındaki Cu eklentisinin mikroyapı ve korozyon davranışı üzerindeki eklentisini incelemiştir (Wang vd., 2012). Alaşımlara yapılan Cu eklentisi mikroyapıdaki lamelliği değiştirmemiştir. Daldırma ve elektrokimyasal testler ile birlikte %1 Cu eklentisinin korozyon direncini arttığını, %3 ve %4 Cu eklentisinin ise korozyon direnci azalttığını tespit etmişlerdir. Bunun temel sebebinin ise bakırın tane sınırları üzerinde birikmesinden dolayıdır.

2.1.3. Magnezyum

Şekil 2.2 incelendiğinde Magnezyum elementinin Zamak içerisindeki çözünürlüğünün belirli bir değeri geçmediği görülmektedir. Ötektoid alaşımda Mg

çözünürlüğü %0,025 iken oda sıcaklığında çok daha düşük değerlerde çözülmektedir. Bundan dolayı Zn-Al alaşımlarına %0,002-0,1 oranlarında katılmaktadır (Uğur, 1998)



Şekil 2.2. Mg-Zn ikili faz diyagramı (Türk vd., 2007 b)

Wu vd. az miktarda ZnAl₄Cu₁ alaşımına seyreltik miktarlarda Mg eklentisinin mikroyapı ve mekanik özellikler üzerindeki etkisini incelemiştir (Wu vd., 2016). Katılan Mg oranları sırasıyla %0,04, %0,21 ve %0,31dir. Seyreltik Mg eklentisi ötektoid yapıların oluşmasına ve Mg₂Zn₁₁ parçacıklarının oluşmasına sebep olur. Zn₄Al₁Cu alaşımına seyreltik Mg eklentisi mukavemeti ve sünekliği arttırmaktadır. Bunun temel sebebi Mg₂Zn₁₁ parçacıklarının oluşmasıdır.

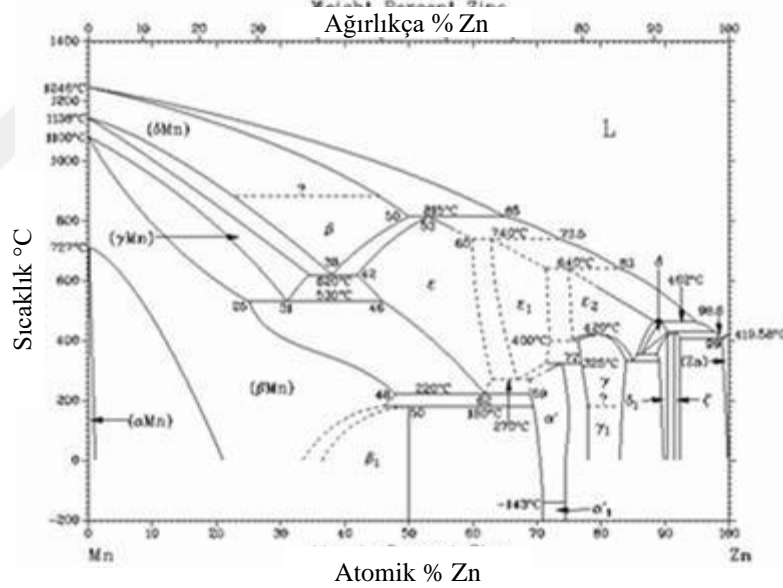
Çelikyürek vd. tarafından ZA-12 çinko alaşımına artan miktarlarda Mg (max. %4) ilave edilerek alaşımın mikroyapısı ve mekanik özelliklerine ek olarak ısıtılma işleminin etkisini incelemiştir (Çelikyürek vd., 2020 a). Bu çalışmada ZA-12 alaşımına magnezyum eklentisi ve ısıtılma işleminin mekanik ve aşınma özelliklerine etkisi incelenmiştir. Eklenen Mg arttıkça mikroyapıdaki dentrit kollarının arasında mesafenin artmasıyla birlikte akma dayanımı, uzama, sertlik ve elastik modülü artarken, kalıcı plastik deformasyon ve plastik

şekil değiştirme sınırındaki gerilme ve uzama değerleri azalmaktadır. Isıl işlem sonrasında akma mukavemetinin azaldığı gözlemlendi. ZA-12 alaşımının mekanik özelliklerin sadece çözeltiliye alma ısıl işlemi ile birlikte iyileştiği gözlemlendi. Gevrek malzeme olarak adlandırılan ZA-12 alaşımı, ısıl işlem ile birlikte sünek hale getirebilirliğini tespit etmişlerdir.

2.2. Zamak Alaşımına Elementlerin Etkisi

2.2.1. Mangan

Şekil 2.3 incelendiğinde mangan elementinin Çinko içerisindeki çözünürlüğü oldukça düşük olduğu görülmektedir. Aşağıdaki ikili faz diyagramına bakıldığında 400 °C'de %0,47 olan Mn çözünürlüğü, oda sıcaklığında daha da düşük değerlerdedir. Zamak alaşımlarında bu durum ise daha düşük değerlerde görülmektedir.



Şekil 2.3. Zn-Mn ikili faz diyagramı (Lovov vd., 2016)

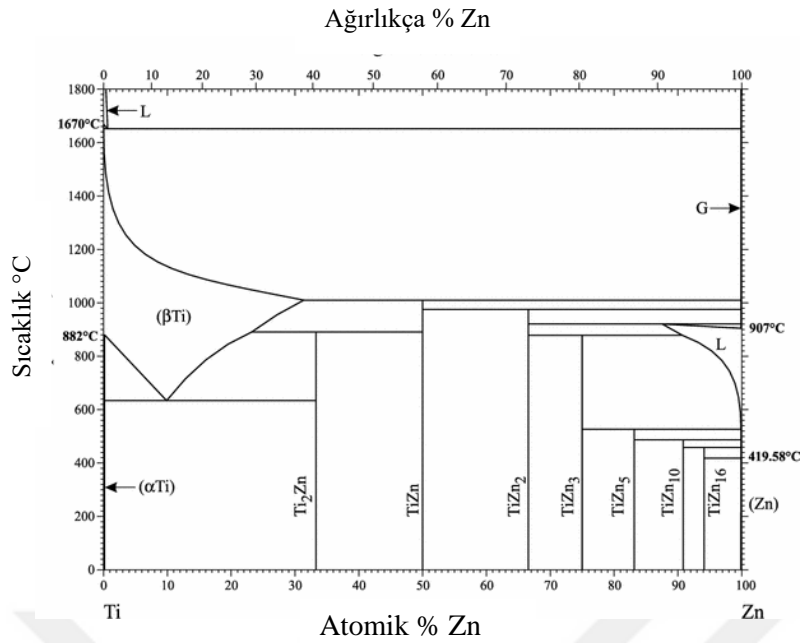
Türk vd. ZA-8 alaşımına ağırlıkça %0,01 - %0,53 aralığında Mangan elementi eklentisinin sertliğe, darbe dayanımı, çekme dayanımı ve sürünme direnci üzerindeki etkisini incelemişlerdir (Türk vd., 2007 b). Mikroyapı incelemesi için SEM'i, sertlik testleri için brinell değerlerini, çekme için 6 mm çapında 25 mm uzunluğunda numuneler hazırlanmış ve 16 mm çapında 150 mm uzunluğu döküm numunelerini elde etmek için elektrik ocağı kullanmışlardır. ZA-8 alaşımındaki Mn oranına bağlı olarak (%0,01 - %0,53) alaşımın

sertlik değeri arttığını gözlemlemiştirler. Alaşımının akma, çekme ve darbe mukavemeti özellikleri alaşımda bulunan Mn oranının max. %0,45'e kadar artış göstermiştir. Daha fazla olan Mn içeriğinde ise, artan Mn oranına bağlı olarak akma, çekme ve darbe mukavemeti özelliklerinde azalma gözlemlenmiştir. Bunun temel sebebi ise yapıda $MnAl_6$ intermetalik fazının oluşmasından dolayıdır. Alaşımdaki Mn oranı bu intermetalik faz partiküllerin sayısını, boyutunu ve dağılımını etkilemiştir. ZA-8 alaşımına eklenen mangan içeriğiyle birlikte doğru orantılı olarak sürünme direnci artmıştır. Sürünme direncinin %0,45 Mn içeriğinden sonra artmasının temel sebebi oluşan intermetalik fazın gevrek özellik göstermesinden kaynaklıdır. Optimum mekanik özellikler, %0,045 - %0,063 ağırlıkça Mn ilavesiyle elde edildiğini tespit etmişlerdir (Türk vd., 2007 b).

Dominguez vd. ZA-27 alaşımına farklı oranlarda (% 0,1 - % 0,7) Mn ekleyerek mikroyapı ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir (Dominguez vd., 2002). Elementel analiz için AAS (Atomik absorpsiyon spektroskopisi), mikroyapı analizi için EDS ve SEM kullanılmıştır. Mikroyapı açısından ZA-27 alaşımına yapılan Mn eklentisine doğru orantılı olarak yapıdaki parçacık ve ince dentritik lamel sayısı artmaktadır. Rockwell sertlik değerleri ölçülmüş olup mikroyapıdaki değişime bağlı olarak sertlik değerleri Mn oranına bağlı olarak artmıştır. Akma dayanımı, kırılma tokluğu ve çekme dayanımı için maksimum değerlere %0,25 Mn eklentisi olan alaşımda ulaşılmıştır. Bunun temel sebebinde tane büyüklüğüne bağlı olduğunu vurgulamışlardır (Dominguez vd., 2002).

2.2.2. Titanyum

Şekil 2.4 incelendiğinde titanyumun çinko içerisindeki çözünürlüğü düşük olduğu görülmektedir. Titanyum ile çinkonun intermetalik bileşik oluşturması sık rastlanan bir durumdur. İntermetalik bileşiklerin oluşması tane boyutunda inceltici özelliğe sahip olmasından dolayı sünekliği arttırmaktadır (Uğur, 1998). Titanyum, çinko döküm alaşımlarında tane boyutunu küçültücü etki oluşturduğundan dolayı tanelerin yüksek sıcaklıklarda büyümesine sebep olmaktadır (Uğur, 1998). Bu da alaşımın mekanik özelliklerinden bir tanesi olan sürünme direncini arttırmak için kullanılır (Uğur, 1998).

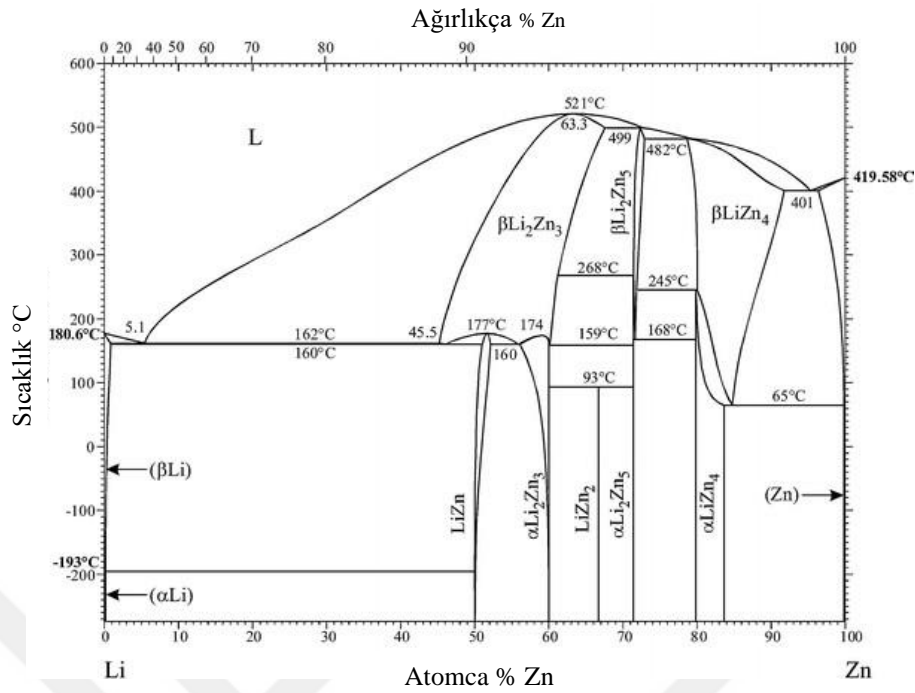


Şekil 2.4. Zn-Ti ikili faz diyagramı (Okamoto, 2008)

Jianhua vd. ZnAl4 alaşımına farklı oranlarda Ti (% 0,02 - % 0,11) eklentisinin mekanik özellikler ve mikroyapı üzerindeki etkilerini incelemiştir (Jianhua vd., 2011). Alaşımdaki Ti içeriği ağırlıkça %0,02 olduğunda, birincil η fazı dentritten ayrı ve kaba masif parçacıklara dönüştüğünü tespit etmişlerdir. Ti içeriği ağırlıkça %0,05'e ulaştığında ise birincil η-Zn fazı en ince hale gelirken ve η-Zn+α-Al ötektik mikroyapı miktarının maksimuma ulaştığını görmüşlerdir. ZA alaşımında Ti oranının artmasıyla, çekme mukavemeti ve uzama ile ZnAl4 alaşımının darbe tokluğu arttığını gözlemlemiştir. Ti içeriği ağırlıkça %0,05'e ulaştığında ise alaşımın kapsamlı mekanik özellikleri maksimum değere ulaşmıştır. Ti içeriği ağırlıkça %0,08 olduğunda, Al-Ti-Zn üçlü fazın varlığı nedeniyle mekanik özellikler azalmaktadır.

2.2.3. Lityum

Şekil 2.5 incelendiğinde Lityum elementi Zn elementinde çözünürlüğünün düşük olduğu ikili faz diyagramında gösterilmektedir. Ötektoid bölgede olduğundan oda sıcaklığında intermetalik bileşikler oluşturmaktadır. Bu nedenle Zamak alaşımına % 0,07 - % 0,19 aralığında lityum ilave edilmesiyle sertlik, çekme ve sürünme dayanımının arttığı gözlemlenmiştir (Uğur, 1998). ZA27 alaşımına % 0,1 Lityum eklentisinin çekilme boşluklarını azalttığını, sertlik ve dayanımın ise bir miktar arttığı ortaya konmuştur (Uğur, 1998).

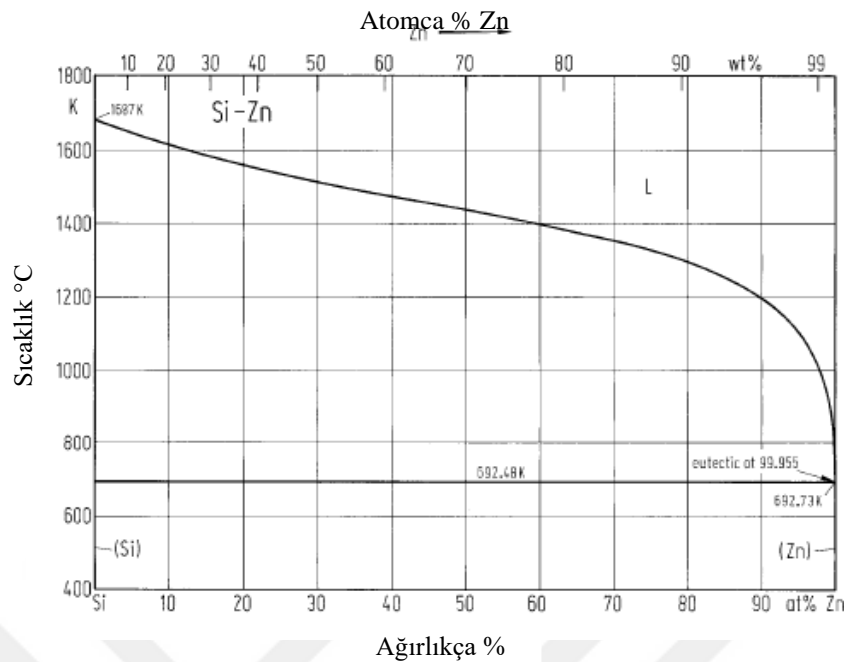


Şekil 2.5. Li-Zn ikili faz diyagramı (Pelton, 1991)

2.2.4. Silisyum

Şekil 2.6 incelendiğinde Silisyum elementinin saf Çinko içerisindeki çözünürlüğü olmadığı görülmektedir. Yapıda empürite halinde gözükmektedir. Zamak alaşımları için ise faz dönüşümlerini ise etkilemez.

Çelikyürek vd. tarafından ZA-12 alaşımına artan miktarlarda Si (%0,5 - %1 - %2) ilave edilerek alaşımın mikroyapısı ve mekanik özelliklerine ek olarak ısıl işlemin etkisini de incelemiştir (Çelikyürek vd., 2020 b). Yapılan çalışmada ZA-12 alaşımının mikroyapıya Silisyum eklentisinin bir değişiklik göstermediğini, sadece dentritlerin kollarının kısaldığını ve Si parçacıklarının yapıda empürite halinde görüldüğünü ve mekanik özelliklerinin tavlama ısıl işlemiyle birlikte değiştiğini tespit etmişlerdir. Silisyum eklentisi ile mekanik özellikleri iyileştirmediğini, mekanik özelliklerinin çözeltiye alma ile birlikte iyileştiğini gözlemlemiştir. Si eklentisinin alaşımı daha gevrek hale dönüştürmediği görülmüştür.



