

T5 ve T7 Isıl İşlemlerinin Zn-15Al-3Cu-1Si Alaşımının Yağlı Çalışma Koşullarındaki Sürtünme ve Aşınma Özelliklerine Etkilerinin İncelenmesi

Temel Savaşkan¹, Ali Paşa Hekimoğlu^{2+*}

¹Makine Mühendisliği Bölümü, Haliç Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

²Makina Mühendisliği Bölümü, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Rize, Türkiye

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

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

Sunum/Sayfa Türü: Sözlü/Tam Metin

Özet – Bu çalışmada kokil kalıba döküm yöntemiyle üretilen Zn-15Al-3Cu-1Si alaşımına T5 ve T7 ısıtma işlemleri uygulandı. Alaşımın dökülmüş ve ısıtma işlemi görmüş durumlardaki numunelerinin içyapıları taramalı elektron mikroskopu (SEM) ve enerji dispersif spektrometresi (EDS) ile incelendi. Söz konusu numunelerin sertlikleri Rockwell F yöntemi ile ölçüldü, mukavemet ve süneklik değerleri ise bir universal deney makinesinde yapılan çekme deneyi yardımıyla belirlendi. Sürtünme ve aşınma deneyleri blok-disk esaslı bir deney düzeneğinde gerçekleştirildi. Elde edilen sonuçlar, piyasadan temin edilen SAE 660 bronzundan aynı koşullarda elde edilen bulgular ile karşılaştırıldı.

Zn-15Al-3Cu-1Si alaşımının dökülmüş durumdaki içyapısının dendritik β , ötektik $\beta + \eta$, ötektoid $\alpha + \eta$ ve ϵ fazlarının yanı sıra birincil silisyum parçacıklarından oluştuğu görüldü. T5 ısıtma işleminin alaşımın dendritik yapısını etkilemediği, ancak ϵ fazının parçalanarak boyutunun küçülmesine yol açtığı gözlemlendi. T7 ısıtma işlemi sonunda ise Zn-15Al-3Cu-1Si alaşımının dendritik yapısının tamamen ortadan kalkarak bunun yerini α ve η fazlarından oluşan ince taneli bir yapının aldığı, ϵ fazının ise kısmen dönüştüğü görüldü. T5 ve T7 ısıtma işlemlerinin Zn-15Al-3Cu-1Si alaşımının sertlik, çekme dayanımı, kopma uzaması ve aşınma direnci değerlerini farklı oranlarda azalttığı gözlemlendi. Ancak Zn-15Al-3Cu-1Si alaşımının hem dökülmüş hem de ısıtma işlemi görmüş durumlarda SAE 660 bronzundan daha yüksek aşınma direnci sergilediği görüldü.

Anahtar kelimeler – Zn-15Al esaslı alaşımlar; Isıtma işlemi; Mekanik özellikler; Sürtünme; Aşınma

Investigation of the Influence of T5 and T7 Heat Treatments on the Lubricated Friction and Wear Properties of Zn-15Al-3Cu-1Si Alloy

Temel SAVASKAN¹, Ali Paşa HEKİMOĞLU^{2+*}

Mechanical Engineering, Haliç University, İstanbul, Türkiye

Mechanical Engineering, Recep Tayyip Erdoğan University, Rize, Turkey

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

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

Presentation/Paper Type: Oral / Full Text

Abstract – In this study, Zn-15Al-3Cu-1Si alloy was produced by permanent mold casting and subjected to T5 and T7 heat treatments. The microstructures of the as-cast and heat treated samples of the alloy were studied by scanning electron microscopy (SEM) and energy dispersive spectrometry (EDS) analysis. The hardness of the alloy samples were measured by Rockwell F method and their strength and ductility values were determined with the tensile tests performed with a universal test machine. Friction and wear tests were carried out with a block-on-disk type test machine. The results were compared with those obtained from SAE 660 bronze under the same test conditions.

The microstructure of Zn-15Al-3Cu-1Si alloy in the as-cast condition consisted of β , eutectic $\beta + \eta$, eutectoid $\alpha + \eta$ and ϵ phases together with primary silicon particles. T5 heat treatment had no effect on the dendritic microstructure of the alloy, but decreased the size of ϵ phase by breaking it into pieces. T7 heat treatment removed the dendritic microstructure of Zn-15Al-3Cu-1Si alloy and produced a fine-grained structure consisting of α and η phases. This heat treatment also resulted in partial decomposition of ϵ phase. Results showed that both T5 and T7 heat treatments cause considerable amount of reductions in hardness, tensile strength, elongation to fracture and wear resistance of Zn-15Al-3Cu-1Si alloy. However, this alloy exhibited higher wear resistance than SAE 660 bronze in both as-cast and heat treated conditions.

