

Zn-15Al-3Cu-(0,5-3)Si alaşımlarının yağlı çalışma koşullarındaki sürtünme ve aşınma özelliklerinin incelenmesi

Ali Paşa Hekimoğlu^{1*}, Temel Savaşkan²

¹Makina Mühendisliği Bölümü, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Rize, Türkiye

²Makine Mühendisliği Bölümü, Haliç Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

*Sorumlu Yazar: ali.hekimoglu@erdogan.edu.tr

⁺Konuşmacı: ali.hekimoglu@erdogan.edu.tr

Sunum/Sayfa Türü: Sözlü/Tam Metin

Özet – Bu çalışmada, silisyum oranları %0,5 ile %3 arasında yer alan altı adet Zn-15Al-3Cu-Si alaşımı kokil döküm yöntemiyle üretildi. Silisyum oranının üretilen alaşımların yapısal, mekanik ve tribolojik özelliklerine etkileri araştırıldı. Alaşımların içyapıları taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve enerji dispersif spektrometresi (EDS) yardımıyla incelendi. Sertlikleri Rockwell F yöntemi ile ölçüldü. Mukavemet ve süneklik değerleri ise çekme deneyi yardımıyla belirlendi. Sürtünme ve aşınma deneyleri blok-disk esaslı bir deney düzeneğinde gerçekleştirildi. Zn-15Al-3Cu-(0,5-3)Si alaşımlarının içyapılarının β , ötektik $\beta + \eta$, ötektoid $\alpha + \eta$ ve ϵ fazları ile birincil silisyum parçacıklarından oluştuğu gözlemlendi. Alaşımların silisyum oranının %1 'i aşması durumunda, birincil silisyum parçacıklarının yapı içerisinde rastgele kümelenedikleri görüldü. Alaşımların sertlik değerleri artan silisyum oranı ile sürekli artarken, kopma uzaması değerlerinin sürekli azaldığı; çekme dayanımı değerinin ise %1 Si oranına kadar az da olsa bir artış sergiledikten sonra azaldığı gözlemlendi. Zn-15Al-3Cu-(0,5-3)Si alaşımlarının sürtünme katsayısı, çalışma sıcaklığı ve hacim kaybı değerlerinin deneylerin başlangıç aşamasında hızlı bir artış gösterdikten sonra kararlı durumlara ulaştıkları gözlemlendi. İncelenen alaşımlar içerisinde en düşük hacim kaybı bir başka deyişle en yüksek aşınma direnci Zn-15Al-3Cu-1Si alaşımından elde edildi. Sürtünme ve aşınma deneylerinden elde edilen bulgular alaşımların yapısal ve mekanik özelliklerine dayandırılarak açıklandı.

Anahtar kelimeler– Zn-15Al esaslı alaşımlar; Si oranı; İçyapı; Mekanik özellikler; Sürtünme; Aşınma

Investigation of the lubricated friction and wear properties of Zn-15Al-3Cu-(0.5-3)Si alloys

Ali Paşa HEKİMOĞLU^{1*}, Temel SAVAŞKAN²

¹Mechanical Engineering Department, Recep Tayyip Erdoğan University, Rize, Turkey

²Mechanical Engineering Department, Haliç University, İstanbul, Turkey

*Corresponding author: ali.hekimoglu@erdogan.edu.tr

⁺ Speaker: ali.hekimoglu@erdogan.edu.tr

Presentation/Paper Type: Oral / Full Paper

Abstract – In this study, six Zn-15Al-3Cu-Si alloys having silicon contents between 0.5% and 3% were produced by permanent mold casting. The effects of silicon content on the structural, mechanical and tribological properties of the alloys were investigated. The microstructures of the alloys were examined by scanning electron microscopy (SEM) and energy dispersive spectrometry (EDS). Their hardness values were measured by Rockwell F method and strength and ductility values were determined by tensile test. Friction and wear tests were performed with a block-on-disk type test machine. It was observed that the microstructures of the Zn-15Al-3Cu- (0.5-3) Si alloys were consisted of the β , eutectic $\beta + \eta$, eutectoid $\alpha + \eta$, ϵ phases and primary silicon particles. When the silicon content of the alloys exceeded 1%, the primary silicon particles showed a random clustering in their microstructures. The hardness of the alloys increased, but their elongation to fracture decreased continuously with increasing silicon content. Their tensile strength increased with increasing silicon content, but above 1% Si the trend reversed. The friction coefficient, working temperature and wear volume of the Zn-15Al-3Cu-(0.5-3) Si alloys reached steady states after showing a rapid increase in the initial stage of the test. Among the alloys investigated, the lowest volume loss or the highest wear resistance was obtained from Zn-15Al-3Cu-1Si alloy. The results obtained from the friction and wear tests of the alloys were explained on the basis of their microstructural and mechanical properties.

