



Çözündürme ve Yaşlandırma İşleminin Al-7Si-4Zn-3Cu Alaşımının Sürtünme ve Aşınma Özelliklerine Etkisi

Effect of Age Hardening on the Wear Behaviour of the Al-7Si-4Zn-3Cu Alloy

Yasin Alemdağ¹ , Murat Beder² 

¹Department of Mechanical Engineering, Karadeniz Technical University, Trabzon-TURKEY

²Department of Mechanical Engineering, Gümüşhane University, Gümüşhane-TURKEY

Başvuru/Received: 25/02/2019

Kabul/Accepted: 15/05/2019

Son Versiyon/Final Version: 30/06/2019

Öz

Bu çalışmada, çözündürme ve su verme işleminden sonra T6 ve T7 koşullarında yaşlandırma işlemine tabi tutulan Al-7Si-4Zn-3Cu alaşımının sürtünme ve aşınma özellikleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar söz konusu alaşımın dökülmüş durumu ile karşılaştırılmıştır. Bu işlemlerden sonra alaşımın sürtünme katsayısının arttığı ancak aşınma kaybının azaldığı gözlenmiştir. Özellikle T6 ve T7 ısıtma işlemleri uygulanmış alaşımın yüksek yük ve kayma hızlarında dökülmüş durumuna göre oldukça üstün aşınma direnci sergilediği görülmüştür. Diğer taraftan T6 ısıtma işleminin T7 ısıtma işlemine göre alaşımın aşınma direnci üzerinde daha etkili olduğu belirlenmiştir. Elde edilen bu sonuçlar hem dökülmüş hem de ısıtma işlemi görmüş durumdaki alaşımın sertlik ve mukavemetleri ile bu alaşımda ortaya çıkan aşınma mekanizmalarına dayandırılarak açıklanmıştır.

Anahtar Kelimeler

“Al-Si alaşımları, mikro yapı, yaşlandırma, sürtünme ve aşınma”

Abstract

In this study, the friction and wear properties of the Al-7Si-4Zn-3Cu alloy aged T6 and T7 conditions after its solutionizing and quenching treatment were investigated. The results obtained from heat treated alloy were compared to its as-cast state. The friction coefficient of the alloy increased but its volume loss decreased after the T6 and T7 heat treatments. It was especially observed that the alloy aged T6 and T7 conditions exhibited higher wear resistance than its as-cast state at high load and sliding speed. On the other hand, T6 heat treatment was determined to be more powerful effect than the T7 to improve the wear resistance of the alloy. The results obtained were explained in terms of the hardness and strength of the alloy with its wear mechanism at both heat treated and as-cast states.

Key Words

“Al-Si alloys, microstructure, quench aging, mechanical properties, friction and wear”

1. Giriş

Alüminyum-silisyum alaşımları özgül mukavemetinin (mukavemet/yoğunluk) ve aşınma direncinin yüksek olması, döküme ve işlenmeye elverişli olması, yüksek korozyon direncine ve termal iletkenliğe sahip olması gibi bazı üstün özelliklere sahiptir (Bai & Biswas, 1987; Clarke & Sarkar, 1979; Jasim & Dwarakadasa, 1987; Sarkar, 1975; Sarkar & Clarke, 1980; Torabian, Pathak, & Tiwari, 1994). Bu özelliklerin söz konusu alaşımların içerdiği silisyum oranına bağlı olduğu bilinmektedir (Alemdag & Beder, 2014; El-Salam, El-Khalek, Nada, Wahab, & Zahran, 2010; Nikanorov et al., 2005; Sarkar & Clarke, 1980). Silisyum oranı arttıkça bu alaşımların sertliğinin sürekli arttığı çekme dayanımlarının ise yaklaşık %12 Si oranında en yüksek değerine ulaştıktan sonra bir düşüş sergilediği belirlenmiştir (Bai & Biswas, 1987; Jasim & Dwarakadasa, 1987; Sarkar & Clarke, 1980; Torabian et al., 1994). Diğer taraftan Al-Si alaşımların aşınma direncinin artan silisyum oranı ile arttığı, özellikle aşırı yük ve hızlarda ötektik üstü alaşımların gerek ötektik gerekse ötektik altı alaşımlardan daha üstün aşınma davranışı ortaya koyduğu görülmüştür (Dwivedi, 2010; Ye, 2003). Ancak ötektik üstü alaşımların içyapılarında bulunun sert ve gevrek iri silisyum parçacıklarının hem bu alaşımların işlenmesinde kullanılan kesici takımların aşınmasına hem de eş çalıştığı yüzeylerde abrazyona yol açtığı tespit edilmiştir (Alemdag & Beder, 2014; Alemdag & Savaskan, 2008; Cui, Schulz, Matthaei-Schulz, & Zoch, 2009; Prasad, 1997; Savaskan & Aydiner, 2004; Savaskan & Bican, 2005). Bu durumun ötektik üstü alaşımların kullanımını sınırlayan önemli bir sorun olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle Al-Si esaslı alaşım grubu içerisinde ötektik altı Al-7Si ve ötektik Al-12Si esaslı alaşımların içten yanmalı motorlara ait bazı parçaların üretiminde ve kaymalı yatak yapımında daha yaygın kullanıldığı göze çarpmaktadır.