Keywords: Zn-15Al based alloys; Heat treatment; Mechanical properties; Friction; Wear

I. GİRİŞ

Bakır ve/veya silisyum içeren çinko-alüminyum esaslı alaşımlar bronz, beyaz metal, pirinç ve dökme demir gibi geleneksel yatak malzemelerine alternatif olarak geliştirilmiştir. Bu konuda yapılan çalışmalar, çinko-alüminyum esaslı alaşımların geleneksel yatak malzemelerine göre pek çok üstünlüğe sahip olduğunu göstermiştir [1-3]. Bu üstünlüklerin başında söz konusu alaşımların üretimlerinin kolay ve ekonomik olması, yüksek aşınma direnci ve özgül mukavemete (mukavemet/yoğunluk) sahip olmaları, iyi yüzey kalitesi ede etmeye elverişli olmaları, sert parçacıkları içine alma özelliğine sahip olmaları ve yetersiz yağlama durumunda bile ideal tribolojik davranış sergilemeleri gelmektedir [4, 5]. Ancak, bakır içeren çinko-alüminyum esaslı alaşımların bazı dezavantajlara da sahip oldukları gözlenmiştir. Bu dezavantajlardan en önemlisi bu alaşımların dökülmüş durumda boyutsal kararsızlık sergilemesidir [6-8]. Çinko oranı yüksek çinko-alüminyum esaslı alaşımlarda bakır oranının %1'i aşması durumunda ortaya çıkan boyutsal kararsızlık problemi döküm sırasında oluşan metastabil ϵ fazının kullanım sırasında dörtlü faz reaksiyonu ($\alpha + \epsilon \rightleftharpoons T' + \eta$) ile kararlı T' ve η fazlarına dönüşmesinden kaynaklanmaktadır [6-8]. Bu dönüşüm sonucunda söz konusu alaşımlarda %4'e varan oranlarda hacimsel büyüme meydana gelmektedir [6-9]. Yapılan çalışmalar bu alaşımlardaki boyutsal kararsızlık probleminin T5 veya T7 ısıt işlemleri ile önemli ölçüde giderilebileceğini göstermiştir [9, 10].

Son yıllarda yüksek oranda çinko içeren çinko-alüminyum esaslı alaşımlar üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda dörtlü Zn-15Al-3Cu-1Si alaşımı geliştirilmiştir [11-14]. Bu çalışmalarda bu alaşımın dökülmüş durumdaki yapısal, mekanik ve tribolojik özellikleri detaylı olarak incelenmiştir [11-14]. Ancak boyutsal kararsızlık probleminin giderilmesi amacıyla uygulanan T5 ve T7 ısıt işlemlerinin bu alaşımın yapısal, mekanik ve tribolojik özelliklerine etkilerinin incelenmesini konu alan herhangi bir çalışma yapılmamıştır. Bu nedenle bu çalışmada T5 ve T7 ısıt işlemlerinin Zn-15Al-3Cu-1Si alaşımının yapısal, mekanik ve tribolojik özelliklerine etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

II. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada Zn-15Al-3Cu-1Si alaşımı kokil döküm yöntemiyle üretildi. Alaşımın üretiminde ticari saflıkta alüminyum (%99,70), yüksek saflıkta çinko (%99,9) ve elektrolitik bakır (%99,99) ve ETİAL-190 (Al-20Si) alaşımı kullanıldı. Alaşımın üretilmesi için belirlenen miktarlardaki alaşım elementleri bir elektrikli pota fırını içerisinde ergitilerek karıştırıldı. Sıvı durumdaki alaşım 700°C dolayındaki döküm sıcaklığından oda sıcaklığında tutulan 45×60×190 mm boyutlarındaki bir çelik kalıba (kokil) dökülerek katılaştırıldı. Karşılaştırma yapmak amacıyla kullanılan SAE 660 bronzu ise piyasadan temin edildi. Zn-15Al-3Cu-1Si alaşımının kimyasal bileşimi atomik absorpsiyon, SAE 660 bronzunun kimyasal bileşimi ise spektral analiz yöntemleriyle belirlendi.

Yapısal incelemeler için Zn-15Al-3Cu-1Si alaşımı ve SAE 660 bronzundan alınan numuneler standart metalografi yöntemleriyle hazırlandı. Zn-15Al-3Cu-1Si alaşımına ait numuneler %3, SAE 660 bronzuna ait numune ise %30 oranında nitrik asit (HNO₃) içeren Nital içerisinde dağlandı. Hazırlanan numunelerin içyapıları taramalı elektron mikroskopunda (SEM) incelendi ve bu yapılarla bulunan

fazlar enerji dispersif spektrometre (EDS) analizleri yardımıyla belirlendi.

Alaşımların yoğunluklarının belirlenmesi için talaşlı işlemlerle hazırlanan silindirik numunelerin kütle ve boyutları ölçüldü. Numunelerin kütlelerinin ölçülmesinde $\pm 0,01$ mg hassasiyetine sahip bir dijital terazi, boyutlarının ölçülmesinde ise $\pm 0,001$ mm hassasiyetine sahip bir dijital mikrometre kullanıldı. Ölçülen kütle değerlerinin hesaplanan hacim değerlerine bölünmesiyle alaşımların yoğunlukları belirlendi.

Sertlik ölçümleri Rockwell F yöntemi ile gerçekleştirildi ve her bir alaşımın sertliği 5 ölçümün ortalaması alınarak belirlendi. Çekme deneylerinde ise talaşlı imalat yöntemiyle 8×40 TS 138 (EN 1002-1) standardına uygun olarak hazırlanan numuneler kullanıldı. Üretilen numuneler $6,25 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ '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 dayanımı değerleri belirlendi.