Keywords – Zn-15Al based alloys; Si content; Microstructure; Mechanical properties; Friction; Wear

I. GİRİŞ

Çinko-alüminyum esaslı alaşımlar üretimlerin kolay olması, özgül mukavemetlerinin ve aşınma dirençlerinin daha yüksek olması gibi bir takım avantajları nedeniyle beyaz metal, bronz, pirinç ve dökme demir gibi geleneksel yatak malzemelerine alternatif olarak geliştirilmektedir [1-6]. Söz konusu alaşımların kullanım alanları mekanik ve tribolojik özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Yapılan çalışmalar çinko-alüminyum esaslı alaşımların sertlik, mukavemet, süneklik, sürtünme ve aşınma özelliklerinin içerdikleri alüminyum oranının yanı sıra diğer alaşım elementlerine de bağlı olarak değiştiğini ortaya koymuştur [6-15]. Şöyle ki, çinko alüminyum alaşımlarında alüminyum oranı arttıkça sertlik ve mukavemet artmakta, süneklik ise belli alüminyum oranlarından sonra azalmaktadır [7, 18]. Söz konusu alaşımlarda kullanılan alaşım elementlerinin başında bakır ve silisyum gelmektedir. Yapılan çalışmalar belli oranlardaki bakır ve silisyum katkılarının çinko-alüminyum alaşımlarının sertlik, mukavemet ve aşınma direncini önemli ölçüde artırdığını göstermiştir [7, 8, 16-18]. Bu alaşımlar üzerinde son yıllarda yapılan araştırma geliştirme çalışmaları sonucunda yeterli sertlik, mukavemet ve kopma uzaması değerlerine sahip Zn-15Al esaslı dörtlü Zn-15Al-3Cu-(0,5-3)Si alaşımları geliştirilmiştir [7, 19]. Bu alaşımların mekanik özellikleri ve kuru sürtünme davranışları detaylı bir şekilde incelenerek ortaya konulmuştur [18, 19]. Ancak silisyum oranının Zn-15Al-3Cu-(0,5-3)Si alaşımlarının yağlı ve uzun mesafeli çalışma koşullarındaki sürtünme ve aşınma davranışları üzerindeki etkilerini konu alan herhangi bir çalışma yapılmamıştır. Bu nedenle bu çalışmada silisyum oranının Zn-15Al-3Cu-(0,5-3)Si alaşımlarının yağlı ve uzun mesafeli çalışma koşullarındaki sürtünme ve aşınma özelliklerine etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

II. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada %0,5 ile 3 arasında yer alan farklı oranlarda silisyum içeren altı adet Zn-15Al-3Cu-Si alaşımı kokil döküm yöntemiyle üretildi. Alaşımların üretiminde ticari saflıkta alüminyum (%99,70), yüksek saflıkta çinko (%99,9) ve elektrolitik bakır (%99,99) ve ETİAL-190 (Al-20Si) alaşımı kullanıldı. Alaşımların üretilmesi için belirlenen miktarlardaki alaşım elementleri bir elektrikli pota fırını içerisinde ergitilerek karıştırıldı. Sıvı durumdaki alaşımlar yaklaşık 700-750°C döküm sıcaklığından oda sıcaklığında tutulan 45×60×190 mm boyutlarındaki bir çelik kalıba (kokil) dökülerek katılaştırıldı. Üretilen alaşımların kimyasal bileşimleri atomik absorpsiyon yöntemleriyle belirlendi. Alaşımların yapılarının incelenmesi için alınan numuneler standart metalografi yöntemleriyle hazırlandı ve % 3 oranında nitrik asit (HNO₃) ve etanol içeren Nital ayırıcı ile dağlandı. Hazırlanan numuneler taramalı elektron mikroskopunda incelendi ve içyapılarını gösteren fotoğraflar (mikrograf) elde edildi.

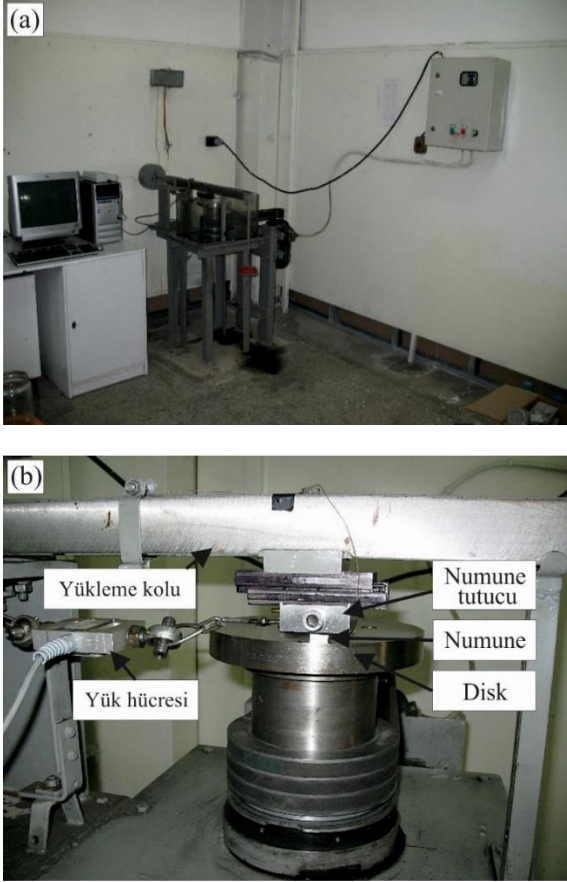
Alaşımların yoğunluklarının belirlenmesi için talaşlı işleme silindirik numuneler hazırlandı ve daha sonra bunların kütle ve boyutları ölçüldü. Numunelerin kütlelerinin ölçülmesinde ±0,01 mg hassasiyetine sahip bir dijital terazi, boyutlarının ölçülmesinde ise ±0,001 mm hassasiyetine sahip bir dijital mikrometre kullanıldı. Ölçülen kütle değerlerinin hesaplanan hacim değerlerine bölünmesiyle alaşımların yoğunlukları belirlendi. Sertlik ölçümleri Rockwell F yöntemi uygulanarak gerçekleştirildi ve her bir alaşımın sertliği 5 ölçümün ortalaması alınarak belirlendi. Çekme deneylerinde