Şekil 2.6. Si-Zn ikili faz diyagramı (Uğur, 1998)

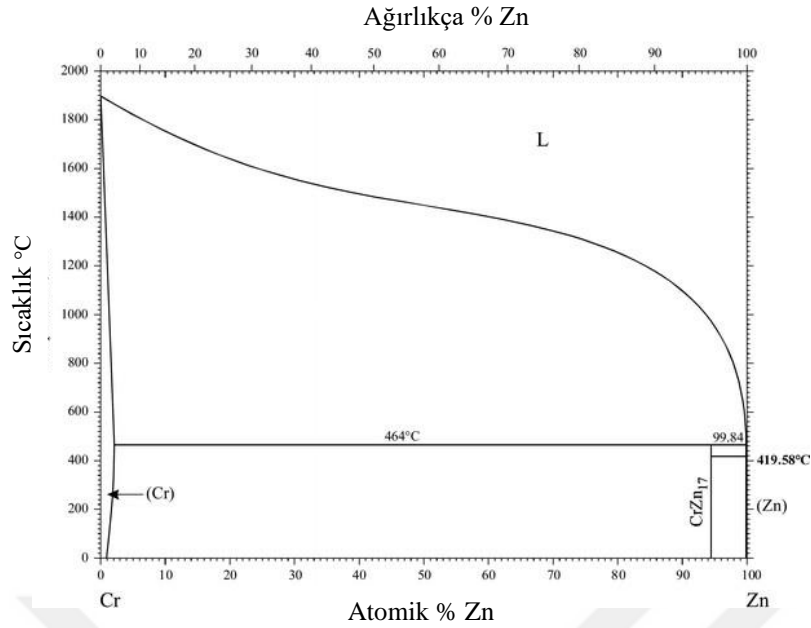
Savaşkan ve Murphy, ZnAl25 alaşımına %2,1-5,6 aralığında Silisyum ilave ettiklerinde, alaşımın sertlik ve aşınma dayanımında sürekli bir artış gözlemlemişlerdir. Çekme dayanımında ise %2,7 Silisyum bileşimine kadar bir artış, sonraki değerlerde ise düşme meydana gelmiştir (Uğur, 1998). Ayrıca Zn-Al alaşımlarında % 0,02 oranında silisyum ilave edildiğinde çekme dayanımı artarken, % kopma uzama ve darbe direnci ise azalarak gevrek sünek geçiş sıcaklığını yükseltmektedir (Uğur, 1998).

Savaşkan tarafından Zn-Al-Cu alaşımına Si ve Cu içeriğini belirli bir seviye arttırarak mekanik ve mikroyapısal özelliklerini incelemiştir (Savaşkan ve Hekimoğlu, 2014). Alaşımda artan Cu ve Si içeriğiyle birlikte sertlik ve basma gerilmesinin arttığını gözlemlemişlerdir. %3 Cu içeriğinden daha fazla ve % 1 Si içeriğinden daha fazla oranlarda ise akma dayanımı, toplam uzama yüzdesi ve darbe dayanımı özellikleri için tam tersi bir azalma gözlemlemişlerdir. Bunun temel sebebinin ise üçlü ve dördü alaşım faz diyagramındaki oluşan ϵ fazının oluşumundan ve büyük birincil silikon parçacıklarının miktarındaki artıştan kaynaklanmaktadır. Isıl işlem alaşımların sünekliklerini etkilemeden sertlik ve çekme mukavemetini arttırmaktadır.

2.2.5. Krom

Şekil 2.7’de krom elementinin Zn elementinde çözünürlüğünün düşük olduğu ikili faz diyagramında belirtilmektedir. Oda sıcaklığında intermetalik $CrAl_4$ ve $CrAl_7$ bileşikleri olarak mikroyapıda oluşmaktadır.

Aydın tarafından yapılan çalışmada ZA12 alaşımına Cr elementinin değişik oranlarda (%0,01 - %0,1) eklenerek mikroyapı ve mekanik özellikleri incelemiştir (Aydın, 2008). Mikroyapı için SEM-optik mikroskop, kimyasal analiz için EDS ve XRD analizlerini, mekanik özellikler için sertlik, çekme, darbe ve yorulma deneylerini gerçekleştirmiştir. %0,05 ten fazla Cr eklentisinin ZA12 alaşımının dentritik yapısını küresel şekile getirdiğini ve boyutunu küçülttüğünü ve ötektik lameller arasında mesafeyi azalttığını gözlemlemiştir. EDS incelemeleri sonucunda ise %0,01 Cr eklentisinin bile mikroyapıda intermetalik faz olarak bulunduğunu tespit etmiştir. Sertlik değerleri için ise max. değeri %0,05 Cr eklentisinde elde etmiş olup, sonraki diğer eklenti miktarlarında ise brinell sertlik değerinin aynı olduğunu tespit etmiştir. Max. %0,01 Cr eklentisi ile alaşımlar arasındaki max. darbe dayanımını ulaşılmıştır. Bundan sonraki alaşım eklenti miktarlarında ise tam tersi bir etki oluşturup darbe dayanımında azalma görülmüştür. ZA12+Cr alaşımının çekme mukavemetinin %0,03 ’lik Cr elementi ilavesine kadar lineer olarak arttığı sonraki değerlerde ise düştüğünü gözlemlemiştir. ZA12+Cr alaşımına %0,03 Cr ilavesine kadar yorulma direncinin arttığı, daha yüksek oranlarda Cr ilavelerinde ise yorulma direncinin düştüğü gözlenmiştir. Darbe dayanımı, çekme mukavemeti ve yorulma direncinde bu şekilde değişikliklerin görülmesinin temel sebebi intermetalik fazların mikroyapıda gözlemlenmesindedir.



Şekil 2.7. Cr-Zn ikili faz diyagramı (Moser ve Heldt, 1992)

2.3. Zamak Alaşımlarına Diğer Elementlerin Etkisi

Bu bölümde Zamak alaşımlarına ilave edilen Cu, Mg, Mn, Ti, Si, Cr, Al, Li ve Cu gibi alaşım elementleri haricinde diğer elementlerin etkisi anlatılmıştır. Bu elementlerin haricindeki IA ve IIA diğer alaşım elementlerinin de Zn-Al alaşım elementlerinin mekanik özellikleri etkisi bulunmaktadır. Yapılan araştırmalarda IA ve IIA elementlerinin mikroyapıya %0,02 ve %0,1 eklentisi ile birlikte yapıdaki çekilme boşluklarının önlebileceği belirtilmiştir. Yapıya eklenen Kalsiyum, Berilyum ve Sodyum gibi eklenen elementlerin darbe dayanımını belirli bir miktar azalttığı ve çekme dayanımının değişmediğini tespit etmişlerdir (Uğur, 1998).

Kurnaz vd. tarafından yapıda tane küçültücü etkisi olan Ti-B (%0,05 – %0,7) ve Sr (%0,01 - %0,13) eklentilerinin ZA-12 alaşımının mekanik özellikler üzerinde etkisini incelemiştir (Kurnaz vd., 2006). Ti-B eklentisinin sertliğe bir etkisinin olmadığını, Sr eklentisinin ise sertliği düşürdüğünü tespit etmişlerdir. Stronsiyum elementi yapıda parçacık yani intermetalik bileşik halinde bulunmaktadır. ZA-12 alaşımının çekme ve yorulma dayanımının %0,05 Ti eklenti oranına kadar arttığını sonrasında ise azaldığını gözlemlemişlerdir. Alaşıma max. %0,05 Sr eklentisinin çekme ve yorulma dayanımına etkisinin olmadığını sonrasında ise Sr içeriğinin artmasıyla beraber azalma görülmektedir. Bunun temel sebebinin ise Ti eklentisinin mikroyapıdaki gösterdiği ince ve taç yaprağı

fazdır. Alaşımdaki %0,05 Ti eklenti üzerindeki değerlerde mikroyapıda oluşan Al_5Ti_2Zn ve Zn_5Al_3Sr intermetalik fazlar oluşması sonucunda mekanik özellikler düşük olmaktadır.

Chen tarafından yapılan çalışmada nadir toprak elementlerinin eklentisinin ve ısıtılmanın ZA-12 alaşımının mikroyapı ve darbe dayanımına etkisini incelemiştir (Chen, 1994). Kullanılan üretim yöntemi kum kalıba döküm yöntemi olup, RE elementlerinin eklenti miktarı max. %0,12 olup, ZA-12 ile karşılaştırmıştır. Nadir toprak elementlerinin ötektik η fazı ve dentritik haldeki β fazlarının tane sınırlarında biriktiğini gözlemlemiştir. Döküm halindeki ve ısıtılma işlem görmüş halindeki alaşımlarda nadir toprak elementi miktarı arttıkça darbe dayanımının arttığını gözlemlemiştir. Nadir toprak elementleri yapıda tane küçültücü etkisi ve empürite halinde bulunan demiri absorblamaktadır. Bundan dolayı darbe dayanımında artış gözlemlenmiştir.

Aydan tarafından yapılan çalışmada bor eklentisinin ZA-12 alaşımının mikroyapı ve darbe dayanımına etkisini incelemiştir (Ayday, 2018). Eklenti miktarları sırasıyla %0,1, %0,2 ve %0,4 oranındadır. B eklentisinin mikroyapıdaki etkisi dentrit kolların büyümesinin engellemiş ve ötektik lameller arası mesafeyi azaltmıştır. Bor miktarı arttıkça sertliğin arttığı fakat %0,2 oranından daha fazla değerlerde azalma görüldüğü gözlemlenmiştir. Sertlik değerlerine eş olarak darbe dayanımı değerleri de benzer bir sonuç göstermiştir. %0,2 B eklentisinden daha yüksek değerlerde mikroyapıdaki dentritik yapının tekrar kabalaşması sonucu hem sertlik değerleri ve darbe dayanımında azalma gözlemlenmiştir.

Zhou vd. tarafından yapılan çalışmada Al-49Zn alaşımına skandiyum eklentisinin mikroyapı ve mekanik özellikler üzerindeki etkisini incelemiştir (Zhou vd., 2017). Al-49Zn ve Al-49Zn-0,5Sc alaşımları, döküm ve ısıtılma işlem koşulları altında mikroyapısal incelemeleri ve sertlik ölçümünü gerçekleştirmişlerdir. % 0,5 Sc eklentisinin alaşıma ilavesi tane inceltici etki, morfolojide değişikliklere yol açmış ve mikroyapıdaki eş eksenli taneler içeren iki modlu bir yapı oluşturmuştur. Al-49Zn-0,5Sc alaşımının, Al-49Zn alaşımına kıyasla daha yüksek termal kararlılık gösterdiğini tespit etmişlerdir. Al-49Zn alaşımını ısıtılma işlem sonrasında sertliğinde belirli bir derece gelişme gözlenirken, Al-49Zn-0,5Sc alaşımını için sertlik değişikliği az miktarda meydana gelmiştir.

Modifiye edilmiş ZA-8 alaşımının aşınma direncinin ve sürtünme katsayısının daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Türk tarafından ZA-8 alaşımına Pb, Sn ve Cd eklenerek aşınma özellikleri incelenmiştir (Türk vd., 2007 a). Aşınma testine tabi tutulan alaşımların sonuçları ile SAE 660 Bronzun aşınma sonuçlarını karşılaştırmıştır. Alaşım elementlerinin eklentisi %1 oranındadır. Pb elementinin ZA-8 alaşımın mikroyapısındaki etkisi, kaba ve dejenere ötektikler şeklinde gerçekleşmiştir. Kurşun faz olarak yapıda eşit olarak dağılmış beyaz küresel veya küresel parçacıklar halinde gözlemlenmiştir. Kurşun ve Kalay yapıda gözeneklilik mevcuttur. Sn elementinin ZA-8 alaşımının mikroyapısındaki etkisi, kaba ötektik yapılı ve β fazının çevresinde gözlemlenmiştir. Cd ilavesi, ZA-8 alaşımının temel yapısını önemli ölçüde değiştirmemiş ve ötektik yapıyı azaltmış ve ayrıca gözenekliliğe neden olmuştur. Alaşım elementlerinin eklentisi sertliğin azalmasına yol açmıştır. ZA-8 alaşımı ve ZA-8 alaşımına Pb,Sn ve Cd eklentisi yapılan alaşımlar, SAE 660 bronza kıyasla daha yüksek bir aşınma direnci göstermiştir. Kurşunun alaşıma etkisi mevcut alaşıma kıyasla tüm aşınma hızlarında daha iyi bir aşınma direnci göstermiştir. Kadmiyum ise 30N yükte daha düşük değer gösterirken, 45 N yükte daha yüksek bir sonuç göstermiştir. Kalay eklentisi ise aşınma direncinde azalmaya yol açmıştır.

Şevik tarafından yapılan çalışmada ZA-12 alaşımına artan miktarlarda Gümüş eklentisinin aşınma özellikleri, mikroyapı ve sertlik üzerindeki eklentisi incelenmiştir (Şevik, 2014). ZA-12 alaşımına eklenen Gümüş oranları sırasıyla %0,11, %0,33, %0,48 ve %0,74'tür. ZA-12 alaşımına Ag eklentisi miktarının artmasıyla birlikte yapıdaki ince β dentritlerinin hacimleri artarken, ötektik bölgeler azalmaktadır. Sertlik oranı artan Ag miktarıyla birlikte artmıştır. Bunun temel sebebi yapıdaki β dentritlerinin hacimlerinin artmasıdır. Aşınma direnci farklı dört yük miktarı ölçülmüş olup, eklenti yapılmış alaşımlar, ZA-12 alaşıma kıyasla daha yüksek aşınma direnci sergilemiştir. Ayrıca, artan Ag ilavesi ile ZA-12 alaşımının sürtünme katsayısı azalmıştır. Bunun temel sebebi α -Al fazının β -Al'e dönüşmesinden kaynaklanmaktadır. Artan Ag miktarı ile ZA-12 alaşımının korozyon direnci azalmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışma kapsamında mikroyapı, mekanik ve aşınma özelliklerinin incelenmesi için grafit kalıba döküm, elemental analiz için (EDS), mikroyapı incelemeleri (Optik mikroskop ve taramalı elektron mikroskobu), mekanik deneyler (Sertlik ve basma deneyleri) ve aşınma deneyleri gerçekleştirilmiştir.

3.1. Alaşımların Hazırlanması Ve Dökümü

Bu çalışmada kullanılan alaşımlar külçe halinde temin edilmiş olup ağırlıkça % 11 Al, %1 Cu ve geri kalanı Zn içeren ZA-12 olarak adlandırılan, ticari adı ZAMAK-12, ILZRO-12 alaşım kullanılmıştır. Çalışma kapsamında ilave edilen alaşım elementinin etkisinin incelenmesi adına ağırlıkça %4 Ag eklenmiş olup, %11 Al, %1 Cu ve geri kalanı Çinko olarak şekilde modifiye edilmiştir. Al elementi külçe halinde, Cu elementi tel halinde ve Ag elementi ise küçük parçalar halinde eklenmiştir. Ergitme için indüksiyon ergitme ocağı kullanılmış olup şekil 3.1’de fotoğrafları gösterilmiştir.



Şekil 3.1. İndüksiyon ocağı ve indüksiyon ocağı elektrik panosu

Ergitme işlemi 500-600°C’de ZA-12 alaşımı için ilk olarak Zn ergitilmiş olup, sonrasında Al eklenmiş ve en son eriyik içerisinde Cu çözüldürülmüştür. ZA-12+4Ag modifiye edilmiş alaşımı için ise ilk başta Zn ergitilmiş olup, sırasıyla Al ve Cu eklenerek çözdürülmüş ve en son olarak Ag eklenmiştir. Eriyik sıvı çelik bir çubuk yardımıyla yavaşça

karıştırılmıştır. Homojen hale gelen sıvı sonra bir grafit kalıba dökülmüştür. Döküm numuneleri 8 mm çapında çubuk şeklindedir. Kullanılan grafit kalıbın ve potanın fotoğrafları şekil 3.2’de gösterilmiştir. Çapakların giderimi için çubuk halinde olan alaşımlar torna cihazında işlem görmüştür.



Şekil 3.2. Döküm için kullanılan grafit kalıp ve pota

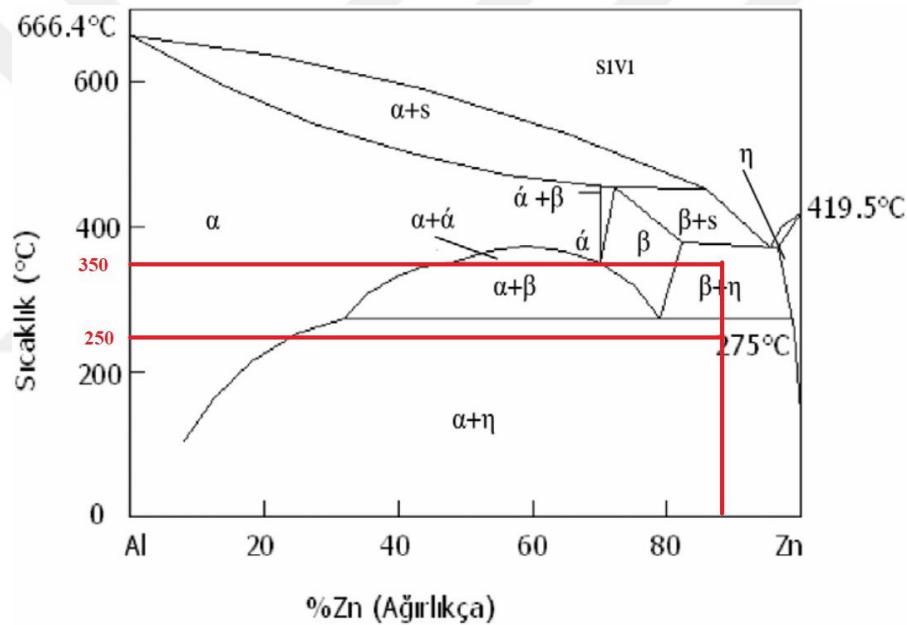
Torna işlemi sonrasında mikroyapı incelemeleri, aşınma testleri ve basma testleri için çubuk halinde numuneler kesilmiştir. Mikroyapı ve aşınma için min. 8 mm çapında 5mm boyunda, basma testleri için min. 12 mm boyunda kesilmiştir. Kesme işlemi için Metkon firmasının Micracut 151 (Şekil 3.3) cihazı kullanmıştır.



Şekil 3.3. Kesme cihazı

Mikroyapı incelemeleri ve aşınma testleri için gerekli miktarda numuneler bakalite alınmıştır. Kullanılan bakalit tozu metkon firmasına ait olan transparan bakalit tozudur. Aşınma testlerinin numuneleri aksel olarak tam ortada olması için bakalit şablon oluşturulup bakalitleme işlemi gerçekleştirilmiştir.

Isıl işlemler için Nevola firmasının reis serisi evo 770 kamara fırını kullanılmıştır. Çözeltiye alma işlemi, bir alaşımı uygun sıcaklığa getirip o sıcaklıkta belirli bir süre bekletip bir yada daha faz bileşimi oluşturulması, katı çözeltiye karıştırılmasını ve çözelti içerisinde kalması için yeterince hızlı bir şekilde soğutma işlemidir. Yapılmak istenen faz dönüşümü şekil 3.4'te gösterilmektedir. ZA-12 ve ZA-12+4Ag alaşımlarına 350°C'de 20 saat çözeltiye alma ısısal işlemi uygulanmıştır.