Alaşımların sürtünme ve aşınma deneyleri blok-disk esaslı bir deney düzeneğinde gerçekleştirildi. Bu düzeneğe ait teknik resimler sırasıyla Şekil 4 ve 5'te 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 düzeneğinin fotoğrafı Şekil 6'da, numune tutucusu ile yük hücrelerini yakından gösteren fotoğraf ise Şekil 7'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 ısıt işlemlerle 55 RSD-C değerine kadar sertleştirildi. Sertleştirme işleminden sonra söz konusu diskin aşındırıcı yüzeyi taşlanarak ortalama 0,07-0,13 μm değerinde 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 10×15×26,6 mm boyutlarında hazırlanan 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 içerisinde temizlendi. Temizlenen numunelerin kütleleri 0,01 mg'lık hassasiyete sahip bir terazi ile ölçüldü. Ölçülen kütle kaybı değerleri aşınmaların yoğunluklarına bölünerek numunelerde aşınma nedeniyle meydana gelen hacim kayıpları belirlendi. Aşınmaların sürtünme ve aşınma özellikleri 1cm³/saat'lik yağ debisi, 6 MPa'lık basınç ve 2m/s'lik kayma hızında 108 km'lik kayma yolu tamamlanincaya kadar yapılan deneyler yardımıyla incelendi. Bu deneyler sonucunda aşınmaların sürtünme katsayısı, çalışma sıcaklığı ve hacim kaybı değerlerinin alınan yola göre değişimleri belirlendi.



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

Zn-15Al-3Cu-1Si alaşımının mekanik ve tribolojik özellikleri hem dökülmüş hem de T5 ve T7 ısıt işlemleri görmüş durumlarda incelendi ve elde edilen bulgular SAE 660 bronzundan aynı koşullarda elde edilen veriler ile karşılaştırıldı. T5 ısıt işlemleri dökülmüş durumdaki Zn-15Al-3Cu-1Si alaşımının 150°C sıcaklıkta 50 saatlik bir süre, T7 ısıt işlemleri ise 340°C sıcaklıkta 36 saat süreli çözündürme aşamasından sonra su verilen Zn-15Al-3Cu-1Si alaşımının 180°C sıcaklıkta 10 saatlik bir süre yaşlandırılmalarıyla gerçekleştirildi. Zn-15Al-3Cu esaslı alaşımlarda T5 ve T7 ısıt işlemleri için gerekli sıcaklık ve yaşlandırma süreleri, ilgili literatürde [9, 10] yer alan sertlik-yaşlandırma süresi ve boy değişimi-yaşlandırma süresi eğrilerinden yararlanılarak belirlendi. Sürtünme ve aşınma deneylerine tabi tutulan numunelerin aşınma yüzeyleri taramalı elektron mikroskopunda (SEM) ikincil elektron görüntüleme yöntemiyle incelendi.

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Üretilen Zn-15Al-3Cu-1Si alaşımının ve SAE 660 bronzunun kimyasal bileşimleri sırasıyla Tablo 1 ve 2'de verilmiştir.

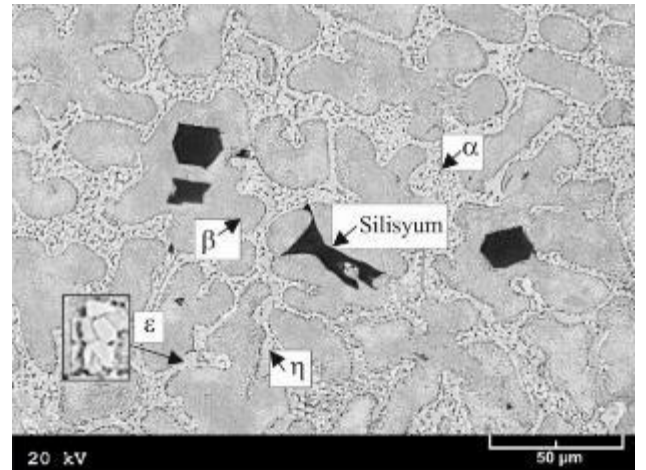
Tablo 1. Zn-15Al-3Cu-1Si alaşımının kimyasal bileşimi

Alaşım	Kimyasal bileşim oranı (% ağırlık)			
	Zn	Al	Cu	Si
Zn-15Al-3Cu-1Si	81,3	14,9	2,9	0,9

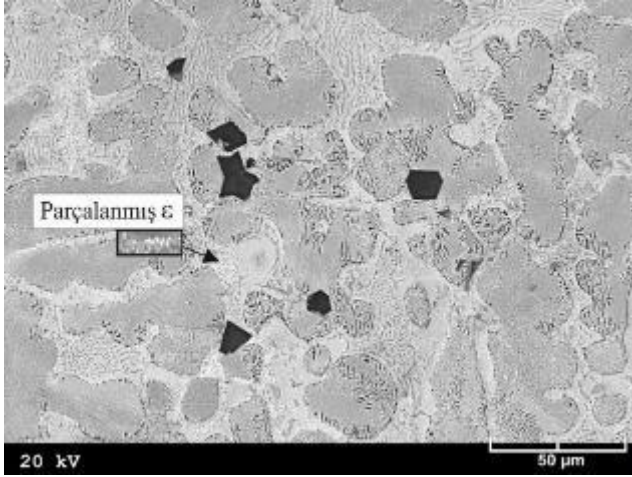
Tablo 2. SAE 660 Bronzunun kimyasal bileşimi

Alaşım	Kimyasal bileşim oranı (% ağırlık)			
	Cu	Sn	Pb	Zn
SAE 660 bronz	82,8	6,9	6,3	4,0