ise talaşlı imalat yöntemiyle 8×40 TS 138 ve 10×10 TS 206 standartlarına uygun olarak hazırlanan numuneler kullanıldı. Üretilen numuneler 6,25×10⁻³ s⁻¹'lik ortalama deformasyon hızında deneye tabi tutuldu. Her bir alaşım için 4 adet çekme deneyi yapıldı ve elde edilen sonuçların ortalaması alınarak alaşımların çekme dayanımı ve kopma uzaması değerleri belirlendi.

Alaşımların sürtünme ve aşınma deneyleri blok-disk esaslı bir deney düzeneğinde gerçekleştirildi. Bu düzeneğin görüntüleri Şekil 1'de verilmiştir. Söz konusu düzenek 3 kW gücünde bir elektrik motoru, bu motor tarafından tahrik edilen bir mil ve buna bağlı bir aşındırma diski, bir numune tutucusu, bir yükleme kolu, bir hız kontrol ünitesi, yağlama sistemi ve sürtünme kuvveti ölçüm devresinden oluşmaktadır. Bu deney düzeneğinde, numune tutucusu ile yük hücrelerini yakından gösteren fotoğraf ise Şekil 1b'de verilmiştir. Sözü edilen aşındırma diski SAE 1045 (Fe-0.46%C-0.6%Mn, 0.035%P-0.03%S) çeliğinden imal edildi ve ısıl işleme 55 RSD-C değerine kadar sertleştirildi. Sertleştirme işleminden sonra söz konusu diskin aşındırıcı yüzeyi taşlanarak ortalama 0,07-0,13 µm aralığında yer alan bir yüzey pürüzlülüğü elde edildi. Deney düzeneğindeki yağlama işlemi, numunenin bulunduğu konumdan daha yüksek bir yere yerleştirilen depodan ince bir hortum yardımıyla alınan SAE 20W/50 normundaki bir motor yağının bir debi ayarlayıcısından geçirildikten sonra disk üzerine damlatılmasıyla gerçekleştirildi. Yükleme işlemi ise, numune tutucusu ile irtibatlandırılmış olan bir yükleme kolunun ucuna ağırlık asmak suretiyle gerçekleştirildi. Sürtünme kuvveti numune tutucusu ile düzenekteki sabit bir mesnet arasına yerleştirilen 50 kg kapasiteli S-50 tipi bir yük hücresi yardımıyla ölçüldü. Bu yük hücresinde sürtünme kuvveti nedeniyle oluşan gerilime karşı gelen kuvvet değerinin belirlenmesi için deneylere başlamadan önce yük hücresindeki gerilim-kuvvet ilişkisini gösteren bir eğri elde edildi. Yük hücresinin ucuna ağırlık asılarak elde edilen bu eğrinin denklemi veri toplama ünitesinin programına işlendi. Veri toplama kartına gelen gerilim sinyalleri bu denklem aracılığı ile kuvvet değerlerine dönüştürüldü ve bu değerler deney sırasında bir bilgisayar yardımıyla sürekli kaydedildi.

Sürtünme ve aşınma deneyleri talaşlı imalat yöntemiyle hazırlanan 10×15×26,6 mm boyutlarındaki numuneler ile gerçekleştirildi. Deney sırasında numunelerin sıcaklığı (çalışma sıcaklığı) aşındırıcı diske temas eden yüzeylerinden 2 mm yukarıya açılan bir deliğe yerleştirilen bir bakır-nikel termoeleman çifti tarafından üretilen gerilim ile belirlendi. Söz konusu termoeleman çifti tarafından üretilen gerilim değerleri bir veri toplama ünitesi yardımıyla sıcaklık değerine dönüştürüldü ve bu değerler bilgisayar ortamında deney süresince kaydedildi. Sürtünme ve aşınma numuneleri hem deneylere başlamadan önce hem de deneyler tamamlandıktan sonra ultrasonik bir temizleyicide sırasıyla trikloretilen (C₂HCl₃) ve alkol-aseton karışımı kullanılarak temizlendi. Temizlenen numunelerin kütleleri 0,01 mg'lık hassasiyete sahip bir terazi ile ölçüldü. Ölçülen kütle kaybı değerleri alaşımların yoğunluklarına bölünerek numunelerde aşınma nedeniyle meydana gelen hacim kayıpları belirlendi. Alaşımların sürtünme ve aşınma özellikleri 1cm³/saat yağ debisi, 6 MPa basınç, 2m/s kayma hızı ve 108 km kayma yolu mesafesi koşullarında yapılan deneyler yardımıyla incelendi. Bu deneyler sonucunda alaşımların sürtünme katsayısı, çalışma sıcaklığı ve hacim kaybı değerlerinin alınan yola göre değişimleri belirlendi. Deneye tabi tutulan numunelerin

aşınma yüzeyleri taramalı elektron mikroskopunda (SEM) ikincil elektron görüntülemesi yöntemiyle incelendi.