Şekil 3.4. Zn-Al faz diyagramında çözeltiye alma ve yaşlandırma sıcaklıklarının gösterimi

Yaşlandırma işlemi, metal alaşımın yapısındaki alaşım malzemesinin çökelmelerini sağlayarak alaşıma mukavemet kazandırmak amaçlı yapılan ısıl işlemidir. Çözeltiye alınan ZA-12 ve ZA-12+4Ag alaşımlarına sonrasında 250°C'de 24 saat yaşlandırma ısıl işlemi uygulanmıştır. Kullanılan fırının görseli şekil 3.5'de gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Kamara fırın

Her bir alaşım grubundan hazırlanan numune miktarları çizelge 3.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Hazırlanan numune adetleri

Test Adı	Alaşımın Hali	ZA-12	ZA-12+4Ag
Mikroyapı	Döküm	1	1
	Çözeltiyeye Alma	1	1
	Yaşlandırma	1	1
Aşınma	Döküm	4	4
	Çözeltiyeye Alma	4	4
	Yaşlandırma	4	4
Basma	Döküm	2	2
	Çözeltiyeye Alma	2	2
	Yaşlandırma	2	2

3.2. Metalografik Çalışmalar

Kalıplama işlemi için struers firmasına ait labopress-3 bakalite alma cihazı (Şekil 3.6) kullanılmıştır.



Şekil 3.6. Bakalite alma cihazı

Zımpara ve parlatma işlemleri için metkon firmasının gripo cihazı (Şekil 3.7) kullanılmıştır. Zımpara işlemi için sırasıyla 180, 800 ve 1000 grit kalınlıktaki silisyum karbür zımparalar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Parlatma işlemi 1 μm 'lik elmas pasta ile gerçekleştirilmiştir. Dağlama için %3 nitrik asit içeren 100 ml alkol içerisinde 3 saniye bekletilmek suretiyle dağlama işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.7. Zımparalama ve parlatma cihazı

Dağlama işlemi öncesinde 1µm elmas pasta ile parlatılan numuneler etil alkol ile temizlenmiştir. Dağlama işlemi sonrasında yüzey nitalden arındırılmış ve mikroyapı incelemeleri gerçekleştirilmiştir.

Numunelerin mikroyapı incelemeleri, optik mikroskop kullanılarak yapılmıştır. Mikroyapı incelemeleri için her bir kompozisyondan, her bir ısıl işlem görmüş ve döküm halleri 50, 100, 200 ve 500 büyütmede fotoğrafları çekilmiştir.

Optik mikroskobunda gerçekleştirilen mikroyapı incelemelerinin sonrasında SEM ve EDS analizlerini yapmak için Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında bulunan hitachi firmasının Regulus 8320 cihazı (Şekil 3.8) kullanılmıştır. Taramalı elektron mikroskobunda döküm ve yaşlandırılmış ZA-12 ve ZA-12+4Ag alaşımları incelenmiştir. Aynı zamanda aşınma işlemi uygulanmış numunelerin aşınma yüzeyleri de SEM ile incelenmiştir. Taramalı elektron mikroskobunun optik mikroskoba kıyasla çok büyük büyütmeleri görüntüleme için olanak sağlaması en büyük avantajıdır.



Şekil 3.8. Hitachi regulus 8320 SEM ve EDS cihazı

3.3. Mekanik Özellik Deneyleri

Sertlik deneyleri için mikroyapı incelemelerinde kullanılan 8 mm çapında min. 5 mm uzunluğundaki numuneler kullanılmıştır. Dolayısıyla numunelere zımparalama, parlatma ve

dağlama işlemleri uygulanmıştır. Future tech firmasının FV-800 adlı Vickers sertlik cihazı (Şekil 3.9) kullanılmıştır. Sertlik değerleri her bir ısıtma işlemi uygulanma türüne ve kompozisyona bağlı olarak oluşan tüm kombinasyonlara uygulanmıştır. Uygulanan yük 1 kg olup 15 sn. boyunca uygulanmıştır. Her bir kombinasyon için 5 sefer sertlik ölçümü yapılmış olup ortalama değeri alınmıştır.



Şekil 3.9. Vickers sertlik ölçme cihazı

Basma deneyleri için 8 mm çapında 12 mm uzunluğundaki numuneler kullanılmıştır. Basma testi için Shimadzu AG-IS 250 kN cihazı (Şekil 3.10) kullanılmıştır. Testte numunelerin akma dayanımı deney edilmiş olup hesaplama kaydırma methodu ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.10. Shimadzu AG-IS basma test cihazı

3.4. Aşınma Testi

Aşınma testleri için ball on disk methodu kullanılmış olup, 2 farklı yük değeri ve 2 farklı hız kullanılmıştır. Testlerde 3 mm çaplı WC bilyalar karşı cisim olarak kullanılmıştır. Test uygulanacak test öncesi numunelere zımpara ve parlatma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Testler için CSM firmasının aşınma testi cihazı (Şekil 3.11) kullanılmıştır. Test yapılan numunelerin hız ve yük değerleri çizelge 3.2 ve 3.3’de gösterilmiştir. Bu şartlarda 2000m sürtünme mesafesine kadar test edilmiştir.



Şekil 3.11. Aşınma testi cihazı

Çizelge 3.2. ZA-12 Aşınma testi koşulları ve adetleri

	Döküm	Çözeltiliye Alma	Yaşlandırma
5 cm/sn hız 1N yük	1	1	1
5 cm/sn hız 2N yük	1	1	1
10 cm/sn hız 1N yük	1	1	1
10 cm/sn hız 2N yük	1	1	1

Çizelge 3.3. ZA-12+4Ag Aşınma testi koşulları ve adetleri

	Döküm	Çözeltiliye Alma	Yaşlandırma
5 cm/sn hız 1N yük	1	1	1
5 cm/sn hız 2N yük	1	1	1
10 cm/sn hız 1N yük	1	1	1
10 cm/sn hız 2N yük	1	1	1

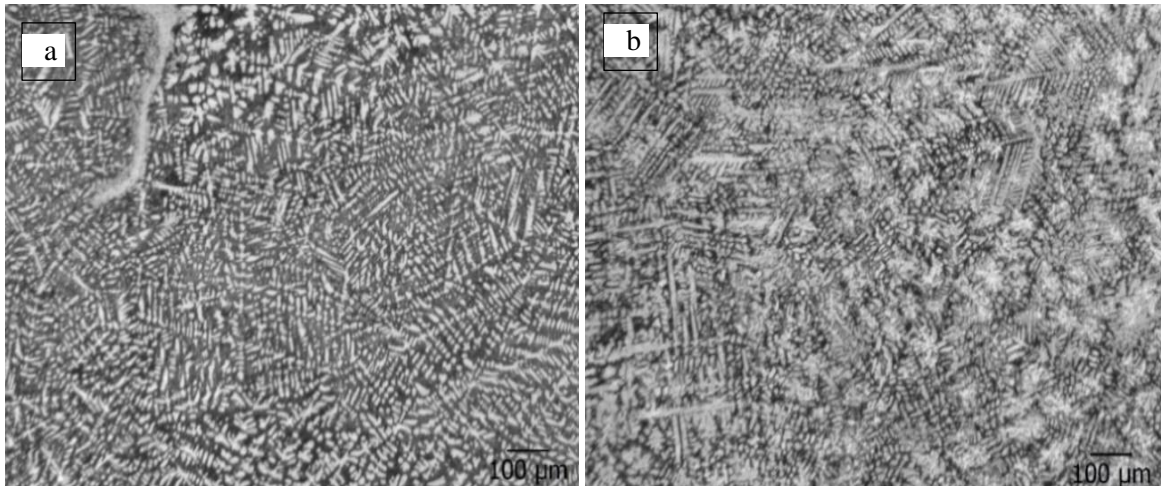
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada ZAMAK 12 bazlı alaşıma %4 Ag eklenmiştir. İlave edilen alaşım elementine sahip numunelerin ve baz alaşım numunelerinin mikroyapı, mekanik ve aşınma özelliklerini karşılaştırmak üzere optik mikroskop ve SEM incelemeleri ile sertlik, basma deneyleri ve aşınma testleri gerçekleştirilmiştir. Alaşımlardaki element oranlarını tespit etmek için EDS analizi gerçekleştirilmiştir.

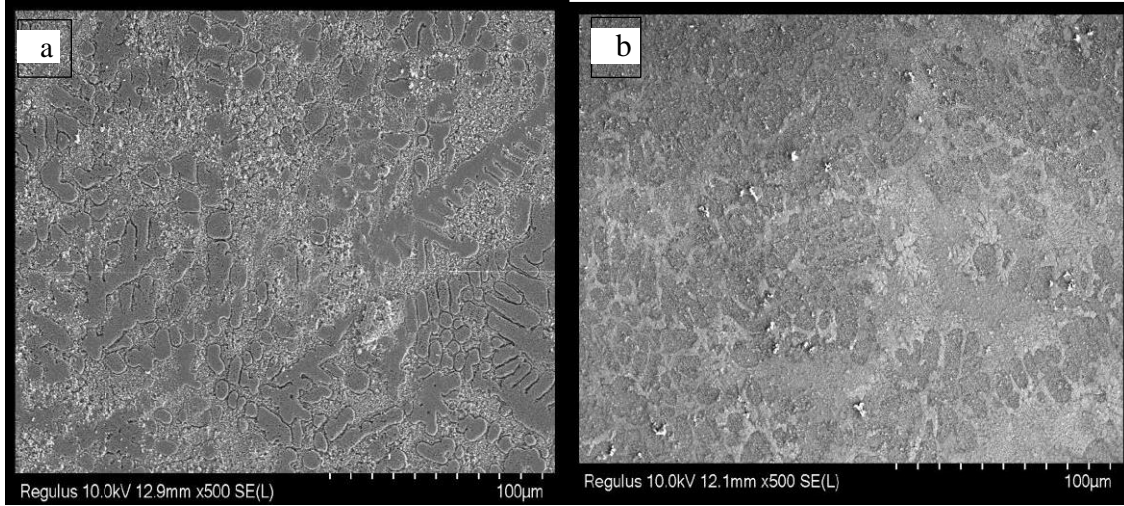
4.1. Mikroyapı, SEM Ve EDS İncelemeleri

4.1.1. Optik mikroskop ve sem incelemeleri

Optik mikroskop ve SEM görüntüleri (şekil 4.1.a ve 4.2.a) incelendiğinde ZA-12 alaşımın mikroyapısının çinko bakımından zengin ötektik bir bölgeye sahip dentritlerden oluştuğu, Al bakımından zengin α Zn bakımından zengin η fazlarının dentritleri çevrelediği görülmekte ve herhangi bir arametel bileşik gözlemlenmemektedir. Şekil 4.1.b ve Şekil 4.2.b incelendiğinde yapıya eklenen Gümüş ilavesi ile birlikte ötektik bölgenin azaldığını yani dentritlerin boylarının kısaldığı görülmektedir.

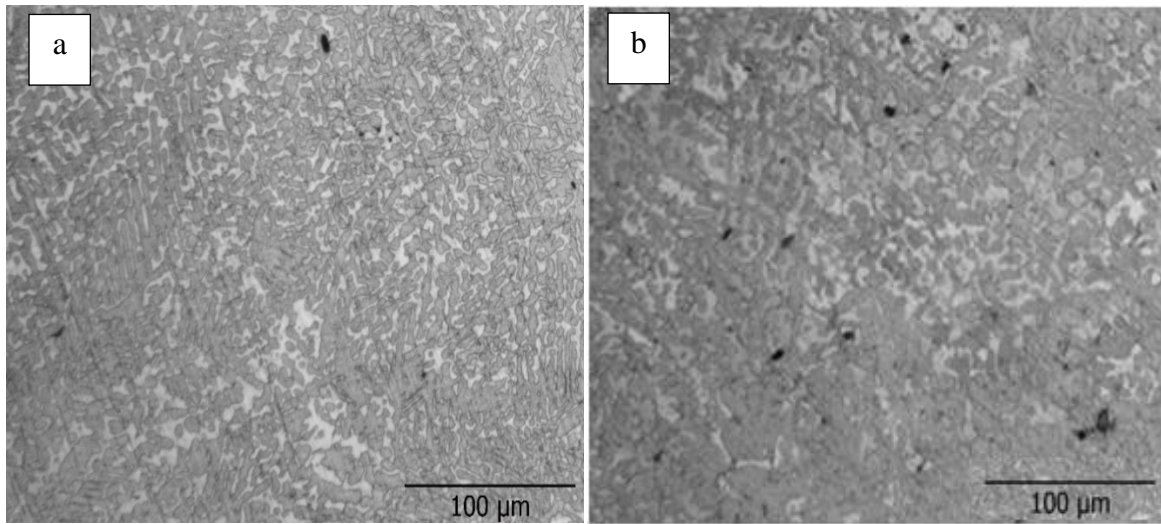


Şekil 4.1. a) ZA-12 alaşımı 100X döküm hali optik mikroskop görüntüsü b) ZA-12+4Ag alaşımı 100X döküm hali optik mikroskop görüntüsü

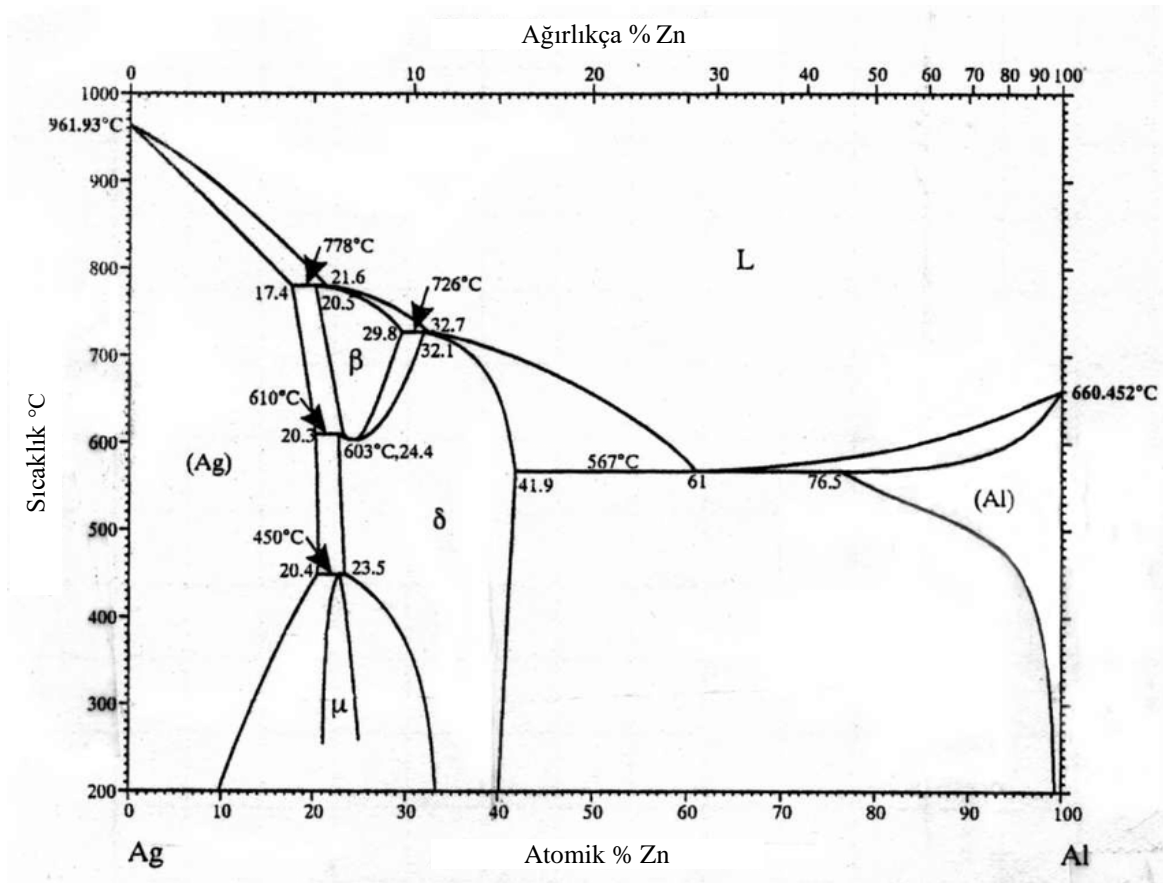


Şekil 4.2. a) ZA-12 alaşımı 500X döküm hali SEM görüntüsü b) ZA-12+4Ag alaşımı 500X döküm hali SEM görüntüsü

Çözeltiye alma işlemi sonrasında ZA-12 alaşımının mikroyapısında bulunan dentritlerin korunduğu ve ötektoid η fazının alanının büyüdüğü görülmüştür. Şekil 4.3.a ve 4.3.b incelendiğinde Gümüş, Alüminyum içerisinde belirli bir miktar çözünebilmektedir. Yapıya eklenen Gümüşün ötektoid bölge için yapıda alüminyum ile birlikte intermetallik bileşik olarak dentritlerin sınırlarında bulunmaktadır. ZA-12 alaşımında olduğu gibi ZA-12+4Ag alaşımında da dentritlerin korunduğu ve ötektoid η fazının alanının büyüdüğü görülmüştür.