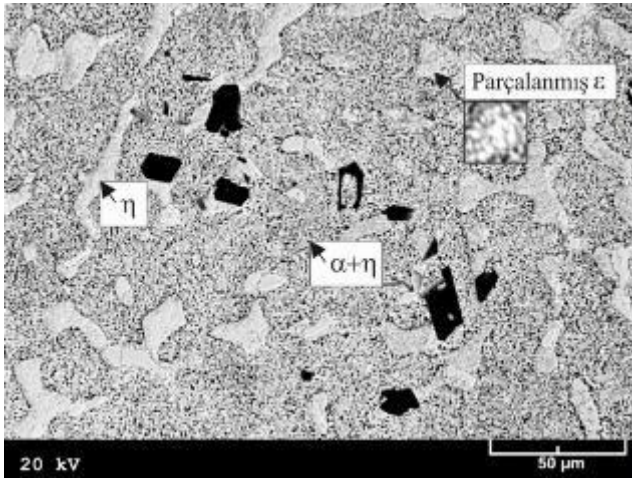
Zn-15Al-3Cu-1Si alaşımının dökülmüş durumdaki iç yapısının SEM görüntüsü Şekil 2'de verilmiştir. Bu şekil, söz konusu alaşımın iç yapısının α , β , η ve ϵ fazları ile birlikte silisyum parçacıklarından oluştuğunu göstermektedir. Bu alaşıma uygulanan T5 ve T7 ısıt işlemleri sonrasında elde edilen iç yapı görüntüleri sırasıyla Şekil 3 ve 4'de verilmiştir. Bu görüntüler T5 ısıt işleminin Zn-15Al-3Cu-1Si alaşımının dendritik yapısını etkilemeden ϵ fazının parçalanarak küçülmesine yol açtığını göstermektedir. T7 ısıt işleminin ise alaşımın dendritik yapısının tamamen ortadan kalkmasına ve ϵ fazının parçalanarak boyutunun azalmasına neden olduğu belirlendi. Ancak T5 ve T7 ısıt işlemlerinin söz konusu alaşımın iç yapısında bulunan silisyum parçacıkları üzerinde etkili olmadığı gözlemlendi. SAE 660 bronzunun iç yapısının ise bakırca zengin α dendritleri ile bunları çevreleyen ötektoid α ve δ fazlarından oluştuğu görüldü, (Şekil 5).



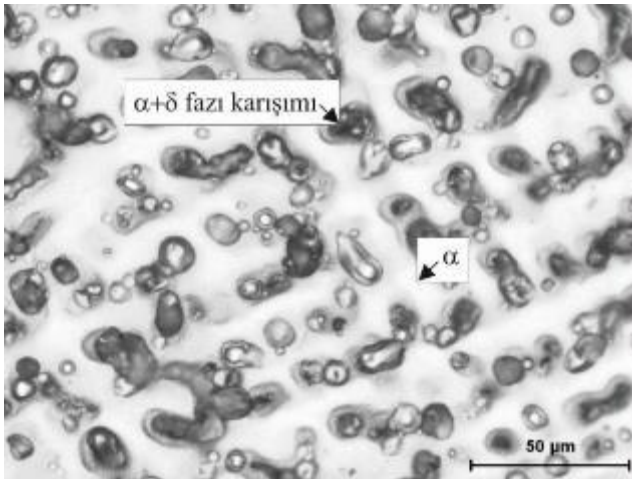
Şekil 2. Zn15Al-3Cu-1Si alaşımının dökülmüş durumdaki numunesinin iç yapısının SEM görüntüsü



Şekil 3. Zn15Al-3Cu-1Si alaşımlarının T5 ısıl işlemine tabi tutulmuş numunesinin içyapısının SEM görüntüsü



Şekil 4. Zn15Al-3Cu-1Si alaşımlarının T7 ısıl işlemine tabi tutulmuş numunesinin içyapısının SEM görüntüsü



Şekil 5. SAE 660 bronzunun içyapısının SEM görüntüsü

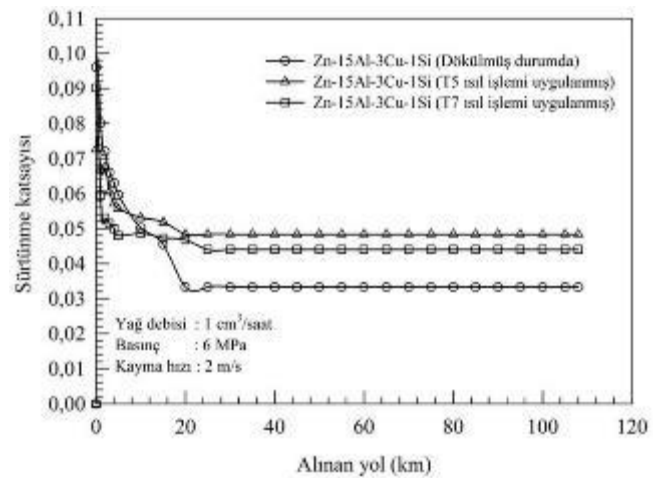
Uygulanan T5 ve T7 ısıl işlemlerinin Zn-15Al-3Cu-1Si alaşımlarının yoğunluk, sertlik, çekme dayanımı ve kopma uzaması değerlerinin azalmasına yol açtığı görüldü, (Tablo 3). T5 ısıl işlemi sonrasında söz konusu alaşımda mekanik özelliklerinde gözlenen değişimler döküm sırasındaki denge dışı soğumadan kaynaklanan artık gerilmelerin azalmasından ve metastabil fazların dönüşmesinden kaynaklandığı bilinmektedir [9, 10]. T7 ısıl işlemi ile alaşımların sertlik ve

mukavemet değerlerinin azalması ise aşırı yaşlandırma devresinde bağdaşıklık gerilmelerinde meydana gelen azalma ve tane büyümesi etkisinden kaynaklanmaktadır [15, 16]. Kopma uzaması değerlerinin T5 ısıl işlemi ile azalması ε fazının parçalanarak keskin köşeli ince parçacıklar oluşturmasından, T7 ısıl işlemi ile azalması ise bu fazın α fazı ile tepkimeye girerek kendisinden daha sert ve gevrek olan T' fazını oluşturmasından kaynaklanmış olabilir [17].