Şekil 1. Aşınma deney düzeneğinin a) fotoğrafı b) deney numunesinin ve aşındırıcı diskin yakından görünümü

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

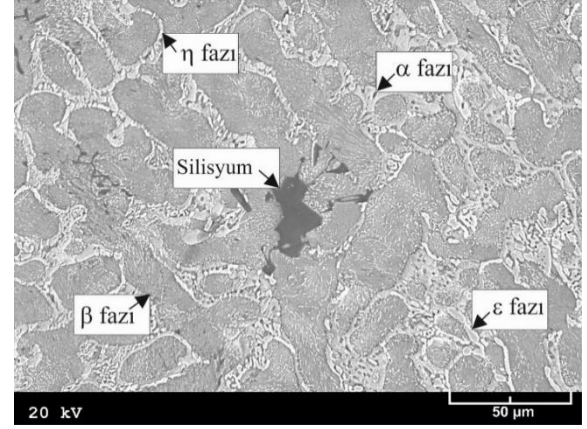
Üretilen Zn-15Al-3Cu-Si alaşımlarının kimyasal bileşimleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Üretilen alaşımların kimyasal bileşimleri

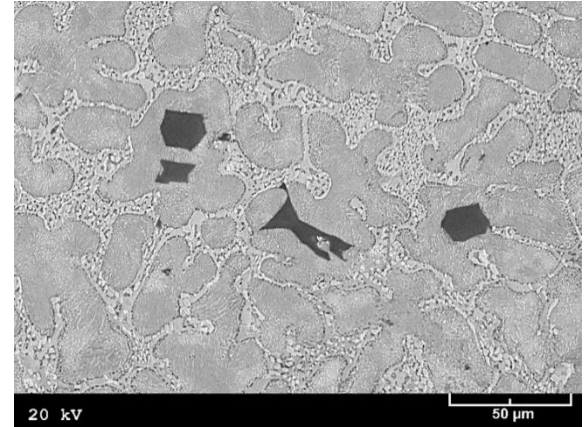
Alaşım	Kimyasal bileşim oranı			
	Zn	Al	Cu	Si
Zn-15Al-3Cu-0,5Si	81,3	15,1	3,0	0,6
Zn-15Al-3Cu-1Si	81,3	14,9	2,9	0,9
Zn-15Al-3Cu-1,5Si	80,4	14,9	3,1	1,6
Zn-15Al-3Cu-2Si	80,0	15,0	2,9	2,1
Zn-15Al-3Cu-2,5Si	79,6	14,8	3,0	2,6
Zn-15Al-3Cu-3Si	78,9	15,2	2,8	3,1

Zn-15Al-3Cu-(0,5-3)Si alaşımlarının içyapıları β , α , η ve ϵ fazlarının yanı sıra silisyum parçacıklarından oluştuğu görüldü (Şekil 2-4). Söz konusu alaşımlarda belirtilen fazların oluşumu literatürde [19-21] detaylı olarak açıklanmıştır. Silisyum parçacıklarının yapı içerisinde homojen bir dağılım sergilemedikleri ve %1'den daha yüksek oranda Si içeren alaşımlarda ise hem dendrit hem de dendritler arası bölgelerde kümelendikleri gözlemlendi. Bu parçacıkların yapı içerisinde kümeleşmeleri yoğunluk farkına dayandırılarak açıklanmaktadır [19-21]. Şöyle ki, yoğunluğu düşük olan bu parçacıklar sıvı metal içerisinde yüzeye doğru hareket

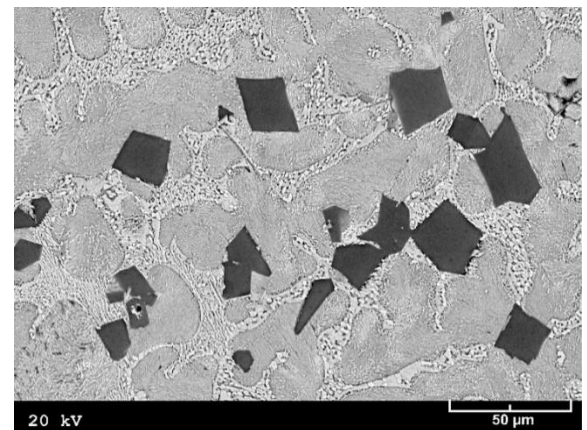
ederlerken birbirlerine rastgele çarparak veya temas ederek bir arada toplandığı, sıvı içerisinde meydana gelen bu durumun silisyum parçacıklarının içyapıda kümeleşmesine yol açtığı ileri sürülmektedir [19-21].