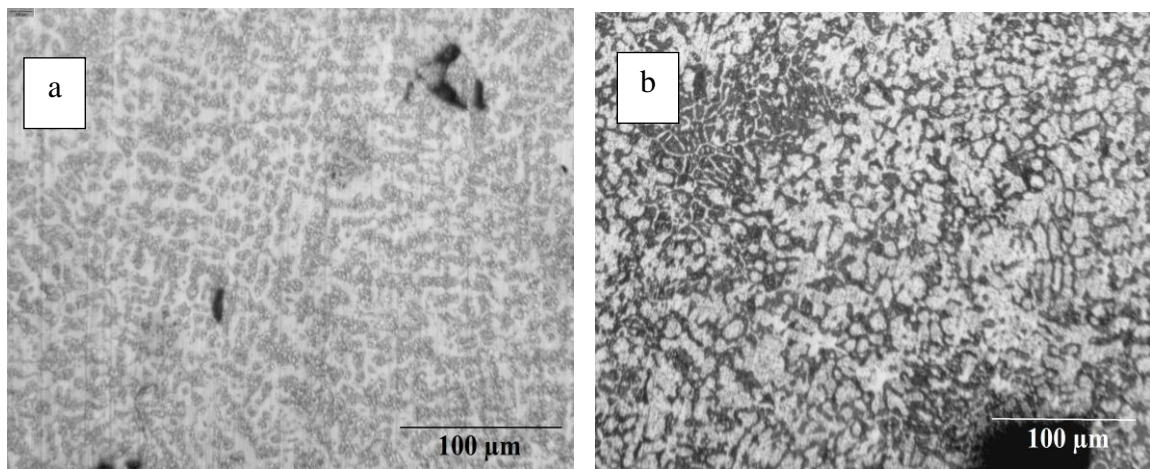


Şekil 4.3. a) ZA-12 100X çözeltiye alma işlemi görmüş hali optik mikroskop görüntüsü b) ZA-12+4Ag 100X çözeltiye alma işlemi görmüş hali optik mikroskop görüntüsü

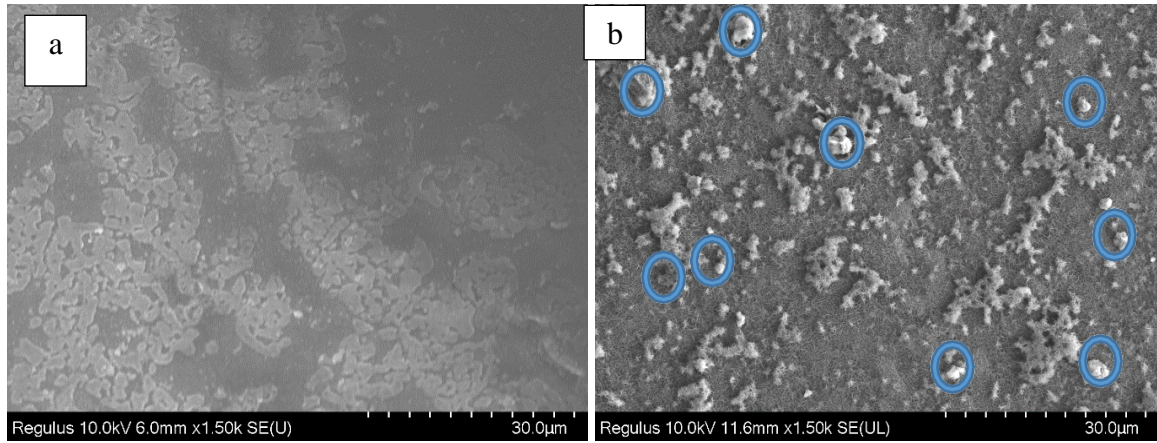


Şekil 4.4. Ag-Al faz diyagramı (Swan, 2006)

ZA-12 bazlı alaşımın yaşlandırma işlemi sonrasında mikroyapıdaki dentrit kollarin çözeltiye alma ısıl işlemine göre daha fazla kısaldığı ve ötektoid bölgenin arttığı görülmüştür (şekil 4.5 ve 4.6). ZA-12+4Ag alaşımında ise ötektoid bölgelerin arttığı ve Gümüşün yapıda çöktüğü bölgeler görülmektedir (şekil 4.4).



Şekil 4.5. a) ZA-12 alaşımı 100X yaşlandırma uygulanmış hali optik mikroskop görüntüsü
b) ZA-12+4Ag alaşımı 100X yaşlandırma uygulanmış hali optik mikroskop görüntüsü



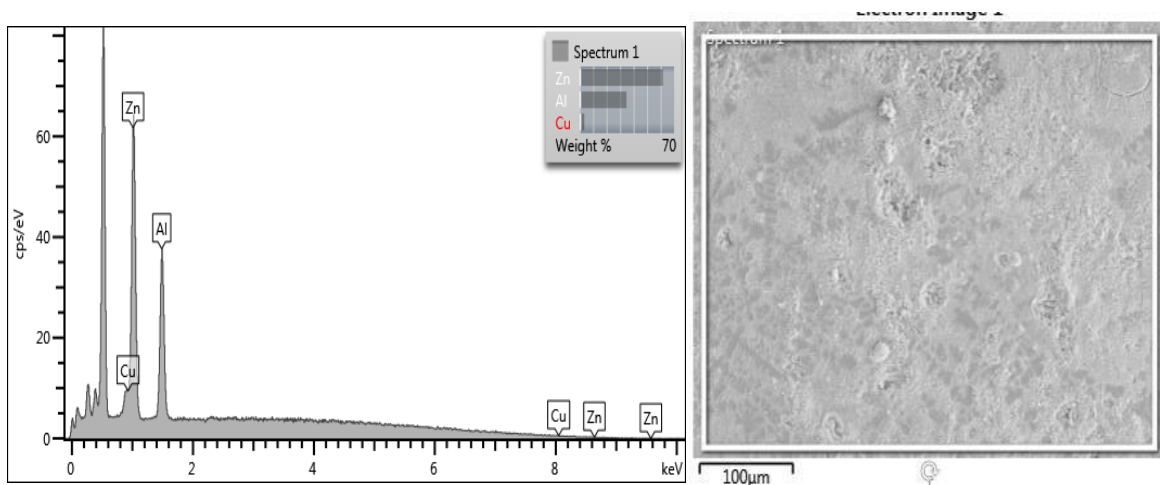
Şekil 4.6. a) ZA-12 alaşımı 1500X yaşlandırılmış hali SEM görüntüsü b) ZA-12+4Ag alaşımı 1500X yaşlandırılmış hali SEM görüntüsü

4.1.2. EDS incelemeleri

ZA-12 esaslı alaşım ve ZA-12 bazlı 4Ag eklentili alaşımların döküm ve yaşlandırma ısıl işlemi uygulanmış hallerinden dört farklı noktadan analiz gerçekleştirilmiştir. Genel analiz sonuçlarından sadece bir tanesi gösterilmiştir (çizelge 4.1, 4.2, 4.3 ve 4.4).

Çizelge 4.1. ZA-12 Döküm hali EDS analizi

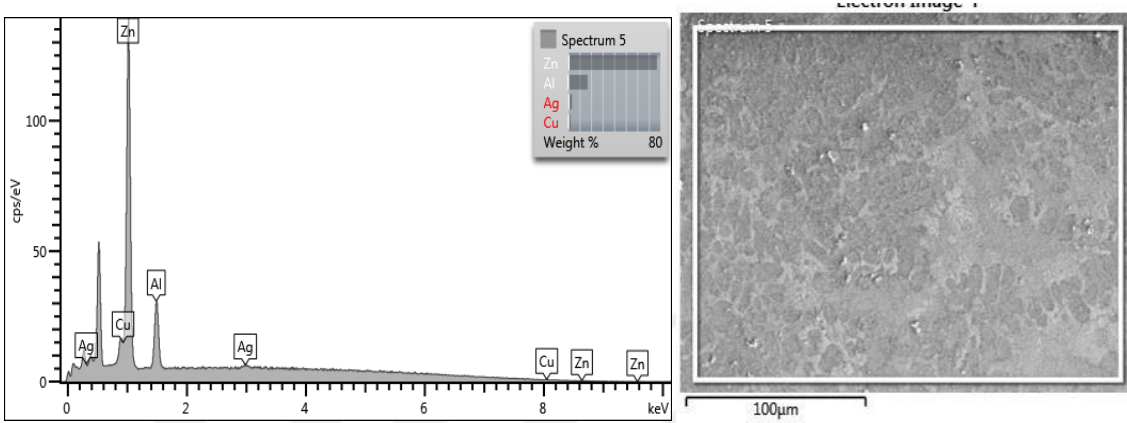
Element	Al	Cu	Zn	Ag	Total
Wt%	34,74	3,51	61,75	-	100
Wt% Sigma	0,45	0,57	0,54	-	



Şekil 4.7. ZA-12 Döküm EDS grafiği ve görüntü alındığı noktanın SEM resmi üzerinde gösterimi

Çizelge 4.2. ZA-12+4Ag Döküm hali EDS analizi

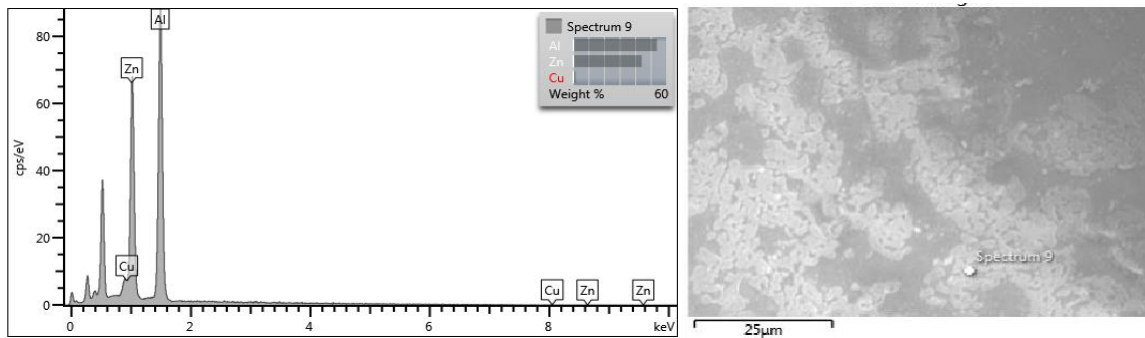
Element	Al	Cu	Zn	Ag	Total
Wt%	17,05	2,34	77,13	3,48	100
Wt% Sigma	0,3	0,46	0,7	0,68	

**Şekil 4.8.** ZA-12+4Ag Döküm EDS grafiği ve görüntü alındığı noktanın SEM resmi üzerinde gösterimi

ZA-12 bazlı ve Ag eklentili alaşımların döküm hallerindeki mikroyapılarında 3 farklı fazın bulunduğu görülmektedir (şekil 4.8). Yapıdaki Al miktarına bağlı olarak dentritlerin boyları değişmektedir.

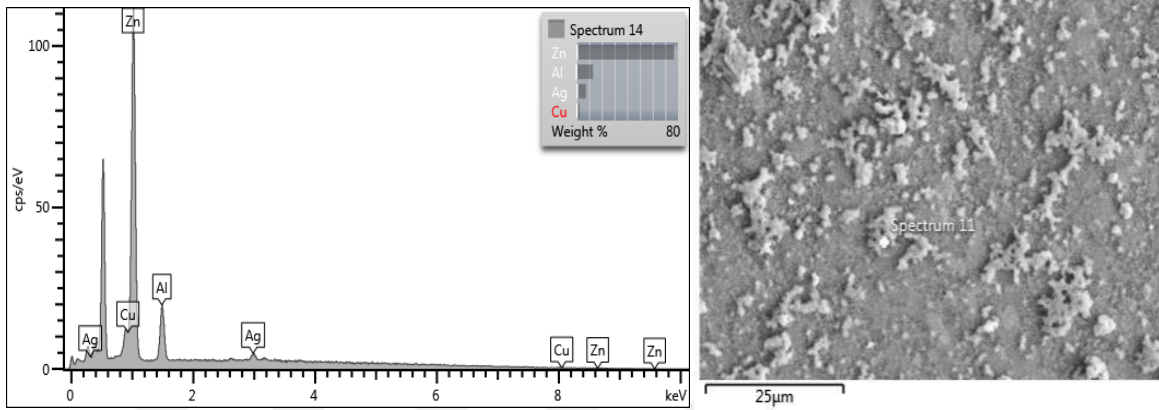
Çizelge 4.3. ZA-12 Yaşlandırılmış hali EDS analizi

Element	Al	Cu	Zn	Ag	Total
Wt%	54	1,8	44,2	-	100
Wt% Sigma	0,38	0,37	0,36	-	

**Şekil 4.9.** ZA-12 Yaşlandırılmış hali EDS grafiği ve görüntü alındığı noktanın SEM resmi üzerinde gösterimi

Çizelge 4.4. ZA-12+4Ag Yaşlandırılmış hali EDS analizi

Element	Al	Cu	Zn	Ag	Total
Wt%	6,36	2,05	91,26	0,34	100
Wt% Sigma	0,3	0,59	1,06	0,94	

**Şekil 4.10.** ZA-12+4Ag Yaşlandırılmış hali EDS grafiği ve görüntü alındığı noktanın SEM resimi üzerinde gösterimi

ZA-12 bazlı ve Ag eklentili alaşımların yaşlandırılmış hallerindeki mikroyapılarında 3 farklı fazın bulunduğu görülmektedir (Şekil 4.10). ZA-12+4Ag alaşımında Zn içeriği olarak zengin olduğu görülmektedir. ZA-12 alaşımındaki Al miktarına bağlı olarak yüksek miktarda dentrit kollar yapıda görülmektedir.

4.2. Mekanik Özelliklerin İncelenmesi

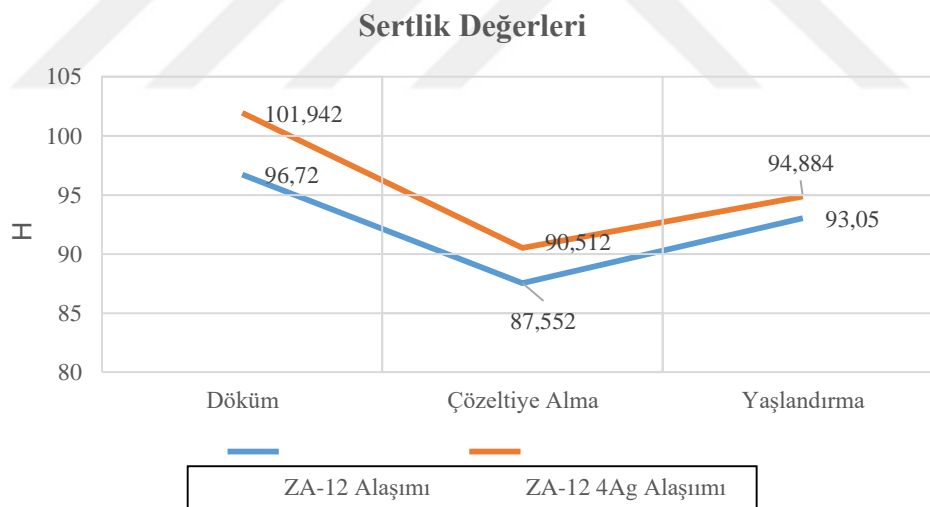
4.2.1. Sertlik testi değerlerinin incelenmesi

Sertlik ölçüm testleri ZA-12 bazlı ve Ag eklentili alaşımların döküm ve ısıl işlem uygulanmıştır. Sonuçlar çizelge 4.5'de gösterilmiştir. Sertlik değerleri numunelerin beşer farklı noktasından ölçülmüştür.

Çizelge 4.5. Sertlik değerleri (HV)

Döküm		Çözeltiye Alma		Yaşlandırma	
ZA-12	ZA-12+4Ag	ZA-12	ZA-12+4Ag	ZA-12	ZA-12+4Ag
109	102,62	86,11	90,24	97,17	97,17
97	100,87	87,21	88,9	89,17	92,14
93	105,52	88,62	91,24	90,64	93,98
94,6	100,18	87,49	90,64	94,6	94,29
90	100,52	88,33	91,5	93,67	96,84
Ortalama:	Ortalama:	Ortalama:	Ortalama:	Ortalama:	Ortalama:
97	102	88	91	93	95

Şekil 4.11'e göre ZA-12 alaşımına Ag eklentisinin alaşımın sertlik değerini arttırdığı görülmüştür. Çözeltiye alma ve yaşlandırma ısıl işlemleri alaşımın sertlik değerini düşürdüğü görülmüştür. Her bir ısıl işlem uygulamasında ZA-12 bazlı alaşıma Ag eklentisinin sertlik değerini arttırdığı gözlemlenmiştir.



Şekil 4.11. Sertlik değerleri

4.2.2. Basma testi değerlerinin incelenmesi

Basma testleri sonuçları çizelge 4.6'de belirtilmiştir.

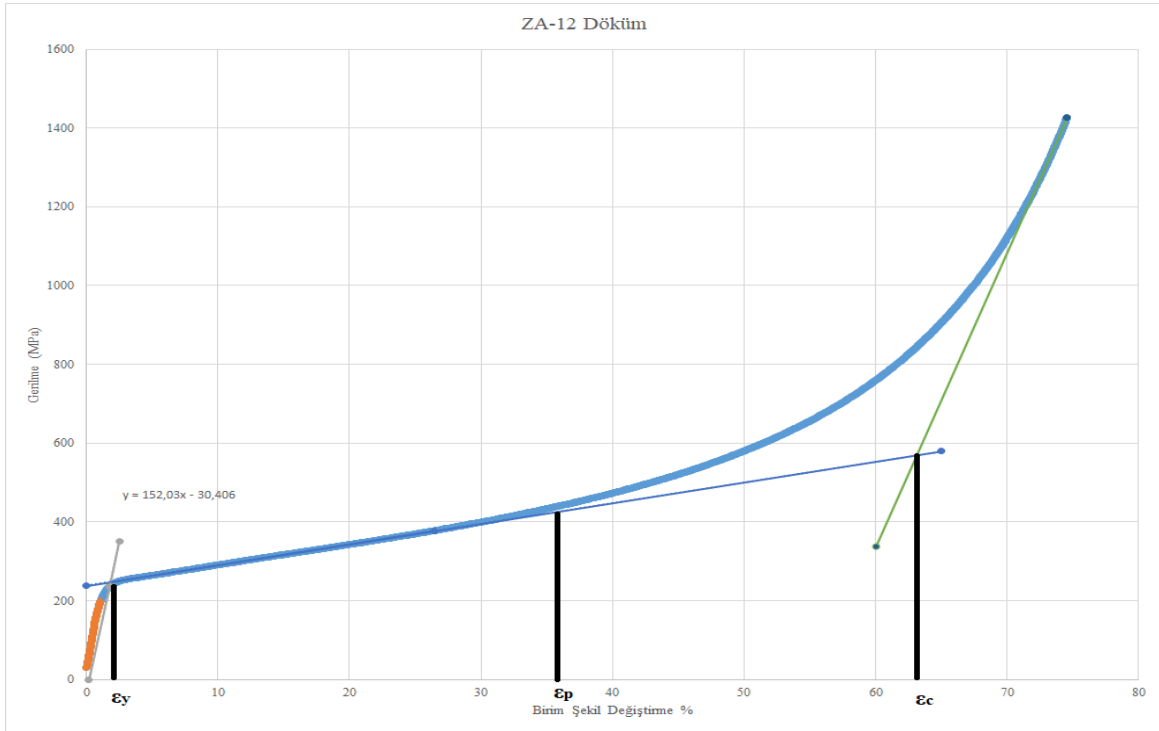
Çizelge 4.6. Basma test sonuçları

Alaşım Adı	Akma Mukavemeti		Sabit Plastik Deformasyon Hızı		ϵ_p , %	E, N/mm ²
	σ , MPa	ϵ_y , %	σ_C , MPa	ϵ_C , %		
ZA-12 Döküm	230	1,59	425	33,89	63	165
ZA-12+4Ag Döküm	282	1,61	602	44,28	60	268
ZA-12 Çözeltiye Alma	260	1,66	473	38	64	164
ZA-12+4Ag Çözeltiye Alma	302	1,8	438	31	58	189
ZA-12 Yaşlandırma	254	2,1	693	43,12	59	162
ZA-12 4 Ag Yaşlandırma	270	2,06	740	44,17	67	168