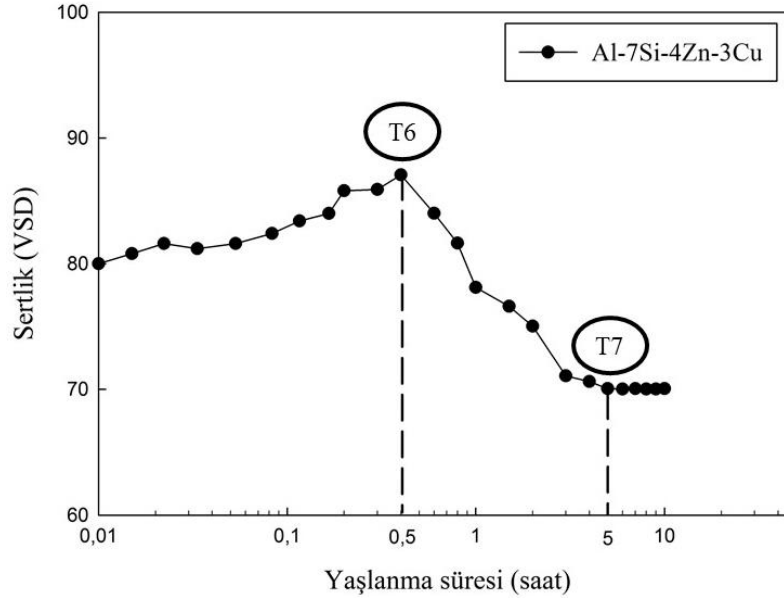
İkili Al-Si alaşımlarının mekanik ve tribolojik özelliklerinin pek çok uygulama için yeterli olmadığı bilinmektedir (Chen & Thomson, 2010; Eshaghi, Ghasemi, & Rassizadehghani, 2011; Raghavan, 2007; Savaskan, Hekimoglu, & Purcek, 2004; Tiryakioglu, 2008; Zedan, Samuel, Samuel, & Doty, 2010). Bu özelliklerin iyileştirilmesinde alaşımlama ve ısıl işlemin en uygun ve kolay uygulanabilir yöntemler olduğu görülmüştür (Anasyida, Daud, & Ghazali, 2010; Cho, Hockey, Lawn, & Bennison, 1989; Fatahalla, Hafiz, & Abdulkhalek, 1999; Kori, Murty, & Chakraborty, 2000; Mohamed, Samuel, Samuel, & Doty, 2009; Nogita et al., 2010; Xu, Yang, Wang, & Jiang, 2007). Bu nedenle Al-Si alaşımlarına bakır, demir, magnezyum, mangan, nikel, kurşun ve çinko gibi alaşım elementleri katılmış, elde edilen bazı alaşımlara ise normalizasyon, çözündürme ve yaşlandırma gibi ısıl işlemler uygulanmıştır (Chen & Thomson, 2010; Eshaghi et al., 2011; Raghavan, 2007; Savaskan & Aydiner, 2004; Savaskan et al., 2004; Tiryakioglu, 2008; Zedan et al., 2010). Alaşım elementleri arasında magnezyum, bakır ve çinko elementlerinin, ısıl işlemler içerisinde ise çözündürme ve yaşlandırma ısıl işleminin söz konusu alaşımların özelliklerini iyileştirmede çok daha etkili olduğu görülmüştür (Alemdag & Beder, 2014; Birol, 2008; Cho et al., 1989; Kori et al., 2000; Nogita et al., 2010). Alemdağ ve Beder (2014) tarafından yapılan bir çalışmada çinko ve bakırın Al-7Si esaslı alaşımın mekanik ve aşınma özellikleri üzerindeki etkisi sistematik olarak incelenmiş, bu çalışmanın sonucunda üçlü Al-7Si-4Zn ve dördü Al-7Si-4Zn-3Cu alaşımları geliştirilmiştir (Alemdag & Beder, 2014). Diğer taraftan dördü Al-7Si-4Zn-3Cu alaşımının üçlü Al-7Si-4Zn alaşımına göre daha üstün mekanik ve tribolojik özellikler sergilediği belirlenmiştir (Alemdag & Beder, 2014). Bu durumun bakırın düşük oranlarda da olsa α -Al fazı içerisindeki çözünürlüğünden ve bakırca zengin CuAl_2 (θ) fazının oluşumundan kaynaklandığı belirlenmiştir (Chen & Thomson, 2010; Eshaghi et al., 2011; Raghavan, 2007; Savaskan & Aydiner, 2004; Savaskan et al., 2004; Tiryakioglu, 2008; Zedan et al., 2010). Ancak bu alaşımın çözündürme ve yaşlandırma uygulanmış durumundaki aşınma davranışı henüz belirlenmemiştir. Bu nedenle bu çalışmada çözündürme ve yaşlandırma ısıl işleminin söz konusu alaşımın sürtünme ve aşınma özelliklerine etkisi incelenmiştir. Bu kapsamda çözündürme ve su verme işlemin ardından yaşlandırma işlemine tabi tutulan alaşımın yaşlandırılmış (T6) ve aşırı yaşlandırılmış (T7) durumundaki özellikleri döküm durumu ile karşılaştırılıp bu işlemlerin söz konusu alaşımın sürtünme ve aşınma davranışına etkisi belirlenmeye çalışılmıştır.