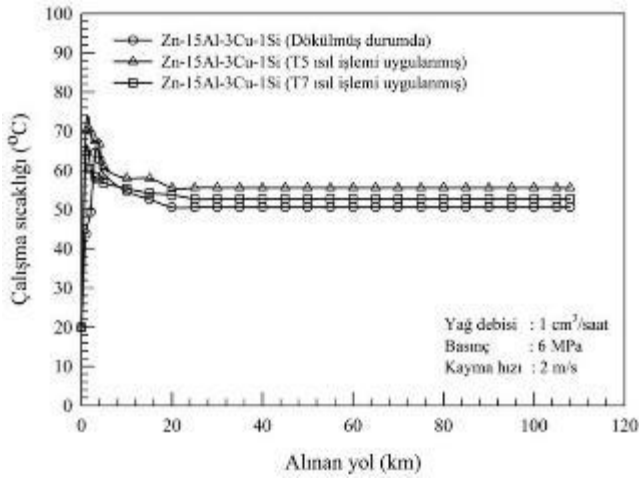
Tablo 3. Zn-15Al-3Cu-1Si alaşımlarının ve SAE 660 bronzunun yoğunluk, sertlik, çekme dayanımı ve kopma uzaması değerleri

Alaşım	Yoğunluk (kg/m ³)	Sertlik (RSD-F)	Çekme dayanımı (MPa)	Kopma uzaması (%)
Zn-15Al-3Cu-1Si	5696,70	92	314	1,9
Zn-15Al-3Cu -1Si (T5)	5670,45	82	240	0,8
Zn-15Al-3Cu-1Si (T7)	5677,10	85	295	1,6
SAE 660 bronz	8901,14	83	295	15

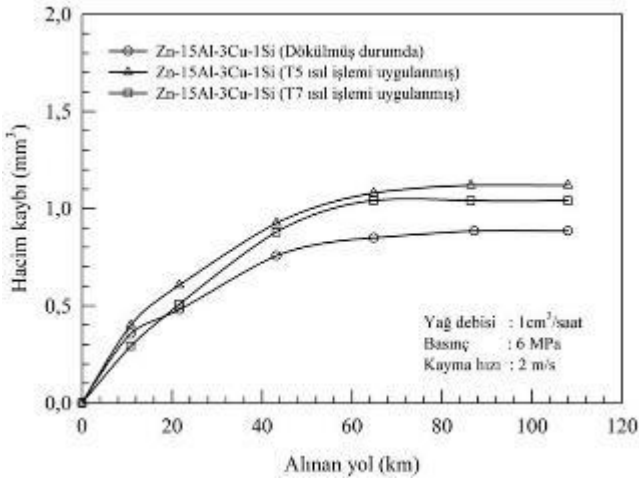
İncelenen alaşımların sürtünme katsayısı, çalışma sıcaklığı ve hacim kaybı değerlerinin alınan yola göre değişimlerini gösteren eğriler Şekil 6-9'da verilmiştir. Zn-15Al-3Cu-1Si alaşımlarının dökülmüş ve ısıl işlem görmüş durumdaki numuneleri ve SAE 660 bronzunun sürtünme katsayısı ve sıcaklık değerlerinin deneylerin başlangıç aşamasında hızlı bir artış gösterdikten sonra bir miktar azalarak 20-30 km aralığında yer alan kayma yolu sonunda sabit kaldıkları görüldü (Şekil 6-9). Alaşımlarda aşınma ile meydana gelen hacim kayıplarının ise hızlı bir artıştan sonra artan kayma yolu ile azalarak sabit sayılabilecek değerlere ulaştıkları görüldü (Şekil 8 ve 9). Sürtünme katsayısı, sıcaklık ve hacim kaybı değerlerinin rodaj devresi olarak da adlandırılan deneylerin başlangıç aşamasında hızlı bir şekilde artması yüzeyler arasında yeterli kalınlıkta yağ filminin oluşmaması nedeniyle meydana gelen metal-metal temasından kaynaklanmaktadır [18, 19]. 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.