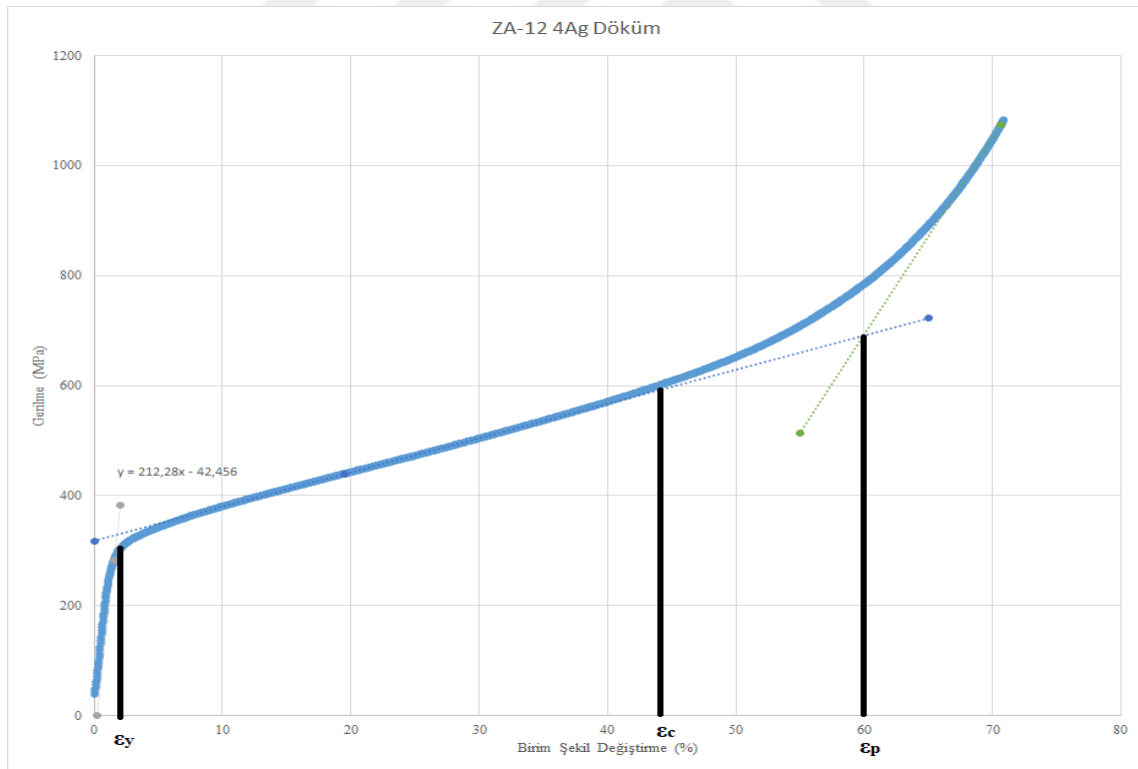
ZA-12 alaşımına %4 Ag ilavesi alaşımın akma mukavemetini arttırmaktadır. Çözeltiye alma ısıl işlemi ile akma mukavemetinin arttığı, yaşlandırma ısıl işlemi ile azaldığı görülmüştür. Yine de yaşlandırılmış alaşımların akma mukavemetleri döküm halinden daha yüksektir. Yaşlandırma sonucunda akma uzamalarında da bir miktar artış gözlemlenmiştir.

%4 Ag ilavesi alaşımın elastisite modülünün artışıyla sonuçlanmıştır. Uygulanan çözeltiye alma ve yaşlandırma ısıl işlemleri ZA-12 alaşımın elastisite modülünü pek etkilemezken %4 Ag ilave edilmiş alaşımın elastisite modülünde düşüşe neden olmuştur. Şekil 4.12, 4.13, 4.14, 4.15, 4.16 ve 4.17’de her bir alaşımın basma testi sonuçları gösterilmiştir.

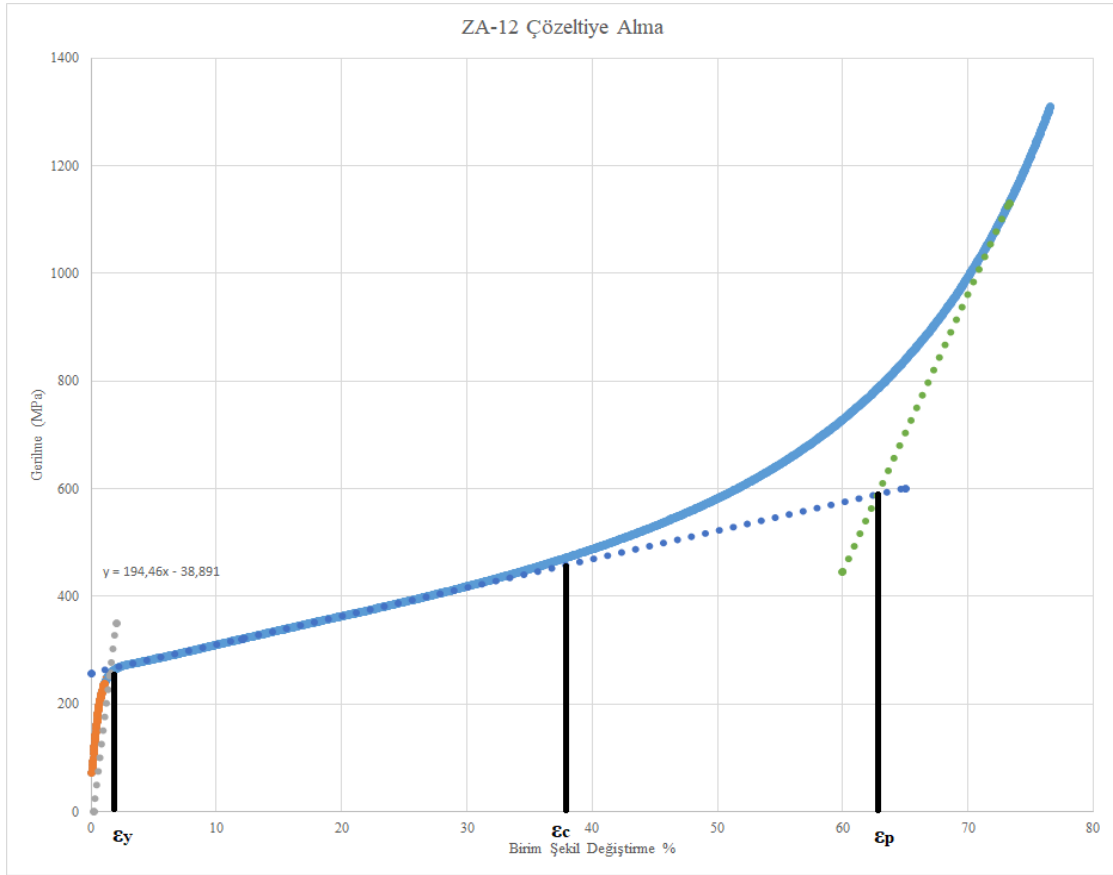
Homojen plastik deformasyonun sabit bir hızda olduğu bölgeler değerlendirildiğinde benzer bir durum olduğu tespit edilmiştir. Alaşıma %4 Ag ilave edilmesi alaşımın homojen plastik deformasyonunda artış ile sonuçlanmıştır.



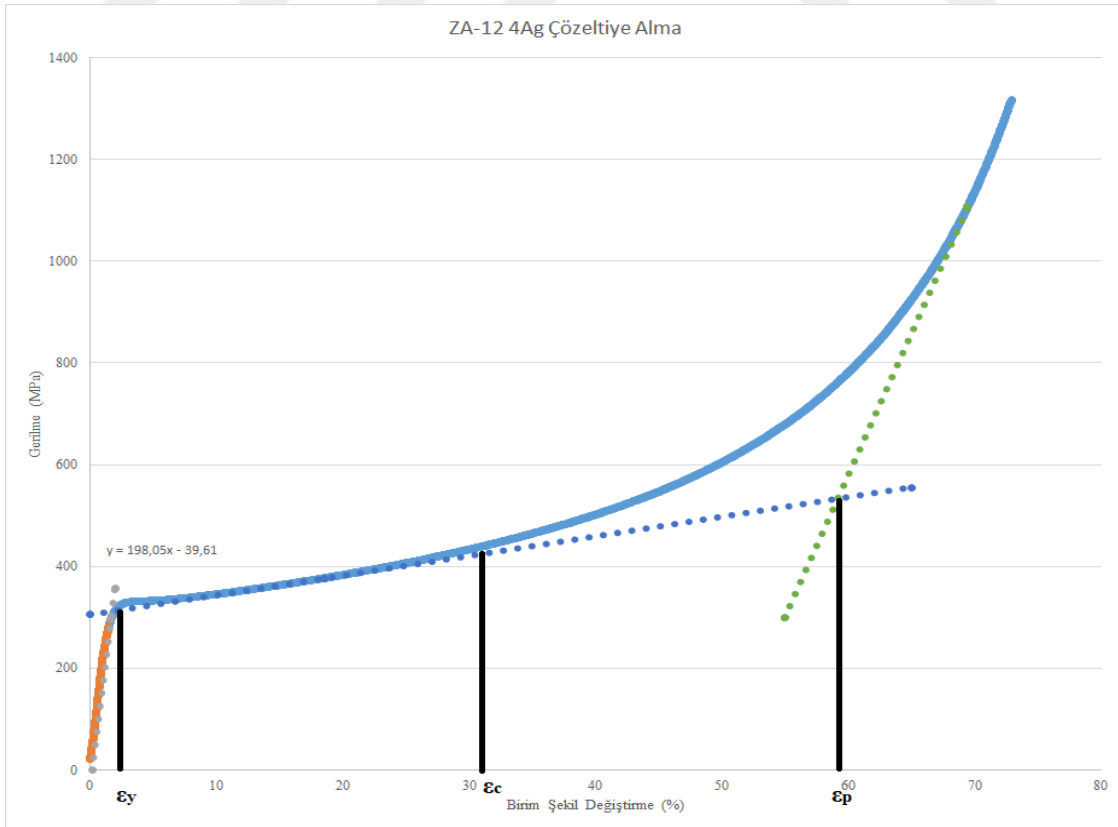
Şekil 4.12. ZA-12 Döküm alaşımı gerilme – birim şekil değiştirme grafiği



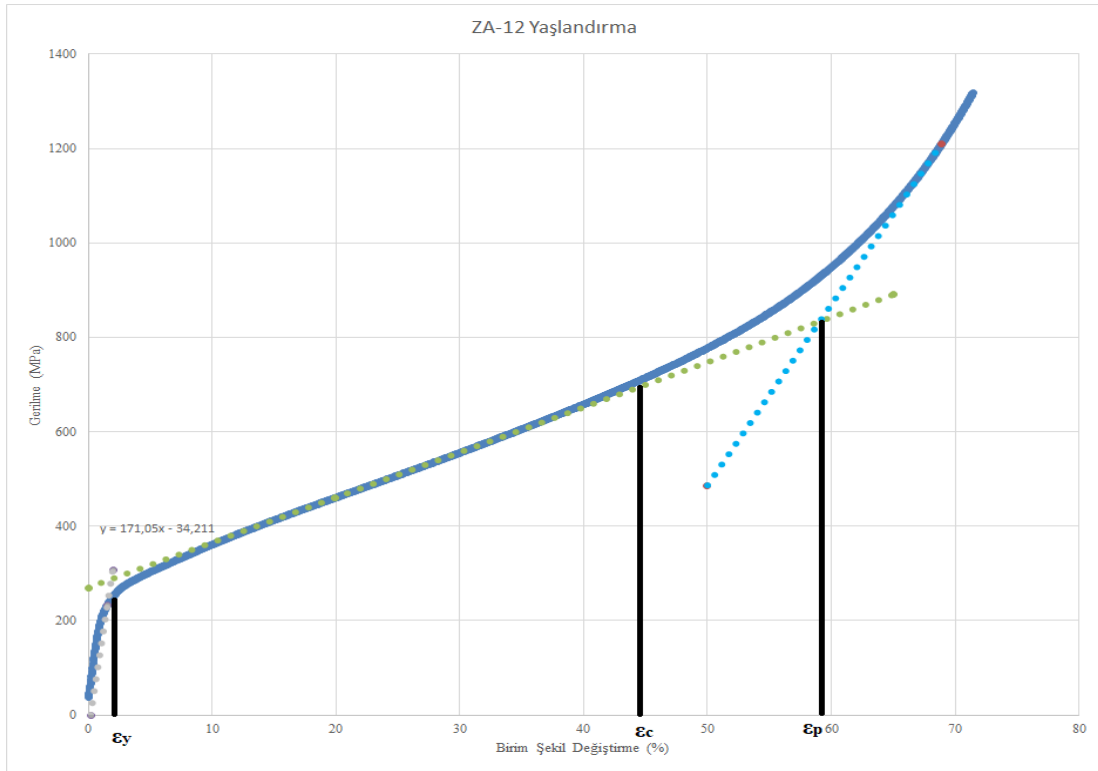
Şekil 4.13. ZA-12+4Ag Döküm alaşımı gerilme – birim şekil değiştirme grafiği



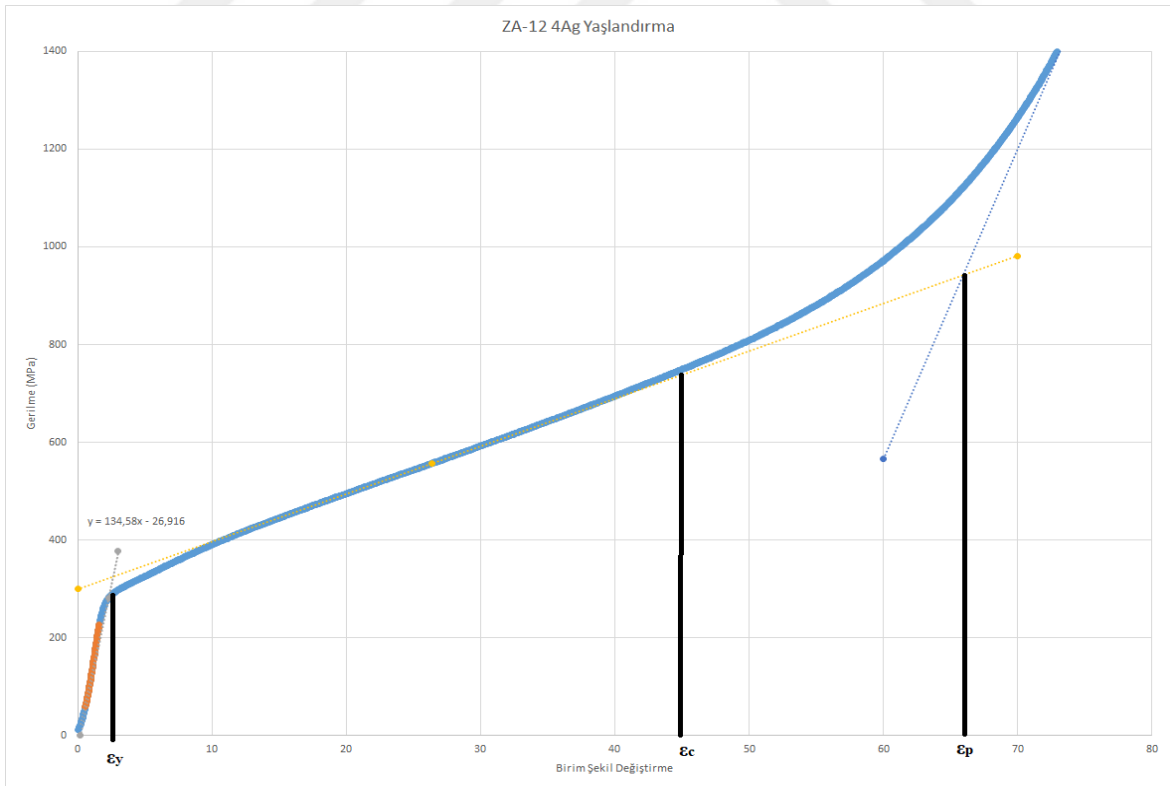
Şekil 4.14. ZA-12 Çözeltiyte alma alaşımı gerilme – birim şekil değiştirme grafiği



Şekil 4.15. ZA-12+4Ag Çözeltiyte alma alaşımı gerilme – birim şekil değiştirme grafiği



Şekil 4.16. ZA-12 Yaşlandırma alaşımı gerilme – birim şekil değıştirme grafiği

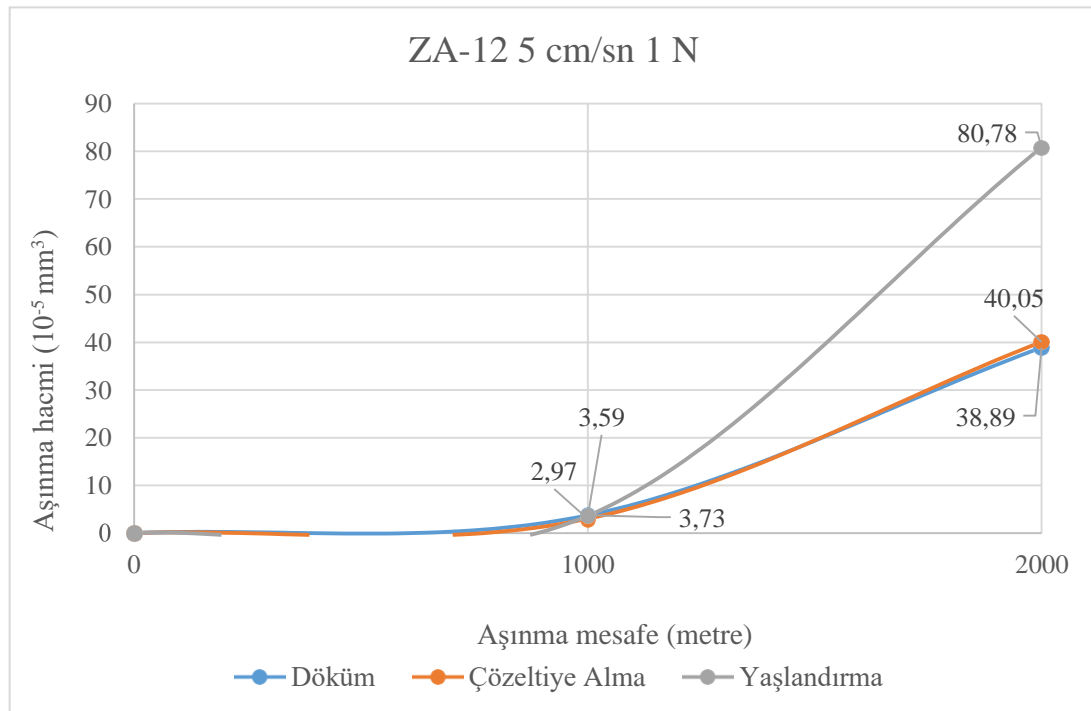


Şekil 4.17. ZA-12+4Ag Yaşlandırma alaşımı gerilme – birim şekil değıştirme grafiği