2. Gereç ve yöntemler

2.1. Alaşım Üretimi, ısıl işlemi ve içyapısı

Bu çalışma için kullanılan Al-7Si-4Zn-3Cu alaşımı kokil kalıba döküm yöntemi ile üretildi. Alaşımın üretiminde ticari saflıkta Al (%99,7), yüksek saflıkta Zn (%99,9), Al-50Cu ve Al-12Si alaşımları kullanıldı. Bu malzemeler bir elektrikli fırın içerisinde 700°C sıcaklıkta eritildikten sonra 5 dakika süreyle karıştırıldı ve ardından 690 °C'den oda sıcaklığında tutulan orta karbonlu çelikten imal edilmiş Ø57 mm x Ø72 mm x 180 mm boyutlarındaki konik kalıba dökülerek katılaştırıldı. Katılama tamamlandıktan sonra alaşım kalıptan çıkarıldı ve kimyasal bileşimi spektral analiz yöntemi kullanılarak belirlendi. Bu analiz sonucunda alaşımın kimyasal bileşiminde %85,2 Al, %7,3 Si, %4,3 Zn ve %3,2 Cu bulunduğu tespit edildi. Söz konusu alaşımdan talaşlı imalat yöntemi ile 10 mm x 10 mm x 20 mm boyutunda numuneler hazırlandı. Bu numuneler 450 °C sıcaklıkta 36 saat çözündürme işlemine tabii tutulduktan sonra suda soğutuldu ve 150 °C sıcaklıkta 10 saat süreyle yapay yaşlandırıldı. Bu süreç zarfında çeşitli zaman aralıklarında numunelerin sertlikleri ölçüldü ve alaşımın sertliğinin yaşlandırma süresine göre değişimini gösteren eğri elde edildi, Şekil 1. Bu eğriden yararlanarak T6 ve T7 ısıl işlemleri için yaşlandırma süresi sırasıyla 30 dakika ve 5 saat olarak belirlendi.

Metalografik incelemeler için hem dökülmüş hem de ısıl işlem görmüş alaşımdan alınan numuneler soğuk kalıplama, taşlama ve parlatma işlemlerinden oluşan standart metalografi yöntemiyle hazırlandı. Bu numuneler nitrik asit (% 6 HN03 +% 94 alkol) çözeltisi içerisinde dağlandı. Dağlama işleminin ardından numunelerin içyapıları optik mikroskopta incelenerek (OM) fotoğrafları çekildi.