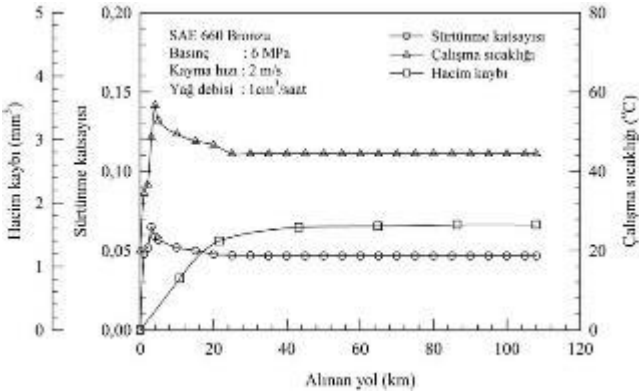
Şekil 6. Yağlı durumda aşınma deneyine tabi tutulan Zn-15Al-3Cu-1Si alaşımlarının dökülmüş ve ısıl işlem görmüş numunelerinin sürtünme katsayılarının alınan yola göre değişimlerini gösteren eğriler



Şekil 7. Yağlı durumda aşınma deneyine tabi tutulan Zn-15Al-3Cu-1Si alaşımının dökülmüş ve ısıl işlem görmüş numunelerinin sıcaklık değerlerinin alınan yola göre değişimlerini gösteren eğriler



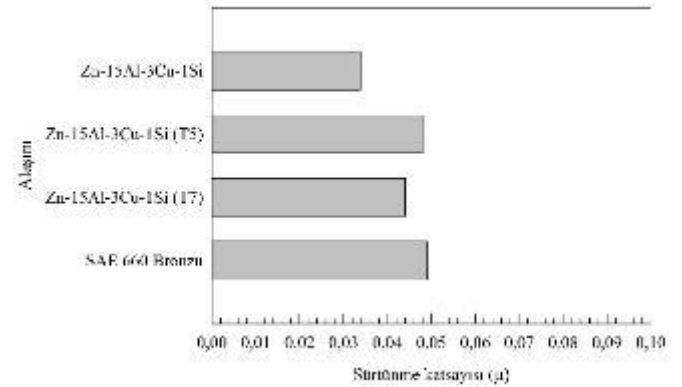
Şekil 8. Yağlı durumda aşınma deneyine tabi tutulan Zn-15Al-3Cu-1Si alaşımının dökülmüş ve ısıl işlem görmüş numunelerinde meydana gelen hacim kaybı değerlerinin alınan yola göre değişimlerini gösteren eğriler



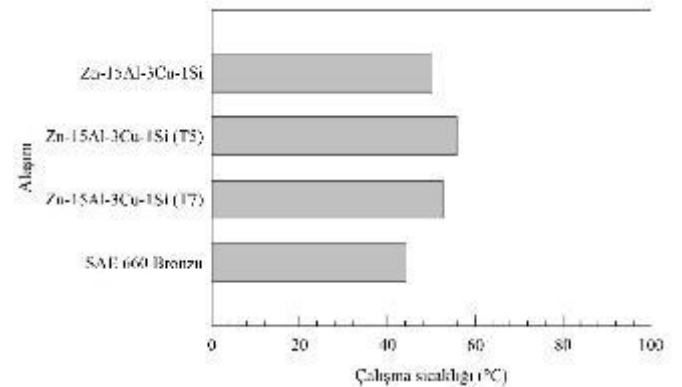
Şekil 9. Yağlı durumda aşınma deneyine tabi tutulan SAE 660 bronzunun sıcaklık, sürtünme katsayısı ve hacim kaybı değerlerinin alınan yola göre değişimlerini gösteren eğriler

Zn-15Al-3Cu-1Si alaşımının dökülmüş ve ısıl işlem görmüş numuneleri ile SAE 660 bronzunun sürtünme katsayısı, çalışma sıcaklığı ve hacim kaybı değerleri karşılaştırmalı olarak sırasıyla Şekil 10-12'deki çubuk grafiklerinde verilmiştir. Zn-15Al-3Cu-1Si alaşımının hem dökülmüş hem de ısıl işlem görmüş durumlardaki numunelerinin SAE 660 bronzundan daha düşük sürtünme katsayısı ve hacim kaybı değerleri sergiledikleri görülmüştür (Şekil 10, 12). Ancak SAE 660 bronzunun çalışma sıcaklığının daha düşük olduğu

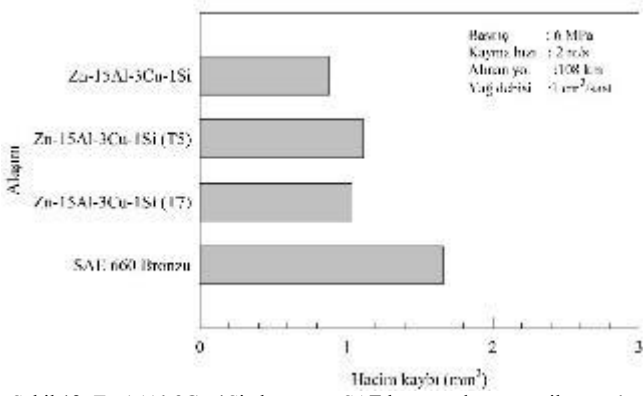
görülmüştür (Şekil 11). Zn-15Al-3Cu-1Si alaşımına ait numunelerin sürtünme katsayısı ve hacim kaybı değerlerinin daha düşük olması, çinko esaslı alaşımların tribolojik uygulamalar için ideal bir içyapıya sahip olmalarından yani hem kaymayı kolaylaştırıcı hem de yük taşıyıcı fazlar içermelerinden kaynaklanmaktadır [12, 20]. Ayrıca, nispeten yüksek sertlik ve mukavemet değerlerine sahip olmalarının yanı sıra yüzeylerinde yük taşıma kapasitesini artıran alüminyum oksit (alümina) ve kaymayı kolaylaştıran çinko oksit filmlerinin oluşmasının da sürtünme katsayısını düşürdüğü ve aşınma direncini artırdığı bilinmektedir [12, 20]. SAE 660 bronzunun çalışma sıcaklığının düşük olması ise aşınma miktarı nispeten yüksek olan bu alaşımdan ayrılan aşınma parçacıklarının sürtünme ısısını sistemden uzaklaştırmasından kaynaklanmış olabilir. Zn-15Al-3Cu-1Si alaşımı ve SAE bronzuna ait numuneler üzerinde yapılan SEM incelemeleri sonucunda numunelerin yüzeylerinde sıvanma tabakası ile çiziklerin yer aldığı gözlemlendi (Şekil 13-16). Alaşımların sürtünme katsayısı, sıcaklık ve hacim kaybı eğrilerine bakıldığında sıvanma tabakası ve çizik şeklindeki aşınma belirtilerinin rodaj dönemi olarak adlandırılan başlangıç aşamasında meydana gelen metal-metal temasından kaynaklandığı söylenebilir.