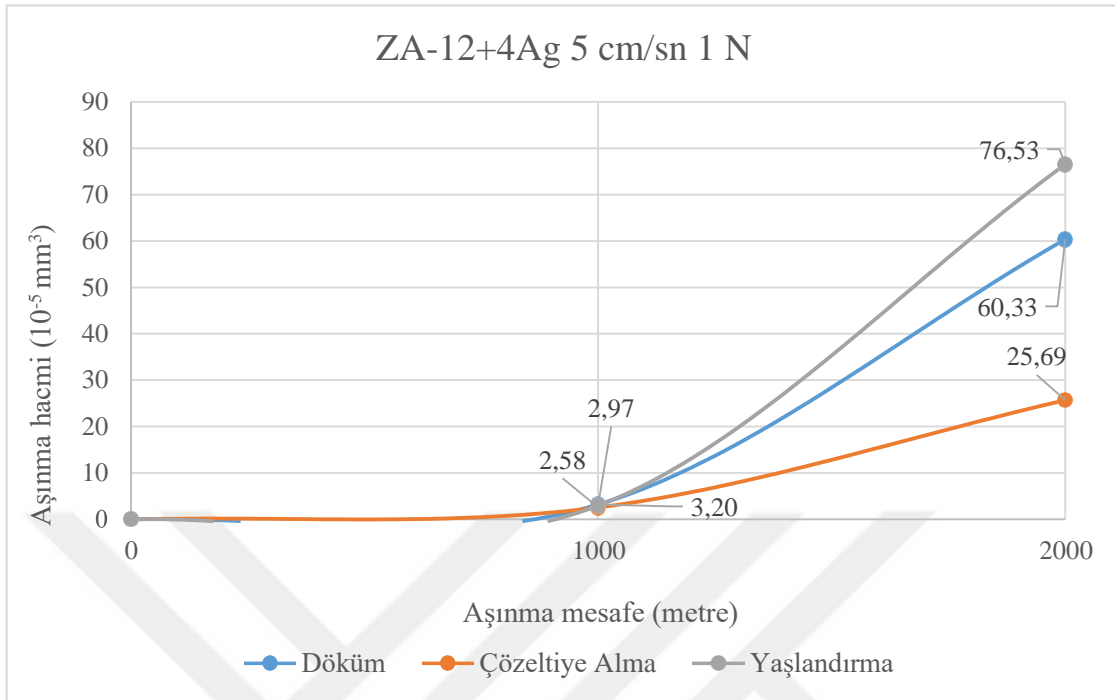
4.3. Aşınma Testi Değerlerinin İncelenmesi

2 farklı hız ve 2 farklı yük altında gerçekleşen test sonuçları aşağıda gösterilmiştir. ZA-12 baz alaşımı ve 4Ag eklentili alaşımın farklı yük ve hızdaki aşınma hacimlerinin 1000 ve 2000 metredeki sonuçları şekil 4.18'de gösterilmiştir.

ZA-12 alaşımın 5 cm/sn hız ve 1 N yük altındaki sonuçları (şekil 4.18 ve 4.19) için, 1000 metrede en düşük aşınma hacmini çözeltiliye alınma ısıl işlemi uygulanmış numunede görülmüştür. 2000 metrede ise döküm halinin en az aşınma hacmine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bu yük ve hızda alaşıma yaşlandırma ısıl işlemi uygulanmasının aşınma direncini düşürdüğü tespit edilmiştir. Şekil 4.18'te ZA-12 bazlı 4 Ag eklentili alaşımın 1000 metrede ZA-12 alaşımın göre daha az aşınma göstermektedir. 2000 metrede ZA-12 alaşımının ZA-12+4Ag alaşımına kıyasla gerçekleşen aşınma hacimi döküm haline kıyasla daha düşüktür. Fakat ısıl işlem uygulanmış durumda ZA-12+4Ag eklentili alaşımlar daha az aşınmıştır. Bu sürtünme koşullarında bütün alaşımlar artan parabolik bir aşınma hızı göstermiştir. Şekil 4.18 ve 4.19 incelendiğinde 4Ag ilavesiyle ZA-12 alaşımının aşınma direncinin arttığı görülmektedir. ZA12 4Ag alaşımına çözeltiliye alma ısıl işlemi uygulanarak en yüksek aşınma direncine ulaşabilmektedir.

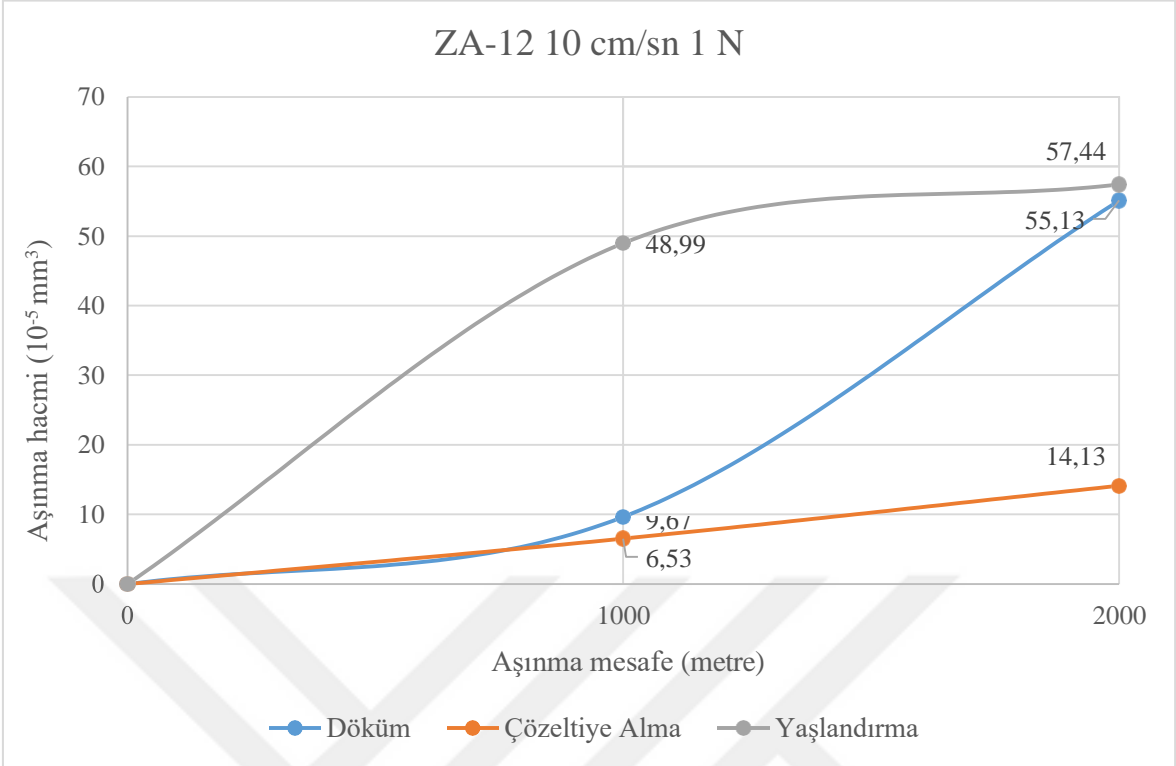


Şekil 4.18. ZA-12 Alaşımı 5 cm/sn hız ve 1N yük altında aşınma grafiği

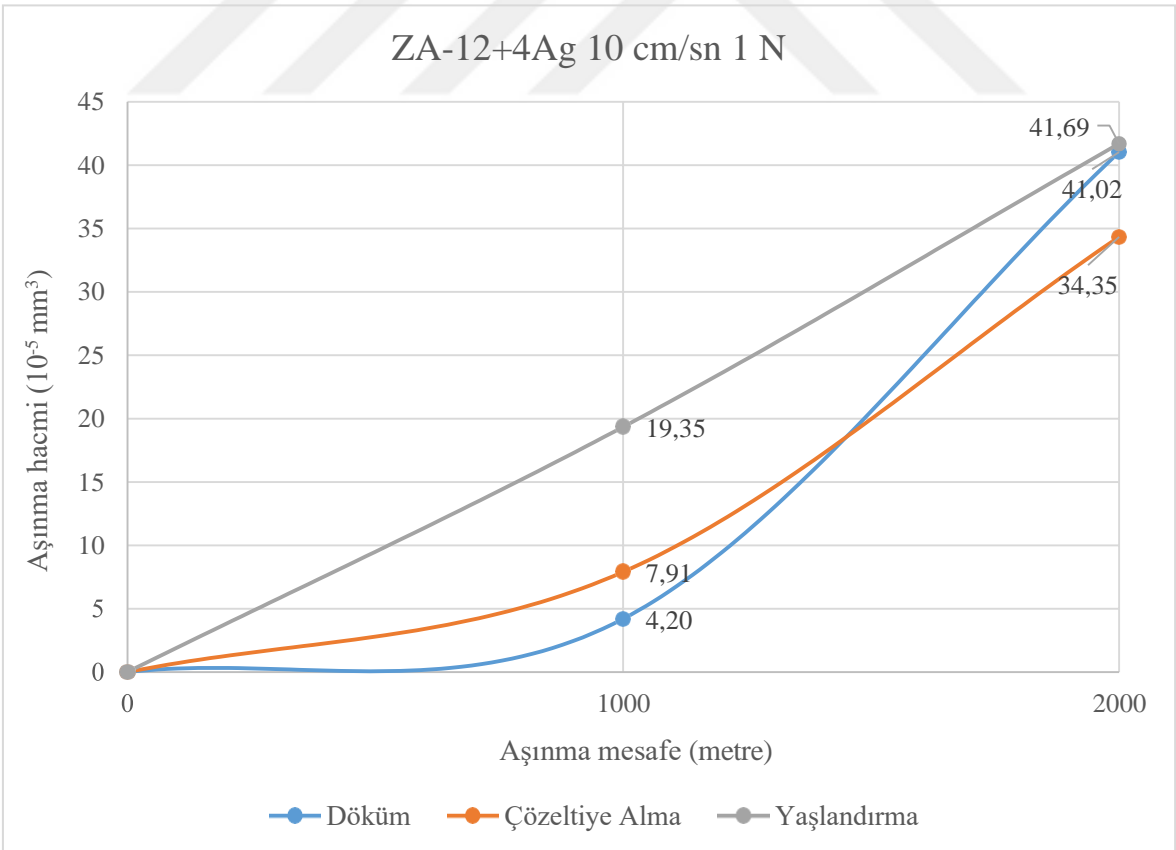


Şekil 4.19. ZA-12+4Ag Alaşımı 5 cm/sn hız ve 1N yük altında aşınma grafiği

10 cm/sn hız ve 1 N yük altında 1000 metre için gerçekleştirilen aşınma testlerinde (şekil 4.20 ve 4.21) Ag eklentisinin çözeltiliye alma ısıl işlemi hariç yaşlandırma ve döküm halinde aşınma miktarına olumlu etkisi olduğu görülmektedir. ZA-124 Ag alaşımı için 1000 metrede ısıl işlem uygulanması aşınma hacmini arttırdığı tespit edilmiştir. ZA-12 Alaşımı için 1000 metrede en düşük aşınma hacimi çözeltiliye alma ısıl işlemi uygulanmış numunede görülmüştür. 2000 metre için ZA-12 ve ZA-12+4Ag alaşımında en düşük aşınma hacmi çözeltiliye alma ısıl işlemi görmüş numunede görülmüştür. 2000 metre için ZA-12+4Ag alaşımında en düşük aşınma hacmi çözeltiliye alma ısıl işlemi görmüş numunede görülmüştür. 2000 metrede Ag eklentisinin sadece döküm halinde aşınma direncini arttırdığı, ısıl işlem görmüş numunelerde aşınma direncini azalttığı görülmüştür.

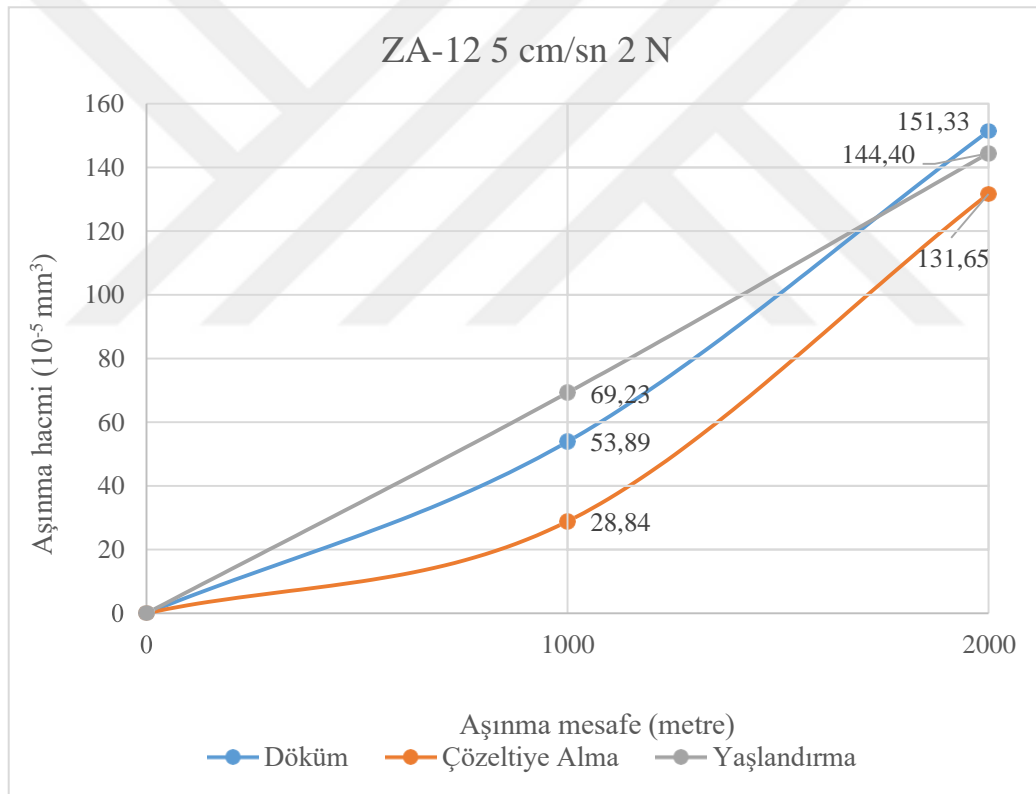


Şekil 4.20. ZA-12 Alaşımı 10 cm/sn hız ve 1N yük altında aşınma grafiği

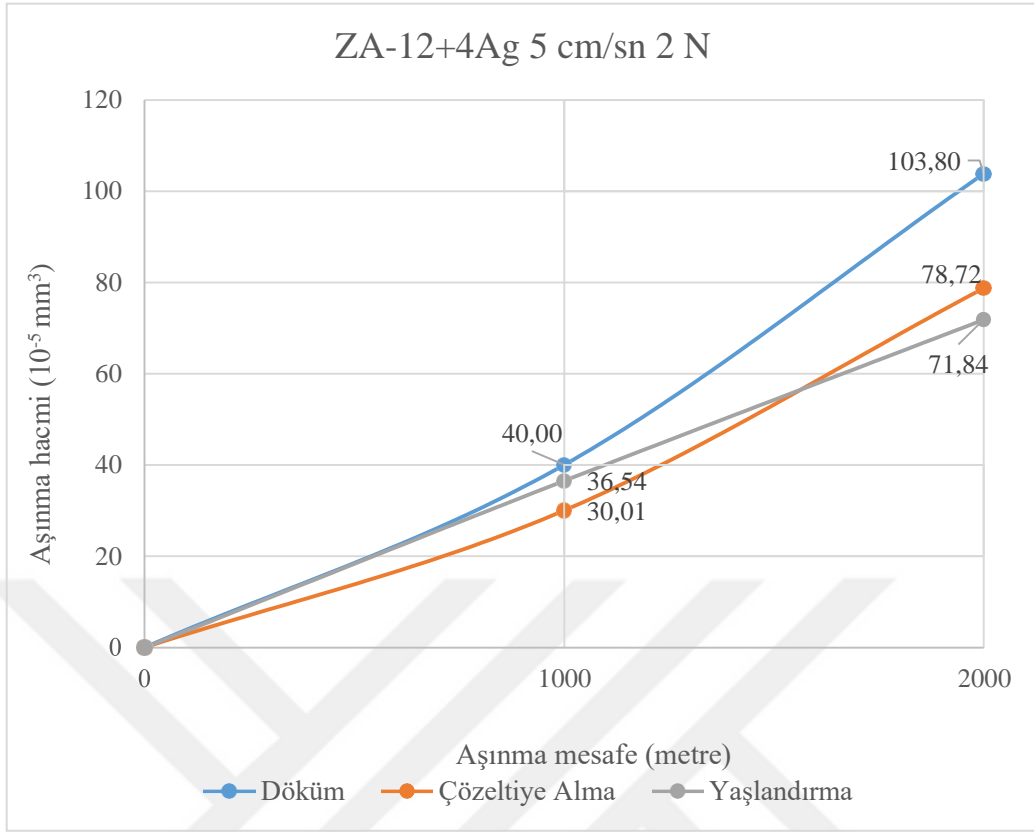


Şekil 4.21. ZA-12+4Ag Alaşımı 10 cm/sn hız ve 1N yük altında aşınma grafiği

5 cm/sn hız ve 2 N yük altında 1000 metre için gerçekleştirilen aşınma testlerinde (şekil 4.22 ve 4.23) Ag eklentisinin çözeltiliye alma ısıl işlemi hariç yaşlandırma ve döküm halinde aşınma miktarına olumlu etkisi olduğu görülmektedir. ZA-12+4Ag alaşımı için 1000 metrede ısıl işlem uygulanması aşınma hacmini azalttığı tespit edilmiştir. ZA-12 Alaşımı için 1000 metrede en düşük aşınma hacmi çözeltiliye alma ısıl işlemi uygulanmış numunede görülmüştür. 2000 metre için ZA-12 alaşımında en düşük aşınma hacmi çözeltiliye alma ısıl işlemi görmüş numunede görülmüştür. 2000 metre için ZA-12+4Ag alaşımında en düşük aşınma hacmi yaşlandırma ısıl işlemi görmüş numunede tespit edilmiştir. 2000 metrede Ag eklentisinin döküm, çözeltiliye alma ve yaşlandırma hallerinde aşınma hacmini azalttığı görülmüştür. 2000 metrede en düşük aşınma hacmi ZA-12 ve ZA-12+4Ag alaşımları için ZA-12+4Ag alaşımına çözeltiliye alma ısıl işlemi uygulanmış numunede görülmüştür.