Şekil 1. Al-7Si-4Zn-3Cu alaşımının sertliğinin yaşlandırma süresine göre değişimini gösteren eğri

2.2. Sertlik ve çekme deneyleri

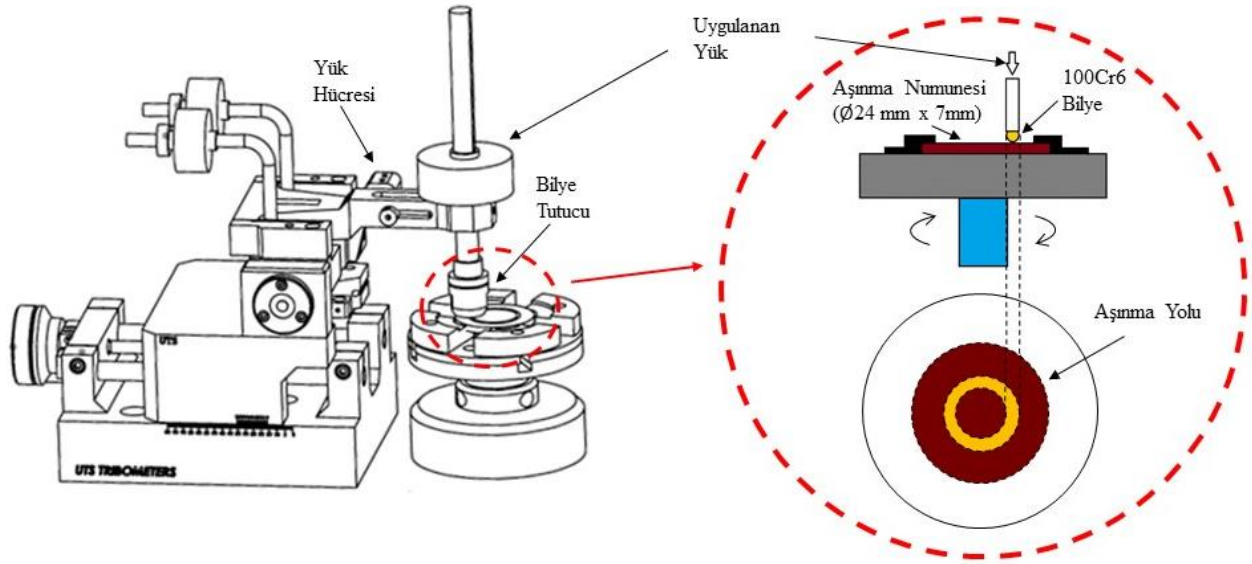
Dökülmüş ve ısıtılmış işlem görmüş durumdaki alaşımın sertliği 50 gf büyüklüğünde bir yük kullanılarak Vickers sertlik ölçme yöntemi ile ölçüldü. Alaşımın çekme dayanımının belirlenmesinde tel erozyon yöntemi ile 2,5 mm x 5,6 mm x 20 mm boyutlarında üretilen yassı biçimde numuneler kullanıldı ve bu numuneler oda sıcaklığında $5 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ deformasyon hızında çekme deneyine tabi tutuldu. Sertlik ve çekme deneyleri için en az beş ölçüm yapıldı ve bu ölçümlerin ortalaması alınarak söz konusu değerler belirlendi.

2.3. Sürtünme ve aşınma deneyleri

Alaşımın sürtünme ve aşınma deneyleri ASTM: G99 standartlarına uygun olarak tasarlanmış bilye-disk esaslı bir deney düzeneğinde gerçekleştirildi. Bu deney düzeneğinin genel görünümü ile test bölgesinin ayrıntısı Şekil 2'de şematik olarak gösterilmiştir. Sürtünme ve aşınma deneyleri için dökülmüş ve ısıtılmış işlem görmüş durumdaki alaşımdan $\varnothing 24 \text{ mm} \times 7 \text{ mm}$ boyutlarında numuneler hazırlandı. Bu numunelerin yüzeyleri otomatik taşlama ve parlatma makinasında taşlandı ve ardından da parlatıldı. Bu işlemlerden sonra numunelerin yüzey pürüzlülüğü $0,15 \pm 0,05 \mu\text{m}$ olarak ölçüldü. Söz konusu numuneler için aşındırıcı yüzey olarak 6 mm çapında 100Cr6 çelik bilye kullanıldı.