Şekil 2. Zn-15Al-3Cu-0,5Si alaışımının içyapısının SEM görüntüsü



Şekil 3. Zn-15Al-3Cu-1Si alaışımının içyapısının SEM görüntüsü



Şekil 4. Zn-15Al-3Cu-3Si alaışımının içyapısının SEM görüntüsü

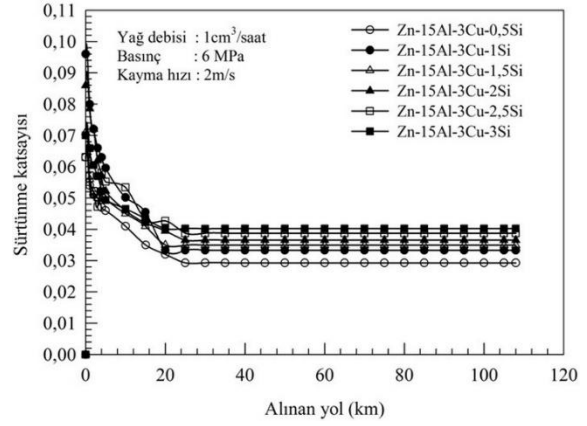
Zn-15Al-3Cu-(0,5-3)Si alaşımlarında silisyum oranı arttıkça sertliğin arttığı, kopma uzamasının azaldığı, çekme dayanımının ise %1 Si oranında en yüksek olduğu, bu orandan sonra azaldığı görüldü (Tablo 2). Sertlikte meydana gelen artışlar sert ve gevrek davranış sergileyen silisyum parçacıklarının hacimsel oranının artan silisyum oranı ile artmasından, kopma uzaması değerlerinde meydana gelen

azalma ise silisyum parçacıklarının alaşımları gevrekletmesinden kaynaklanmaktadır. Silisyum içeren çinko ve alüminyum esaslı alaşımlar üzerinde daha önceden yapılan çalışmalarda da benzer bulgulara rastlanmıştır [19-22]. Çekme dayanımı değerlerinin artan silisyum oranı ile artması ve silisyum oranının %1'in üzerine çıkması durumunda azalması söz konusu alaşımların içyapılarında bulunan silisyum parçacıklarının büyüklüğüne ve dağılım biçimine dayandırılarak açıklanabilir. Şöyle ki, %1 Si oranına kadar yapı içerisinde nispeten homojen bir dağılım sergileyen silisyum parçacıkları bu değerden daha yüksek oranlarda silisyum içeren alaşımlarda hem irileşmekte hem de farklı konumlarda kümelenmektedir. Bu gözleme dayanarak alaşımların çekme dayanımının %1 Si oranına kadar artan silisyum oranı ile artmasının dispersiyon sertleşmesinden, silisyum oranının bu değeri aşması durumunda azalmasının ise hem dispersiyon sertleşmesi etkisinin azalmasından hem de iri silisyum parçacıklarının alaşımları gevrekletmesinden kaynaklandığı söylenebilir. Söz konusu alaşımların kopma uzamasının artan silisyum oranı ile sürekli azalması ise içyapıdaki sert ve gevrek silisyum parçacıklarının çentik etkisi yapmaları ve dendritler arası bölgeleri zayıflatmalarından kaynaklanmaktadır [19-23].

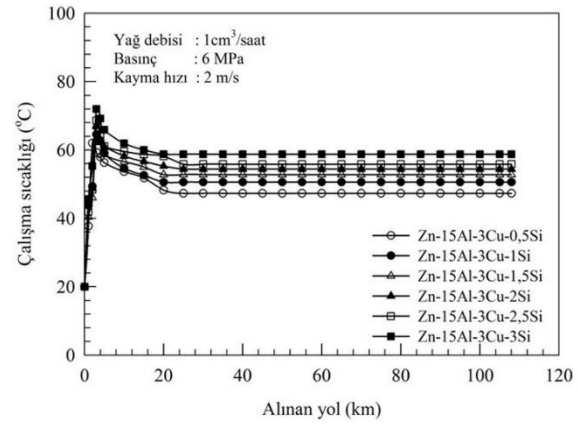
Tablo 9. Zn-15Al-(0-5)Cu-(0,5-3)Si alaşımlarının yoğunluk, sertlik, çekme dayanımı ve kopma uzaması değerleri

Alaşım	Yoğunluk (kg/m ³)	Sertlik (RSD-F)	Çekme dayanımı (MPa)	Kopma uzaması (%)
Zn-15Al-3Cu-0,5Si	5711,90	91	310	2,5
Zn-15Al-3Cu-1Si	5696,70	92	314	1,9
Zn-15Al-3Cu-1,5Si	5659,40	94	305	1,4
Zn-15Al-3Cu-2Si	5628,90	95	301	1,2
Zn-15Al-3Cu-2,5Si	5611,90	96	297	1,1
Zn-15Al-3Cu-3Si	5601,30	97	294	1,0