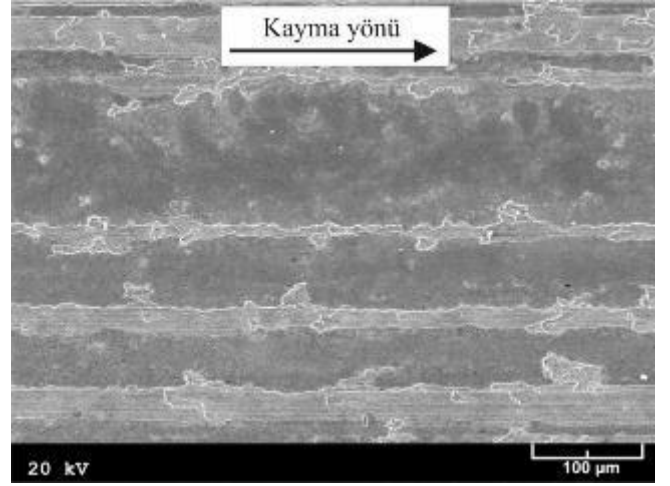
Şekil 10. Zn-15Al-3Cu-1Si alaşımı ve SAE bronzunun sürtünme katsayısı değerlerini gösteren çubuk grafiği



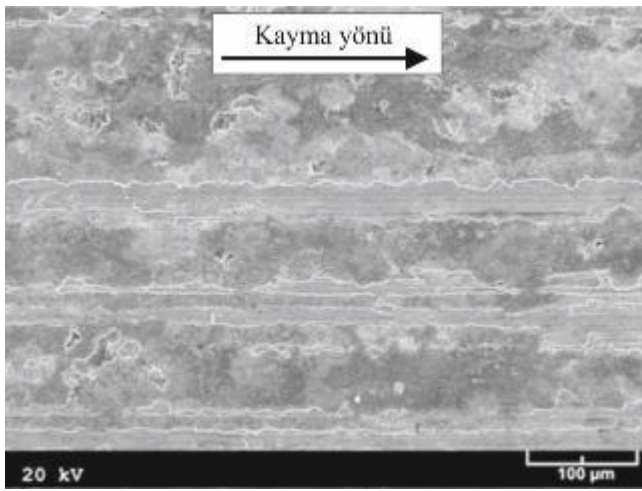
Şekil 11. Zn-15Al-3Cu-1Si alaşımı ve SAE bronzunun çalışma sıcaklığı değerlerini gösteren çubuk grafiği



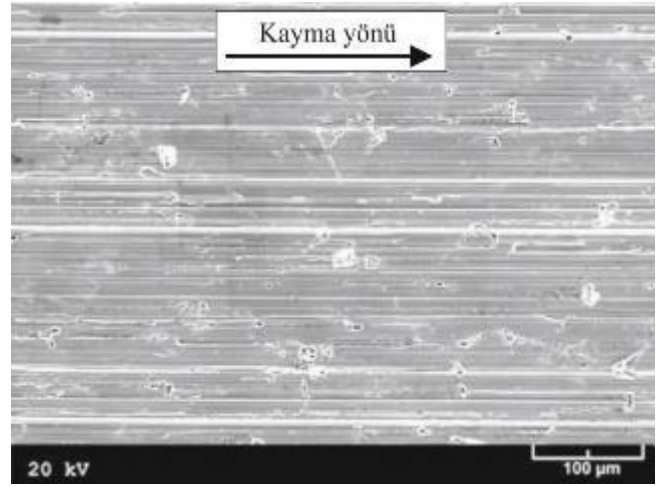
Şekil 12. Zn-15Al-3Cu-1Si alaşımı ve SAE bronzunda aşınma ile meydana gelen hacim kaybı değerlerini gösteren çubuk grafiği



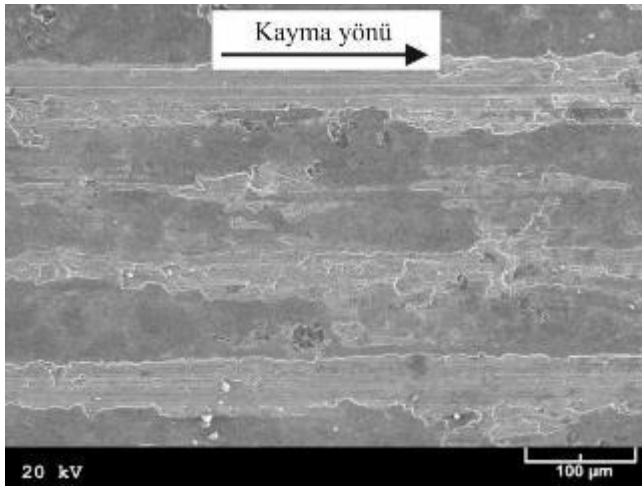
Şekil 15. Yağlı durumda uzun mesafeli aşınma deneyine tabi tutulan Zn-15Al-3Cu-1Si alaşımının T7 ısıl işlemi görmüş durumdaki numunesinin yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü



Şekil 13. Yağlı durumda uzun mesafeli aşınma deneyine tabi tutulan Zn-15Al-3Cu-1Si alaşımının dökülmüş durumdaki numunesinin yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü



Şekil 16. Yağlı durumda uzun mesafeli aşınma deneyine tabi tutulan SAE 660 bronzuna ait numunenin yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü



Şekil 14. Yağlı durumda uzun mesafeli aşınma deneyine tabi tutulan Zn-15Al-3Cu-1Si alaşımının T5 ısıl işlemi görmüş durumdaki numunesinin yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü

IV. SONUÇLAR

Zn-15Al-3Cu-1Si alaşımının içyapısı β , ötektik $\beta + \eta$, ötektoid $\alpha + \eta$ ve ϵ fazlarının yanı sıra birincil silisyum parçacıklarından oluşmaktadır. T5 ısıl işlemi Zn-15Al-3Cu-1Si alaşımının dendritik yapısının görünümünü etkilememekte, ancak ϵ fazının parçalanarak boyutunun küçülmesine yol açmaktadır. T7 ısıl işlemi sonunda Zn-15Al-3Cu-1Si alaşımının dendritik yapısı tamamen ortadan kalkarak bunun yerini α ve η fazlarından oluşan ince taneli bir yapı almakta ve ϵ fazı kısmen dönüşmektedir. T5 ve T7 ısıl işlemleri Zn-15Al-3Cu-1Si alaşımının sertlik, çekme dayanımı, kopma uzaması ve aşınma direnci değerlerini farklı oranlarda azaltmaktadır. Zn-15Al-3Cu-1Si alaşımı hem dökülmüş hem de T5 ve T7 ısıl işlemi görmüş durumlarda SAE 660 bronzundan daha yüksek aşınma direnci sergilemektedir.

TEŞEKKÜR

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

KAYNAKLAR

- [1] T. Savaşkan, and Y. Alemdağ, "Effects of pressure and sliding speed on the friction and wear properties of Al-40Zn-3Cu-2Si alloy: A comparative study with SAE 65 bronze," *Mat Sci Eng A-Struct.*, vol. 496, pp. 517–523, Nov. 2008.
- [2] B. K. Prasad, "Sliding wear response of a zinc-based alloy and its composite and comparison with a gray cast iron: influence of external lubrication and microstructural features," *Mat Sci Eng A-Struct.*, vol. 392, pp. 427–439, Feb. 2005.
- [3] P. Delneuve, "Tribological behaviour of Zn-Al alloys (ZA27) compared with bronze when used as a bearing material with high load and very low speed," *Wear*, vol. 105, pp. 283–292, Oct. 1985.
- [4] F. E. Goodwin, and A. L. Ponikvar, *Engineering Properties of Zinc Alloys*, International Lead Zinc Research Organization, 3rd, USA, 1989.
- [5] 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.
- [6] W. Köster, and K. Moeller, "The constitution and volume changes of Zn-Cu-Al alloys. V. The division of the ternary phases at low temperatures," *Z. Metallkd.*, vol. 34, pp. 206–207, 1942.
- [7] W. Köster, and K. Moeller, "On the synthesis and constitution of zinc-copper-aluminum alloys. II. The correlation of CuAl with the ternary crystalline phase," *Z. Metallkd.*, vol. 33 pp. 284–288, 1941.
- [8] W. Köster, "On the synthesis and constitution of alloys of brass. III. Review of the equilibrium in copper-aluminum-zinc System," *Z. Metallkd.*, vol. 33, pp. 289–296, 1941.
- [9] A. P. Hekimoğlu, "Bakır ve/veya silisyum içeren Zn-15Al esaslı alaşımların yapısal, mekanik ve tribolojik özelliklerinin incelenmesi" PhD thesis, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye, Tem. 2013.
- [10] T. Savaşkan, and A. P. Hekimoğlu, "Effect of quench ageing treatment on the microstructure and properties of Zn-15Al-3Cu alloy," *Int J Mater Res.*, vol. 106, pp. 481–487, Feb. 2015.
- [11] 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.
- [12] 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
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] B. K. Prasad, "Influence of heat treatment parameters on the lubricated sliding wear behaviour of a zinc based alloy," *Wear*, vol. 257, pp. 1137–1144, Dec. 2004.
- [16] M. T. Jovanović, I. Bobić, B. Djurić, N. Grohovac, and N. Ilić, "Microstructural and sliding wear behaviour of a heat-treated zinc-based alloy," *Tribol Lett.*, vol. 25, pp. 173–184, Oct. 2007.
- [17] B. Bobić, S. Mitrović, M. Babić, A. Vencl, and I. Bobić, "Corrosion behavior of the as-cast and heat-treated ZA27 alloy," *Tribology in Industry*, vol. 33, pp. 87–93, Jun. 2011.
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] S. Murphy, and T. Savaşkan, "Comparative wear behaviour of Zn-Al-based alloys in an automotive engine application," *Wear*, vol. 98, pp. 151–161, Nov. 1984.