Sürtünme ve aşınma deneylerinden önce numuneler ultrasonik bir temizleyicide temizlendi ve kütleleri $\pm 0,01 \text{ mg}$ hassasiyete sahip bir terazi ile ölçüldü. Bu işlem aşınma deneyinden sonra da tekrarlandı ve ölçülen kütle kaybı alaşımın yoğunluğuna bölünerek hacim kaybına dönüştürüldü. Sürtünme ve aşınma deneyleri $0,16 \text{ ms}^{-1}$ lik kayma hızında ve farklı yüklerde (2,5-12,5 N) ve 5N'luk sabit bir yükte ve farklı kayma hızlarında ($0,08-0,22 \text{ ms}^{-1}$) 1000 m'lik yola karşılık gelen kayma mesafesinde yapıldı. Her bir koşul için sürtünme kuvveti bir sensör vasıtasıyla ölçüldü ve bu değerler bir yazılım ile bilgisayar ortamına aktarıldı. Ölçülen sürtünme kuvveti normal yüke bölünerek sürtünme katsayısına dönüştürüldü ve bu değerlerin alınan yola göre değişimlerini gösteren eğriler elde edildi. Sürtünme katsayısının kararlı değişim sergilediği bölgedeki ortalama değerleri alınarak farklı yük ve kayma hızlarındaki alaşıma ait ortalama sürtünme katsayısı değerleri belirlendi.

Alaşımın dökülmüş ve ısıtılmış işlem görmüş durumdaki etkin aşınma mekanizmasını belirlemek için aşınma deneylerinden sonra bunlara ait numunelerin yüzeyleri bir taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelendi ve fotoğrafları çekildi.

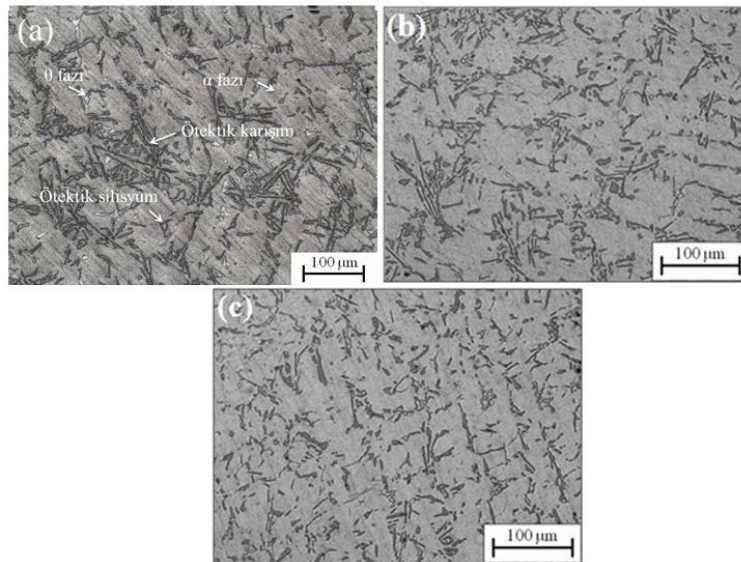


Şekil 2. Bilye-disk esaslı aşınma düzeneğinin ve test bölgesinin şematik gösterimi.