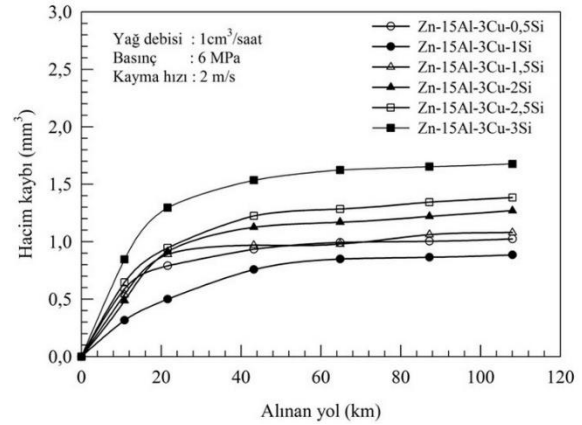
Zn-15Al-3Cu-(0,5-3)Si alaşımlarının sürtünme katsayısı, çalışma sıcaklığı ve hacim kaybı değerlerinin alınan yola göre değişimlerini gösteren eğriler Şekil 5-7'de verilmiştir. Bu eğriler tüm alaşımların sürtünme katsayısı ve sıcaklık değerlerinin başlangıç aşamasında hızlı bir artış gösterdikten sonra bir miktar azalarak 20-30 km aralığında yer alan kayma yolu sonunda sabit kaldığı görüldü (Şekil 5 ve 6). Alaşımlarda aşınma ile meydana gelen hacim kayıplarının ise deneylerin başlangıç aşamasında hızlı bir artıştan sonra artan kayma yolu ile azalarak sabit sayılabilecek değerlere ulaştıkları görüldü (Şekil 7). Sürtünme katsayısı, sıcaklık ve hacim kaybı değerlerinin rodaj devresi olarak da adlandırılan deneylerin başlangıç aşamasında hızlı bir şekilde artması yüzeyler arasında yeterli kalınlıkta yağ filmi oluşmaması nedeniyle meydana gelen metal-metal temasından kaynaklanmaktadır [6, 20, 24]. Yağ filmi kalınlığı arttıkça sürtünme katsayısı ve sıcaklık değerleri ile hacim kaybının artış hızı azalmakta, yağ filmi kalınlığının yüzeyleri birbirinden ayırmaya yeterli büyüklüğe erişmesi durumunda ise söz konusu değişkenler kararlı durumu yansıtan sabit değerlere erişmektedir.



Şekil 5. Zn-15Al-3Cu-(0,5-3)Si alaşımlarının sürtünme katsayısı değerlerinin alınan yola göre değişimlerini gösteren eğriler

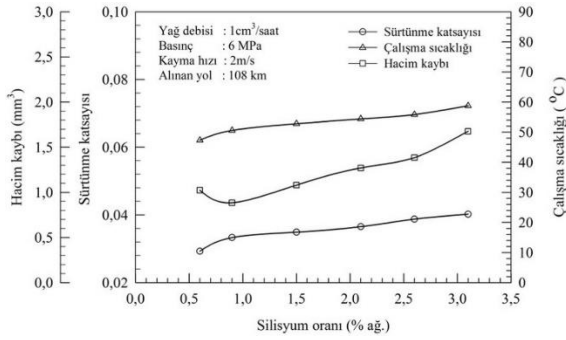


Şekil 6. Zn-15Al-3Cu-(0,5-3)Si alaşımlarının sıcaklık değerlerinin alınan yola göre değişimlerini gösteren eğriler



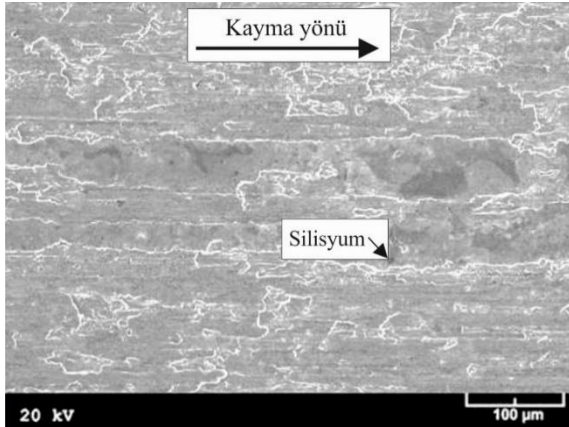
Şekil 7. Zn-15Al-3Cu-(0,5-3)Si alaşımlarında meydana gelen hacim kaybı değerlerinin alınan yola göre değişimlerini gösteren eğriler

Sürtünme katsayısı, çalışma sıcaklığı ve hacim kaybı değerlerinin silisyum oranına göre değişimlerini gösteren eğriler Şekil 8'de verilmiştir. Bu eğriler alaşımların sürtünme katsayısı, çalışma sıcaklığı ve hacim kaybı değerlerinin artan silisyum oranıyla azalıp, %1 Si oranında en düşük seviyelerinden geçtikten sonra tekrar arttığını göstermektedir. Sürtünme katsayısı ve sıcaklık değerlerinde gözlenen artışlar silisyum oranı arttıkça söz konusu alaşımların içyapılarında bulunan sert ve gevrek silisyum parçacıklarının artmasından kaynaklanmış olabilir. Hacim kaybının %1 Si oranına kadar azalıp, bu değerden sonra artması ise bu alaşımların çekme dayanımında meydana gelen değişimden kaynaklandığı söylenebilir.