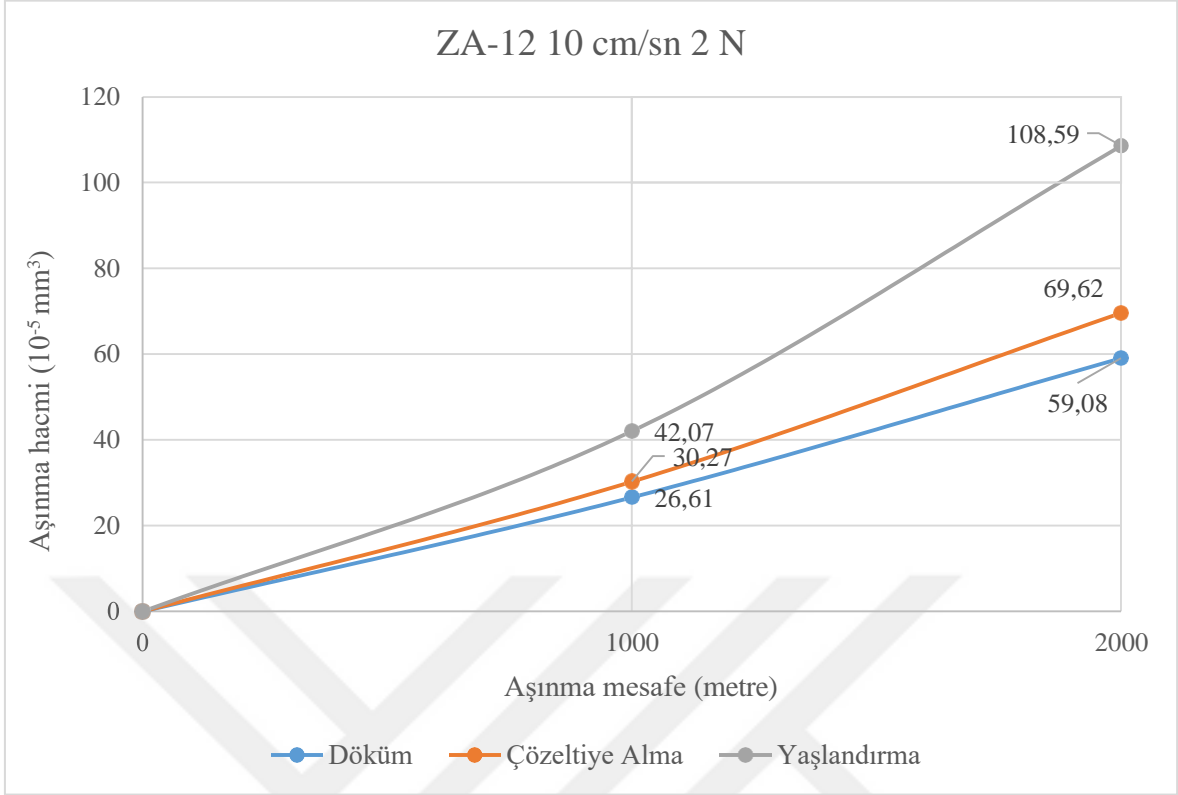


Şekil 4.22. ZA-12 Alaşımı 5 cm/sn hız ve 2N yük altında aşınma grafiği

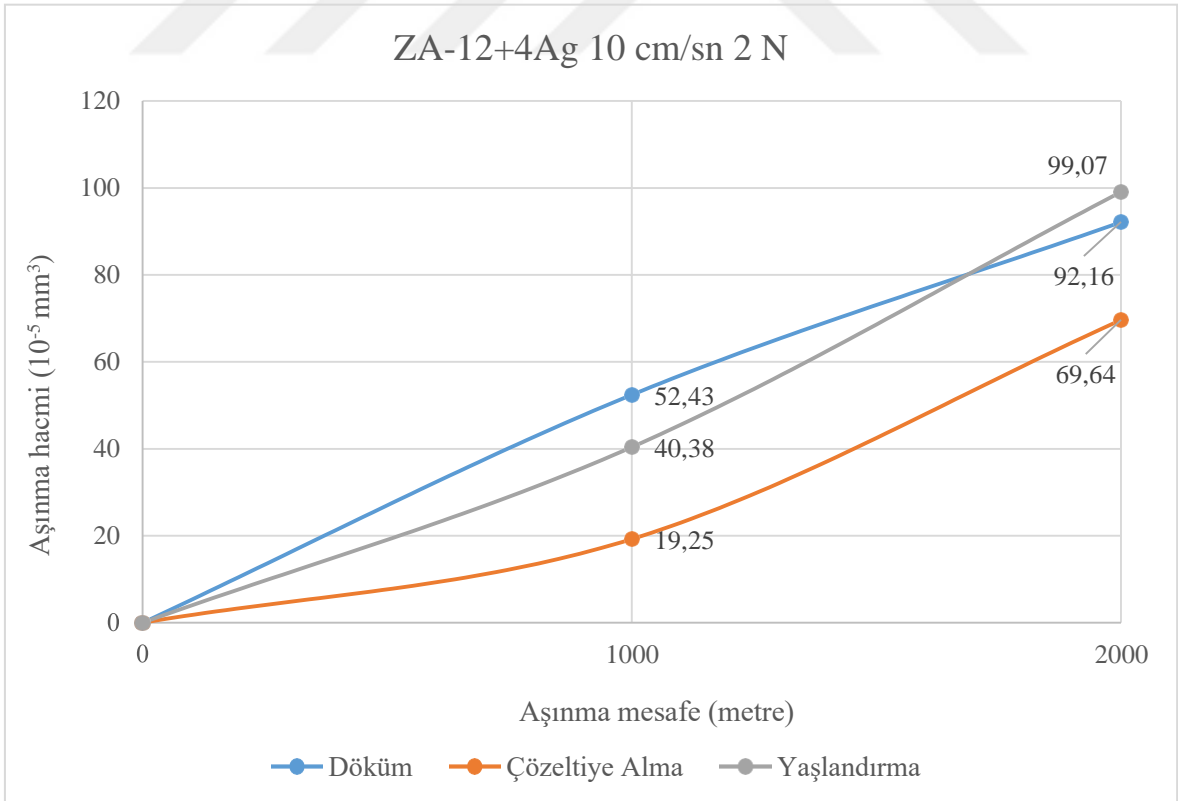


Şekil 4.23. ZA-12+4Ag Alaşımı 5 cm/sn hız ve 2N yük altında aşınma grafiği

10 cm/sn hız ve 2 N yük altında 1000 metre için gerçekleştirilen aşınma testlerinde (şekil 4.24 ve 4.25) Ag eklentisi ile çözeltiliye alma ve yaşlandırma ısıl işlemleri uygulanmış numuneler için aşınma hacminin düştüğü ve döküm halinde aşınma hacmini arttırdığı görülmektedir. ZA-12+4 Ag alaşımı için 1000 metrede ısıl işlem uygulanması aşınma hacmini azalttığı tespit edilmiştir. ZA-12 Alaşımı için 1000 metrede en düşük aşınma hacmi döküm halindeki numunede görülmüştür. ZA-12 Alaşımına ısıl işlem uygulamak aşınma hacmini arttırmaktadır. 2000 metre için ZA-12 alaşımında en düşük aşınma hacmi çözeltiliye alma ısıl işlemi görmüş numunede görülmüştür. 2000 metre için ZA-12+4Ag alaşımında en düşük aşınma hacmi çözeltiliye alma ısıl işlemi görmüş numunede tespit edilmiştir. 2000 metrede Ag eklentisinin döküm, çözeltiliye alma ve yaşlandırma hallerinde aşınma hacmini arttırdığı görülmüştür. 2000 metrede en düşük aşınma hacmi ZA-12 ve ZA-12+4Ag alaşımları için ZA-12 alaşımının döküm halidir.



Şekil 4.24. ZA-12 Alaşımı 10 cm/sn hız ve 2N yük altında aşınma grafiği



Şekil 4.25. ZA-12+4Ag Alaşımı 10 cm/sn hız ve 2N yük altında aşınma grafiği

Gerçekleştirilen aşınma test parametrelerinin sonucunda aşınma hacminin: aşınma hızı, Gümüş ilavesi ve uygulanan mesafeye bağlı olarak aşınma hacminin değiştiği gözlemlenmiştir. Çizelge 4.9 ve 4.10' da 2000 metredeki aşınma hacim miktarları gösterilmiştir.

Çizelge 4.7. 2000 metredeki aşınma hacim miktarları

	ZA-12 ($10^{-5} \cdot \text{mm}^3$)				ZA-12+4Ag ($10^{-5} \cdot \text{mm}^3$)			
	5 cm/sn 1N	5 cm/sn 2N	10 cm/sn 1N	10 cm/sn 2N	5 cm/sn 1N	5 cm/sn 2N	10 cm/sn 1N	10 cm/sn 2N
Döküm	38,69	151,33	55,13	59,08	60,33	103,8	41,02	92,16
Çözeltiye Alma	40,05	131,65	14,13	69,62	25,69	78,2	34,35	69,64
Yaşlandırma	80,78	144,4	57,44	108,59	76,53	71,84	41,69	99,07

Çizelge 4.7 incelendiğinde aşınma testi parametrelerinden olan yük arttıkça aşınma hacmi artarken, diğer bir parametre olan hız artarken aşınma hacminin artıp artmadığına dair bir genelleme yapılamaz. Genel olarak Ag ilavesi yapılan ZA-12 alaşımlarının, ZA-12 alaşımlarına kıyasla aşınma hacimleri daha düşüktür. Alaşımların döküm haline kıyasla genellikle çözeltiye alma ısıl işlemi uygulanmış alaşımların aşınma hacmi düşük olurken, yaşlandırma ısıl işlemi uygulanmış alaşımların aşınma hacmi daha yüksektir. Aşınma hızı ile aşınma direnci ters orantılıdır.

Düşük yük uygulanan test koşullarında döküm alaşımları arasında aşınma hacmi için en düşük değer, en düşük hızda test yapılmış ZA-12 alaşımı olmuştur. Çözeltiye alma ısıl işlemi yapılmış alaşımlarda ise en yüksek hızda test yapılmış ZA-12 alaşımı olmuştur. Yaşlandırma ısıl işlemi yapılmış alaşımlarda ise en yüksek hızda test yapılan ZA-12+4Ag alaşımı en düşük aşınma hacmi göstermiştir.

Yüksek yük uygulanan test koşullarında döküm alaşımları arasında aşınma hacmi için en düşük değer en yüksek hızda test yapılmış ZA-12 alaşımı olmuştur. Çözeltiye alma ısıl işlemi yapılmış alaşımlarda ise en yüksek hızda test yapılmış ZA-12 alaşımı olmuştur.

Yaşlandırma ısıl işlemi yapılmış alaşımlar arasında ise en düşük hızda test yapılan ZA-12+4Ag alaşımı için en düşük aşınma hacmi göstermiştir.

Düşük hız uygulanan test koşullarında döküm alaşımları arasında aşınma hacmi için en düşük değer en düşük yükte test yapılmış ZA-12 alaşımı olmuştur. Çözeltiye alma ısıl işlemi yapılmış alaşımlarda ise en düşük yükte test yapılmış ZA-12+4Ag alaşımı olmuştur. Yaşlandırma ısıl işlemi yapılmış alaşımlar arasında ise en yüksek yükte test yapılan ZA-12+4Ag alaşımı için en düşük aşınma hacmi göstermiştir.

Yüksek hız uygulanan test koşullarında döküm alaşımları arasında aşınma hacmi için en düşük değer en düşük yükte test yapılmış ZA-12+4Ag alaşımı olmuştur. Çözeltiye alma ısıl işlemi yapılmış alaşımlarda ise en düşük yükte test yapılmış ZA-12 alaşımı olmuştur. Yaşlandırma ısıl işlemi yapılmış alaşımlar arasında ise en yüksek yükte test yapılan ZA-12+4Ag alaşımı için en düşük aşınma hacmi göstermiştir.

Çizelge 4.8. 2000 metredeki aşınma hızı

	ZA-12 ($10^{-7} \cdot \text{mm}^3/\text{Nm}$)				ZA-12+4Ag ($10^{-7} \cdot \text{mm}^3/\text{Nm}$)			
	5 cm/sn 1N	5 cm/sn 2N	10 cm/sn 1N	10 cm/sn 2N	5 cm/sn 1N	5 cm/sn 2N	10 cm/sn 1N	10 cm/sn 2N
Döküm	1,715	7,5665	2,7565	2,954	3,0165	5,19	2,051	4,608
Çözeltiye Alma	2,0025	6,5825	0,7065	3,481	1,2845	3,91	1,7175	3,482
Yaşlandırma	4,039	7,22	2,872	5,4295	3,8265	3,592	2,0845	4,9535

Çizelge 4.8 incelendiğinde aşınma testi parametrelerinden olan yük arttıkça aşınma hızı artarken, diğer bir parametre olan hız artarken aşınma hızı azalmaktadır. Genel olarak Ag ilavesi yapılan ZA-12 alaşımlarının, ZA-12 alaşımlarına kıyasla aşınma hızları daha düşüktür. Alaşımların döküm haline kıyasla genellikle çözeltiye alma ısıl işlemi uygulanmış alaşımların aşınma hızı düşük olurken, yaşlandırma ısıl işlemi uygulanmış alaşımların aşınma hızı daha yüksektir.

Düşük yük uygulanan test koşullarında döküm alaşımları arasında aşınma hızı için en düşük değer, en düşük hızda test yapılmış ZA-12 alaşımı olmuştur. Çözeltiliye alma ısıl işlemi yapılmış alaşımlarda ise en yüksek hızda test yapılmış ZA-12 alaşımı olmuştur. Yaşlandırma ısıl işlemi yapılmış alaşımlarda ise en yüksek hızda test yapılan ZA-12+4Ag alaşımı en düşük aşınma hızı göstermiştir.

Yüksek yük uygulanan test koşullarında döküm alaşımları arasında aşınma hızı için en düşük değer en yüksek hızda test yapılmış ZA-12 alaşımı olmuştur. Çözeltiliye alma ısıl işlemi yapılmış alaşımlarda ise en yüksek hızda test yapılmış ZA-12 alaşımı olmuştur. Yaşlandırma ısıl işlemi yapılmış alaşımlar arasında ise en düşük hızda test yapılan ZA-12+4Ag alaşımı için en düşük aşınma hızı göstermiştir.

Düşük hız uygulanan test koşullarında döküm alaşımları arasında aşınma hızı için en düşük değer en düşük yükte test yapılmış ZA-12 alaşımı olmuştur. Çözeltiliye alma ısıl işlemi yapılmış alaşımlarda ise en düşük yükte test yapılmış ZA-12+4Ag alaşımı olmuştur. Yaşlandırma ısıl işlemi yapılmış alaşımlar arasında ise en yüksek yükte test yapılan ZA-12+4Ag alaşımı için en düşük aşınma hacmi göstermiştir.

Yüksek hız uygulanan test koşullarında döküm alaşımları arasında aşınma hızı için en düşük değer en düşük yükte test yapılmış ZA-12+4Ag alaşımı olmuştur. Çözeltiliye alma ısıl işlemi yapılmış alaşımlarda ise en düşük yükte test yapılmış ZA-12 alaşımı olmuştur. Yaşlandırma ısıl işlemi yapılmış alaşımlar arasında ise en yüksek yükte test yapılan ZA-12+4Ag alaşımı için en düşük aşınma hızı göstermiştir.

Her bir test parametresi için ortalama sürtünme katsayıları çizelge 4.9'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.9. Alaşımların ortalama sürtünme katsayıları

Isıl işlem durumu	ZA-12				ZA-12+4Ag			
	5 cm/sn 1N	5 cm/sn 2N	10 cm/sn 1N	10 cm/sn 2N	5 cm/sn 1N	5 cm/sn 2N	10 cm/sn 1N	10 cm/sn 2N
Döküm	0,18	0,79	0,4	0,78	0,33	0,44	0,42	0,75
Çözeltiye Alma	0,39	0,66	0,26	0,78	0,31	0,46	0,37	0,78
Yaşlandırma	0,38	0,61	0,38	0,67	0,36	0,34	0,34	0,46

Çizelge 4.9 incelendiğinde aşınma testi parametrelerinden olan yük arttıkça sürtünme katsayısı artarken, diğer bir parametre olan hız artarken sürtünme katsayısı artmaktadır. Genel olarak Ag ilavesi yapılan ZA-12 alaşımlarının, ZA-12 alaşımlarına kıyasla sürtünme katsayıları daha düşüktür. Farklı test koşullarında ısıl işlem uygulanmış alaşımların sürtünme katsayıları alaşımların döküm haline kıyasla genel olarak daha düşüktür.