3. Bulgular ve tartışma

3.1. Yapısal incelemelerden elde edilen bulgular

Alaşımın döküm ve ısıtılma işlem görmüş durumundaki iç yapısını gösteren OM fotoğrafları Şekil 3 (a-c) verilmiştir. Dökülmüş durumdaki alaşımın iç yapısının α -Al dendritleri, lamel biçimindeki α -Al-Si ötektik karışımı, çok az miktarda birincil silisyum kristalleri ve bakırca zengin CuAl_2 (θ) fazından oluştuğu görülmüştür, Şekil 3 (a). Bu durum söz konusu alaşımın katılaşma davranışına dayandırılarak açıklanabilir. Ötektik altı olan bu alaşım, katılaşmaya başladığında ilk önce dendrit biçimindeki α -Al taneleri oluşur ve bu taneler sürekli sıvıdan atom çekerek büyürler. Geriye kalan sıvının kimyasal bileşimi ötektik dönüşüm için gerekli bileşime ulaştığında ötektik dönüşüm meydana gelir ve bunun sonucunda α -Al ve Si kristallerinden oluşan lamel biçimindeki faz karışımı meydana gelir. Ancak çinkonun tamamının ve bakırın ise yaklaşık %1,5 oranında alüminyum içerisinde çözüldüğü geriye kalan bakırın ise alüminyumla reaksiyona girerek θ kristallerini oluşturduğu görülmüştür. Bu durum ötektik dönüşümün %12 Si oranından daha düşük silisyum oranların da meydana gelmesine yol açmış olabilir. Nitekim alaşımlarında gözlenen birincil Si kristallerinin Al-Si faz diyagramındaki ötektik noktanınsola doğru kaymasından dolayı oluştuğu düşünülmektedir. T6 ve T7 ısıtılma işlemleri sonucunda alaşımın dendritik yapısının nispeten ortadan kalktığı gözlenmiştir, Şekil 3 (b,c). Bu durum çözündürme işlemi sonucunda elde edilen α -Al matrisinin hızlı soğutulması neticesinde dendritik formunu kaybetmesinden kaynaklanmış olabilir.



Şekil 3. Al-7Si-4Zn-3Cu alaşımının (a)dökülmüş (b) T6 ve (c) T7 ısıtılma işlem görmüş durumundaki iç yapısını gösteren OM fotoğrafları

3.2. Sertlik ve Çekme Deneylerinden Elde Edilen Bulgular

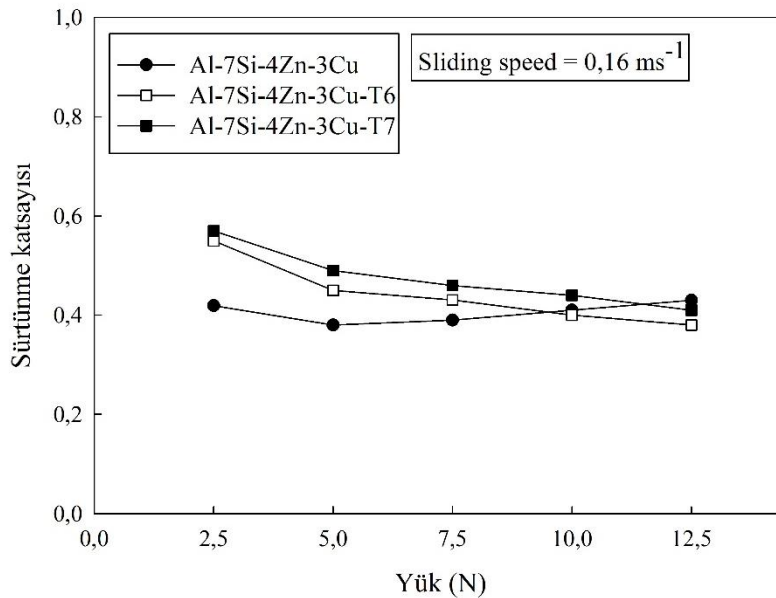
Dökülmüş ve ısıtılmış işlem görmüş durumdaki alaşımın sertliği, akma ve çekme dayanımları ile kopma uzaması değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Bu tabloda görüldüğü gibi alaşımın sertliği T6 ısıtılmış işlemi sonunda artmış, T7 ısıtılmış işleminden sonra ise azalmıştır. Diğer taraftan hem T6 hem de T7 ısıtılmış işlemi sonucunda alaşımın akma ve çekme dayanımı ile kopma uzaması değerlerinin arttığı belirlenmiştir. Bu sonuçlar söz konusu alaşımın yaşlanma davranışına dayandırılarak açıklanabilir (Chen & Thomson, 2010; Eshaghi et al., 2011; Raghavan, 2007; Savaskan & Aydinler, 2004; Savaskan et al., 2004; Tiryakioglu, 2008; Zedan et al., 2010). Çözündürme işlemi uygulanan alaşımda bakırın α -Al matrisi içerisinde çözündüğü ancak silisyum parçacıklarının bu işlemle etkilenmediği görülmüştür. Su verme işleminden sonra elde edilen aşırı doymuş katı çözeltilerin yaşlandırılması sonucunda θ fazının tekrar oluştuğu belirlenmiştir. Bu fazın α -Al matrisinden ayrışması sırasında ortaya çıkan bağdaşıklık gerilmeleri α -Al matrisinin kafes yapısını çarpıtmış olabilir. Bu durum dislokasyon hareketlerini zorlaştırarak veya engelleyerek alaşımın sertlik ve mukavemetinin artmasına yol açmış olabilir. Ancak aşırı yaşlandırma döneminde bağdaşıklık durumunun ortadan kalkması ile birlikte α -Al matrisindeki gerilmeler azalmaya başlar. Bu aşamada alaşımın sertliği azalarak belirli bir yaşlandırma süresinden sonra kararlı haline ulaşır. Sertlikteki düşüğe rağmen alaşımın akma ve çekme dayanımında belirlenen artış θ fazının dislokasyonların hareketini engellemesi sonucunda meydana gelmiş olabilir.