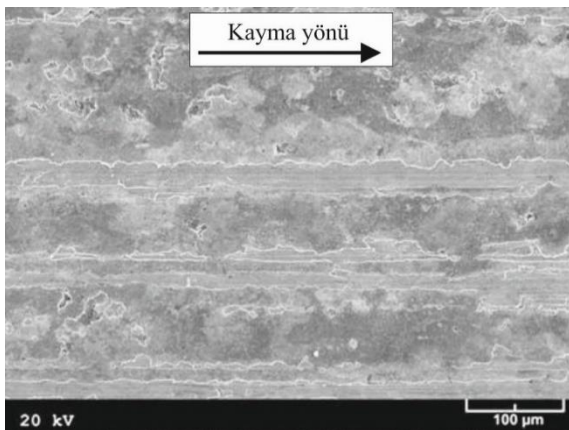


Şekil 8. Zn-15Al-3Cu-(0,5-3)Si alaşımlarının sürtünme katsayısı, çalışma sıcaklığı ve hacim kaybı değerlerinin silisyum oranına göre değişimlerini gösteren eğriler

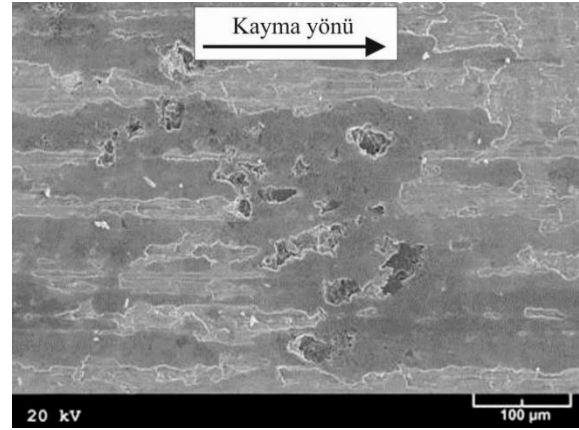
Zn-15Al-3Cu-(0,5-3)Si alaşımlarına ait numuneler üzerinde yapılan SEM incelemeleri sonucunda numunelerin yüzeylerinde sıvanma tabakası ile çiziklerin yer aldığı, alaşımların silisyum oranı arttıkça sıvanan yüzey alanının azaldığı çiziklerin genişlediği görüldü (Şekil 9-11). Ayrıca, alaşımların aşınma yüzeylerindeki sıvanma bölgelerine gömülmüş durumda bulunan silisyum parçacıklarına rastlandı (Şekil 9-11). Alaşımların sürtünme katsayısı, sıcaklık ve hacim kaybı eğrilerine bakıldığında sıvama tabakası ve çizik şeklindeki aşınma belirtilerinin rodaj dönemi olarak adlandırılan başlangıç aşamasında meydana gelen metal-metal temasından kaynaklandığı söylenebilir [6].



Şekil 9. Zn-15Al-3Cu-0,5Si alaşımlarının dökülmüş durumdaki numunesinin yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü



Şekil 10. Zn-15Al-3Cu-1Si alaşımlarının dökülmüş durumdaki numunesinin yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü



Şekil 11. Zn-15Al-3Cu-3Si alaşımlarının dökülmüş durumdaki numunesinin yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü

IV. SONUÇLAR

Zn-15Al-3Cu-(0,5-3)Si alaşımlarının içyapılarında β , ötektik $\beta + \eta$, ötektoid $\alpha + \eta$ ve ϵ fazlarının yanı sıra birincil silisyum parçacıkları yer almakta ve bu parçacıklar silisyum oranının %1'i aşması durumunda rastgele kümelenmektedir. Zn-15Al-3Cu-(0,5-3)Si alaşımlarının sertliği artan silisyum oranı ile sürekli artarken, kopma uzaması değerleri sürekli azalmakta; çekme dayanımı değeri ise %1 Si oranına kadar az da olsa bir artış sergiledikten sonra azalmaktadır. Zn-15Al-3Cu-(0,5-3)Si alaşımlarının aşınma dirençleri bunların sertlik değerlerinden çok çekme dayanımlarına bağlıdır ve çekme dayanımı arttıkça aşınma direnci de artmaktadır. Nitekim incelenen alaşımlar içerisinde en yüksek aşınma direncini en yüksek sertliğe sahip olan Zn-15Al-3Cu-3Si alaşımı değil, en yüksek çekme dayanımına sahip olan Zn-15Al-3Cu-1Si alaşımı sergilemektedir. Yağlı koşullarda deneye tabi tutulan Zn-15Al-3Cu-(0,5-3)Si alaşımlarının aşınma yüzeyleri rodaj döneminde meydana gelen çizik ve sıvanma belirtileri ile karakterize edilmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Birimi tarafından desteklenmiştir. (Kod No: 2008.112.03.2).