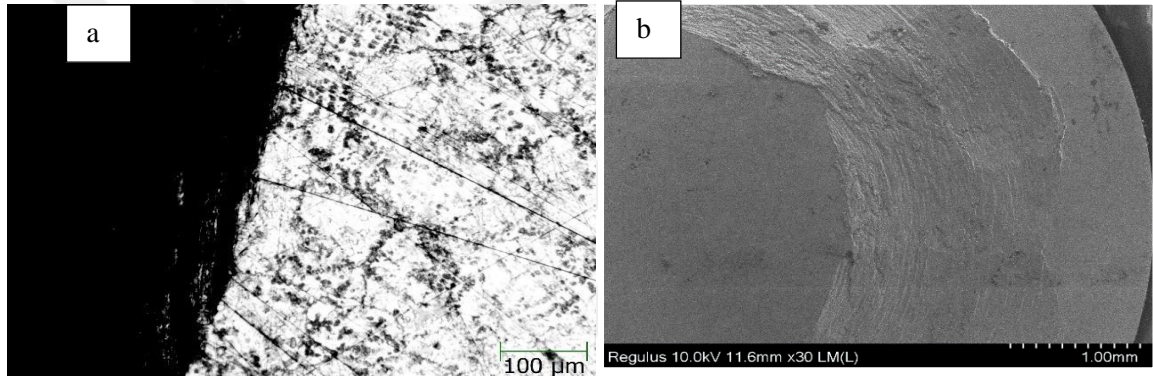
Düşük yük uygulanan test koşullarında döküm alaşımları arasında sürtünme katsayısı için en düşük değer, en düşük hızda test yapılmış ZA-12 alaşımı olmuştur. Çözeltiye alma ısıl işlemi yapılmış alaşımlarda ise en yüksek hızda test yapılmış ZA-12 alaşımı olmuştur. Yaşlandırma ısıl işlemi yapılmış alaşımlarda ise en yüksek hızda test yapılan ZA-12+4Ag alaşımı en düşük sürtünme katsayısı değerini göstermiştir.

Yüksek yük uygulanan test koşullarında döküm alaşımları arasında sürtünme katsayısı için en düşük değer en yüksek hızda test yapılmış ZA-12+4Ag alaşımı olmuştur. Çözeltiye alma ısıl işlemi yapılmış alaşımlarda ise en yüksek hızda test yapılmış ZA-12+4Ag alaşımı olmuştur. Yaşlandırma ısıl işlemi yapılmış alaşımlar arasında ise en düşük hızda test yapılan ZA-12+4Ag alaşımı için en düşük sürtünme katsayısı değerini göstermiştir.

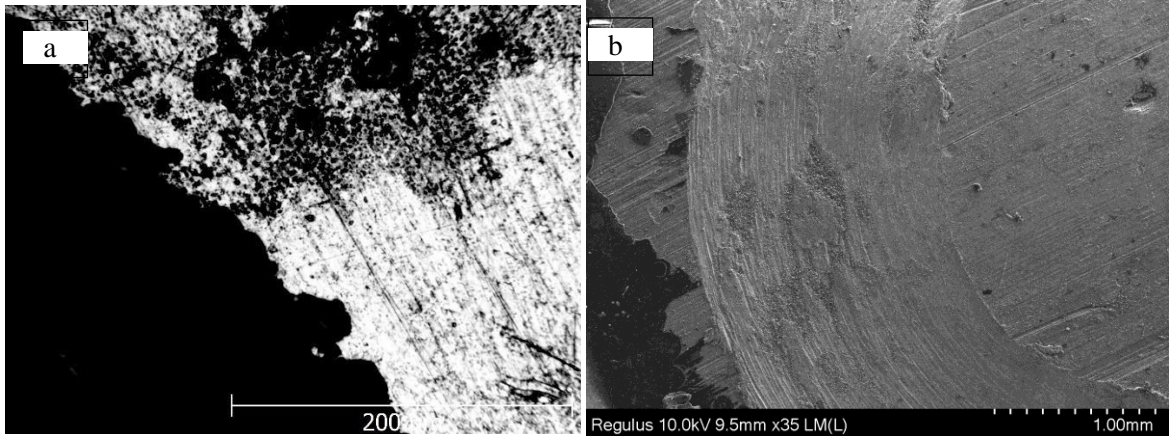
Düşük hız uygulanan test koşullarında döküm alaşımları arasında sürtünme katsayısı için en düşük değer en düşük yükte test yapılmış ZA-12 alaşımı olmuştur. Çözeltiye alma ısıl işlemi yapılmış alaşımlarda ise en düşük yükte test yapılmış ZA-12+4Ag alaşımı olmuştur. Yaşlandırma ısıl işlemi yapılmış alaşımlar arasında ise en yüksek yükte test yapılan ZA-12+4Ag alaşımı için en düşük sürtünme katsayısı değerini göstermiştir.

Yüksek hız uygulanan test koşullarında döküm alaşımları arasında aşınma hızı için en düşük değer en düşük yükte test yapılmış ZA-12 alaşımı olmuştur. Çözeltiye alma ısıl işlemi yapılmış alaşımlarda ise en düşük yükte test yapılmış ZA-12 alaşımı olmuştur. Yaşlandırma ısıl işlemi yapılmış alaşımlar arasında ise en düşük yükte test yapılan ZA-12+4Ag alaşımı için en düşük aşınma hızı göstermiştir.

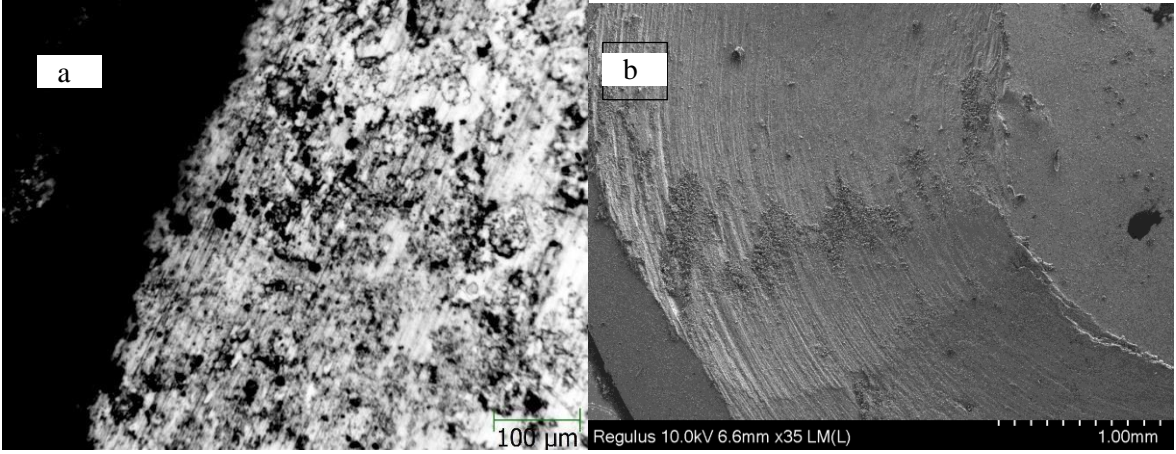
Aşınma mikroyapıları ve aşınma yüzeylerine dair görseller şekil 4.26, 4.27, 4.28 ve 4.29'da gösterilmiştir. Şekiller incelendiğinde aşınma testinin yük ve hız parametrelerinin aşınma hacimi üzerindeki etkisi görülmektedir. Yük ve hız arttıkça şekillerdeki alan büyümektedir.



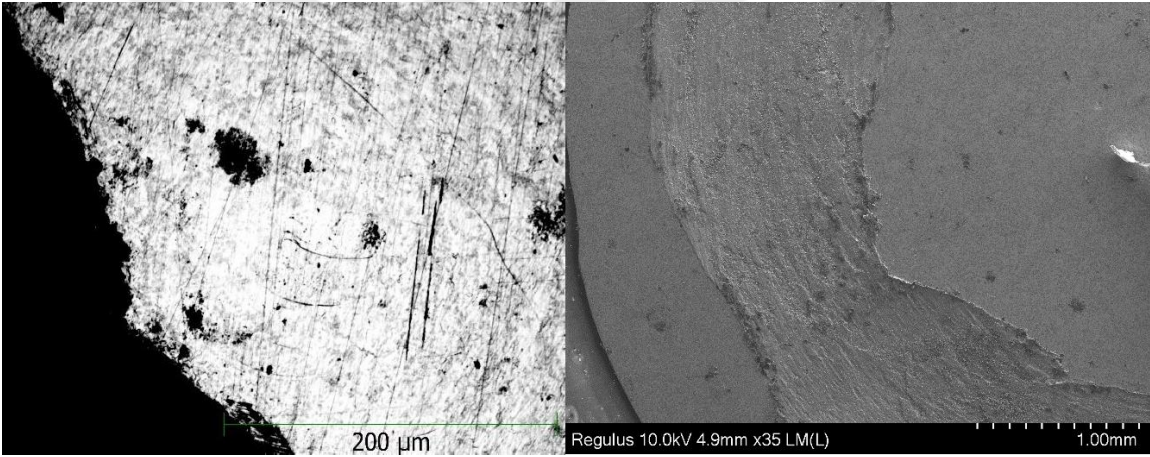
Şekil 4.26. a) ZA-12 alaşımı döküm hali aşınma yapılmış numunenin optik mikroskop görüntüsü **b)** ZA-12 alaşımı döküm hali aşınma yapılmış numunenin SEM görüntüsü



Şekil 4.27. a) ZA-12+4Ag alaşımı döküm hali aşınma yapılmış numunenin optik mikroskop görüntüsü **b)** ZA-12+4Ag alaşımı döküm hali aşınma yapılmış numunenin SEM görüntüsü



Şekil 4.28. a) ZA-12 alaşımı yaşlandırma ısıl işlemi görmüş hali aşınma yapılmış numunenin optik mikroskop görüntüsü **b)** ZA-12 alaşımı yaşlandırma ısıl işlemi görmüş hali aşınma yapılmış numunenin SEM görüntüsü



Şekil 4.29. a) ZA-12+4Ag alaşımı yaşlandırma ısıl işlemi görmüş hali aşınma yapılmış numunenin optik mikroskop görüntüsü **b)** ZA-12+4Ag alaşımı yaşlandırma ısıl işlemi görmüş hali aşınma yapılmış numunenin SEM görüntüsü

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Mekaniksel olarak değerlendirme gerçekleştirildiğinde Ag eklentisinin hem sertlik hem de akma dayanımını arttırdığı gözlemlenmiştir. Isıl işlem ile birlikte ZA12 alaşımının sertlik değeri azalmıştır. Yaşlandırma ısıl işlemi ile birlikte akma dayanımının azaldığı ve çözeltiye alma ısıl işlemi ile birlikte akma dayanımının arttığı gözlemlenmiştir. Ag eklentisinin elastisite modülünün artışına etkisi olurken, ısıl işlemin elastisite modülüne net bir etkisi gözlemlenmemiştir.

Genellikle aşınma test koşullarından olan hız parametresi arttıkça aşınma direnci azalmaktadır. Aşınma hızı ile aşınma hacmi doğru orantı göstermiştir. Aşınma direnci Ag eklentisi ile birlikte genel olarak azalmaktadır. Yük arttıkça aşınma direnci azalmaktadır. Çözeltiye alma işlemi uygulanmış ZA12+4Ag alaşımın döküm haline kıyasla aşınma direnci artarken, yaşlanması ısıl işlemi ile birlikte azalmaktadır. Isıl işlem uygulanmış tüm alaşımlar için genel olarak aşınma direnci azalmaktadır. Aşınma hızı ile sürtünme katsayısı arasında genel olarak benzer bir ilişki mevcuttur.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Abou El-Khair M.T., Daoud A., & Ismail A. (2004). Effect of different Al contents on the microstructure, tensile, and wear properties of Zn-based alloy. *Materials Letters*, 58, 1754-1760.
- Arici, G., Acarer, M., & Uyaner, M. (2021). Effect of Co addition on microstructure and mechanical properties of new generation 3Cr-3W and 5Cr-3W steels. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 24(4), 974-989.
- Ayday, A. (2018). Çinko-Alüminyum esaslı ZA-12 alaşımının mikroyapı ve darbe dayanımına bor elementinin etkisi. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 20(1), 243-249.
- AYDIN, Y. (2008). Çinko-Alüminyum esaslı ZA-12 alaşımına Cr ilavesinin mikroyapı ...ve mekanik özelliklere etkisinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, 94 s
- CELIK YUREK, I., BAKSAN, B., & TORUN, O. (2020). Microstructural Evolution and Mechanical Properties of Mg Added ZA-12 Alloy. *The Eurasia Proceedings of Science Technology Engineering and Mathematics*, 11, 57-63.
- CELIK YUREK, I., TORUN, O., & BAKSAN, B. (2020). The Effect of Si Addition on the Microstructure and Mechanical Properties of ZA-12 Alloy. *The Eurasia Proceedings of Science Technology Engineering and Mathematics*, 11, 167-173.
- CELIK YUREK, İ., & TORUN, O. (2019). Effect of stirring on the microstructure and mechanical properties of zamak-12 alloy. *The Eurasia Proceedings of Science Technology Engineering and Mathematics*, 7, 136-140.
- Chen, Y. (1994). Effect of RE elements on the structure and impact toughness of sand-cast Zn-12% Al alloy. *Journal of alloys and compounds*, 206(2), 169-173.
- Dominguez, C., Lopez, M. M., & Rios-Jara, D. (2002). The influence of manganese on the microstructure and the strength of a ZA-27 alloy. *Journal of materials science*, 37(23), 5123-5127.
- Gervais, E., Barnhurst, R. J., & Loong, C. A. (1985). An analysis of selected properties of ZA alloys. *Jom*, 37(11), 43-47.
- GOLDAK, G.R. and PARR, J. (1964). High temperature x-ray diffractometer study of the zinc-aluminium system in the region 40-75 wt% zinc. *Journal of the Institute of Metals*, 92: 230-233.
- Jianhua, W., Xiande, W., Hao, T., & Xuping, S. (2011). Effects of titanium on microstructure and mechanical properties of ZZnAl4Y alloy. *China Foundry*, 4, 397-400.
- Kurnaz, S. C., Sevik, H., Türk, A., & Ozsarac, U. (2006). The Effect of Ti-B and Sr on the mechanical behaviour of the Zinc-Aluminum-based ZA-12 alloy produced by gravity casting. *International journal of materials research*, 97(8), 1152-1157.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Liu, Z., Li, R., Jiang, R., Li, X., & Zhang, M. (2016). Effects of Al addition on the structure and mechanical properties of Zn alloys. *Journal of Alloys and Compounds*, 687, 885-892.
- Lolov, M., Djulgerov, N., & Gyurov, S. (2016). Study of the peculiarities of the Zn-Mn phase diagram and their effect on the superplastic behavior of fine-grained Zn-Mn alloys. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 25(9), 3838-3844.
- Moser, Z., & Heldt, L. A. (1992). The Cr-Zn (chromium-zinc) system. *Journal of phase equilibria*, 13(2), 172-176.
- Okamoto, H. (2008). Ti-Zn (Titanium-Zinc). *Journal of Phase Equilibria and Diffusion*, 29(2), 211-212.
- Pelton, A. D. (1991). The Li-Zn (lithium-zinc) system. *Journal of phase equilibria*, 12(1), 42-45.
- Polat, B. D. (2017), Zamak alaşımı nedir ? Zamaktan nasıl para kazanılır ?, https://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi159/d159_3445.pdf, erişim tarihi: 08.01.2022
- Prasad B.K., Patwardhan A.K., Yegneswaran A.H. (1996). Dry sliding wear characteristic of some zincaluminum alloys: a comparative study with a conventional bearing bronze at a low speed. *Wear*, 199,142-151.
- Rohatgi, P. K. (1980). Fluidity of mica particle dispersed aluminium alloy. *Journal of Materials Science*, 15(11), 2777-2784.
- Savaşkan T., Hekimoğlu A.P. (2014). Microstructure and mechanical properties of Zn-15Al-based ternary and quaternary alloys. *Materials Science and Engineering A*, 603, 52- 57.
- Savaşkan, T., Pürçek, G., & Murphy, S. (2002). Sliding wear of cast zinc-based alloy bearings under static and dynamic loading conditions. *Wear*, 252(9-10), 693-703.
- Swan-Wood, T. L. (2006). Vibrational entropy contributions to the phase stability of iron-and aluminum-based binary alloys. *California Institute of Technology*.
- Şevik, H. (2014). The effect of silver on wear behaviour of zinc–aluminium-based ZA-12 alloy produced by gravity casting. *Materials characterization*, 89, 81-87.
- Türk, A., Durman, M., & Kayali, E. S. (2007). The effect of manganese on the microstructure and mechanical properties of zinc–aluminium based ZA-8 alloy. *Journal of materials science*, 42(19), 8298-8305.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Türk A., Kurnaz C., Çevik H. (2007). Comparison of the wear properties of modified ZA-8 alloys and conventional bearing bronze. *Materials and Design*, 28, 1889-1897.
- Uğur, A. (1998). Basınçlı Döküm Yöntemiyle Üretilen Zn-al Alaşımlarının Mikroyapıları İle Mekanik Ve Korozyon Özelliklerine Alaşım Elementlerinin Etkisi (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Vander Voort, G. F., Lampman, S. R., Sanders, B. R., Anton, G. J., Polakowski, C., Kinson, J., ... & Scott Jr, W. W. (2004). ASM handbook. *Metallography and microstructures*, 92, 44073-0002.
- Wang, F., Xiong, B., Zhang, Y., Liu, H., Li, Z., Li, X., & Qu, C. (2012). Effect of Cu addition on microstructure and corrosion behavior of spray-deposited Zn-30Al alloy. *Materials Science and Engineering: A*, 532, 100-105.
- Wu, Z., Sandlöbes, S., Wu, L., Hu, W., Gottstein, G., & Korte-Kerzel, S. (2016). Mechanical behaviour of Zn-Al-Cu-Mg alloys: Deformation mechanisms of as-cast microstructures. *Materials Science and Engineering: A*, 651, 675-687.
- Yan, S., Xie, J., Liu, Z., Wang, W., Wang, A., & Li, J. (2010). Influence of different Al contents on microstructure, tensile and wear properties of Zn-based alloy. *Journal of Materials Science & Technology*, 26(7), 648-652.
- Zhou, P. (2017). An in situ kinetic investigation of the selective dissolution mechanism of Cu alloys (Doctoral dissertation, Université Pierre et Marie Curie-Paris VI).
- Zhou, W. B., Liu, C. Y., Yu, P. F., Zhang, B., Ma, Z. Y., Luo, K., ... & Liu, R. P. (2017). Effect of scandium on microstructure and mechanical properties of high zinc concentration aluminum alloys. *Materials Characterization*, 127, 371-378