KAYNAKLAR

- [1] F. E. Goodwin, and A. L. Ponikvar, Engineering Properties of Zinc Alloys, International Lead Zinc Research Organization, 3rd, USA, 1989.
- [2] E. Gervais, R. J. Barnhurst, and C. A. Loong, "An analysis of selected properties of ZA alloys," *Jom-J Min Met Mat S.*, vol. 37, pp. 43-47, Nov. 1985.
- [3] A. F. Skanazi, J. Pelerin, D. Coutouradis, B. Magnus, and M. Meeus, "Some recent developments in the improvement of the mechanical properties of zinc foundry alloys," *Metallwissenschaft und Technik*, vol. 37, pp. 898-902, Sept. 1983.
- [4] E. Gervais, H. Levert, and M. Bess, "The development of a family of zinc-based foundry alloys," in *84th Casting Congress & Exhibition*, 1980, pp. 183-194.
- [5] A. P. Hekimoğlu, and T. Savaşkan, "Effects of contact pressure and sliding speed on the unlubricated friction and wear properties of Zn-15Al-3Cu-1Si alloy," *Tribol T.*, vol. 59, pp. 1114-1121, Apr. 2016.
- [6] A. P. Hekimoğlu, and T. Savaşkan, "Zn-15Al-3Cu-1Si alaşımı ve SAE 660 bronzunun yağlı durumdaki aşınma karakteristikleri," *J Fac Eng Archit Gaz.*, vol. 33, pp. 145-154, 2018.
- [7] A. P. Hekimoğlu, and T. Savaşkan, "Structure and mechanical properties of Zn-(5-25)Al alloys," *Int J Mater Res.*, vol. 105, pp. 1084-1089, Nov. 2014.

- [8] T. Savaşkan, O. Bican, and Y. Alemdağ, "Developing aluminium-zinc-based a new alloy for tribological applications," *J Mater Sci.*, vol. 44, pp. 1969–1976, Apr. 2009.
- [9] P. P. Lee, T. Savaşkan, T. and E. Laufer, "Wear resistance and microstructure of Zn-Al-Si and Zn-Al-Cu alloys," *Wear*, vol. 117, pp. 79–89, Jun. 1987.
- [10] B. K. Prasad, "Effects of silicon addition and test parameters on sliding wear characteristics of zinc-based alloy containing 37,5% aluminium," *Mater Trans.*, vol. 38, pp. 701–706, Feb. 1997.
- [11] A. Türk, C. Kurnaz, and H. Şefik, "Comparison of the wear properties of modified ZA-8 alloys and conventional bearing bronze," *Mater Design.*, vol. 28, pp. 1889–1897, Jul. 2007.
- [12] A. Türk, M. Durman, and E. S. Kayalı, "The effect of manganese on the microstructure and mechanical properties of zinc-aluminium based ZA-8 alloy," *J Mater Sci.*, vol. 42 pp. 8298–8305, Oct. 2007.
- [13] Y. Iwai, W. Hou, T. Honda, and H. Yoneda, "Wear behaviour of high tensile strength aluminium alloy under dry and lubricated conditions," *Wear*, vol. 196, pp. 46–53, Aug. 1996.
- [14] B. K. Prasad, "Effect of microstructure on the sliding wear performance of a Zn-Al-Ni alloy", *Wear*, vol. 240, pp. 100–112, May. 2000.
- [15] B. K. Prasad, "The effect of heat treatment on sliding wear behaviour of a zinc-based alloy containing nickel and silicon," *Tribol Lett.*, vol. 15, pp. 333–341, Oct. 2003.
- [16] T. Savaşkan, A. P. Hekimoğlu, and G. Pürçek, "Effect of copper content on the mechanical and sliding wear properties of monotectoid-based zinc-aluminium-copper alloys," *Tribol Int.*, vol. 37, pp. 45–50, Jan. 2004.
- [17] T. Savaşkan, G. Pürçek, G. and A. P. Hekimoğlu, "Effect of copper content on the mechanical and tribological properties of ZnAl27-based alloys," *Tribol Lett.*, vol. 15, pp. 257–263, Oct. 2003.
- [18] T. Savaşkan, and A. P. Hekimoğlu, "Relationships between mechanical and tribological properties of Zn-15Al based ternary and quaternary alloys," *Int J Mater Res.*, vol. 107, pp. 646–652, Jun. 2016.
- [19] T. Savaşkan, and A. P. Hekimoğlu, "Microstructure and mechanical properties of Zn-15Al based ternary and quaternary alloys," *Mat Sci Eng A-Struct.*, vol. 603, pp. 52–57, May. 2014.
- [20] T. Savaşkan, and O. Bican, "Effects of silicon content on the microstructural features and mechanical and sliding wear properties of Zn-40Al-2Cu-(0-5)Si alloys," *Mat Sci Eng A-Struct.*, vol. 404, pp. 259–269, Sep. 2005.
- [21] T. Savaşkan, T. and A. Aydın, "Effect of silicon content on the mechanical and tribological properties monotectoid-based zinc-aluminium-silicon alloys," *Wear*, vol. 257, pp. 377–388, Aug. 2004.
- [22] Y. Alemdağ and T. Savaşkan, "Effects of silicon content on the mechanical properties and lubricated wear behaviour of Al-40Zn-3Cu-(0-5)Si alloys," *Tribol Lett.*, vol. 29, pp. 221–227, Mar. 2008.
- [23] B. K. Prasad, "Effects of partially substituting copper by silicon on the physical, mechanical and wear properties of a Zn-37.5%Al-based alloy," *Mater Charact.*, vol. 44 pp. 301–308, Mar. 2000.
- [24] O. Bican, and T. Savaşkan, "Influence of test conditions on the lubricated friction and wear behaviour of Al-25Zn-3Cu alloy," *Tribol Lett.*, vol. 37, pp. 175–182, Feb. 2010.