Tablo 1.Dökülmüş, T6 ve T7 ısıtılmış işlemleri görmüş alaşımın mekanik özellikleri

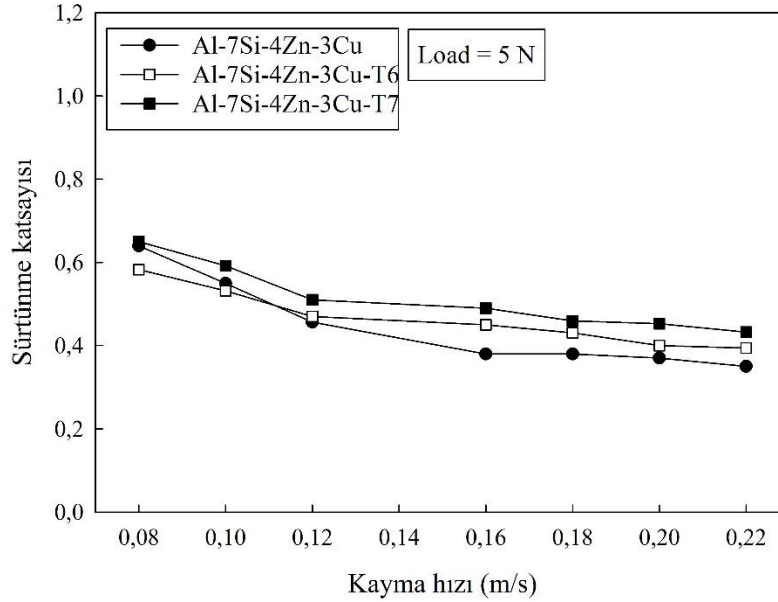
Alaşım	Sertlik (VSD)	Çekme dayanımı (MPa)	Akma dayanımı (MPa)	Kopma uzaması (%)
Al-7Si-4Zn-3Cu-Dökülmüş	81	156	110	1,9
Al-7Si-4Zn-3Cu-T6	87	214	141	2,7
Al-7Si-4Zn-3Cu-T7	71	225	155	2,3

3.3. Sürtünme ve Aşınma Deneylerinden Elde Edilen Bulgular

Al-7Si-4Zn-3Cu alaşımının hem döküm hem de ısıtılmış işlem görmüş durumundaki sürtünme katsayısının uygulanan yük ve kayma hızına göre değişimlerini gösteren eğriler Şekil 4 ve Şekil 5'de verilmiştir. Bu eğriler alaşımın sürtünme katsayısının artan yük ve kayma hızı ile azaldığını göstermektedir. Bu sonuçlar alaşımın tribolojik davranışına dayandırılarak açıklanabilir (Alemdağ & Beder, 2014, 2015). Şöyle ki; sürtünme deneylerinden sonra alaşımın sürtünme yüzeyinde sıvanmış bir tabakanın oluştuğu ve bu tabakanın artan yük ve kayma hızı ile daha belirgin hale geldiği gözlenmiştir. EDS analizleri bu tabakanın Al, Si, Zn ve Cu elementlerinin yanı sıra yüksek oranda oksijen içerdiğini göstermiştir. Bilindiği gibi özellikle çinkonun oksidi hem yağlayıcı olarak davranmakta hem de sıvanmayı kolaylaştırmaktadır (Alemdağ & Beder, 2014, 2015; Prasad et al., 1998; Sarkar, 1975; Sarkar & Clarke, 1980; Yasmin, Khalid, & Haque, 2004). Dolayısıyla, sıvanma tabakasının artan yük ve kayma hızı ile belirgin hale gelmesi kaymayı kolaylaştırarak sürtünme katsayısının azalmasına yol açmış olabilir.



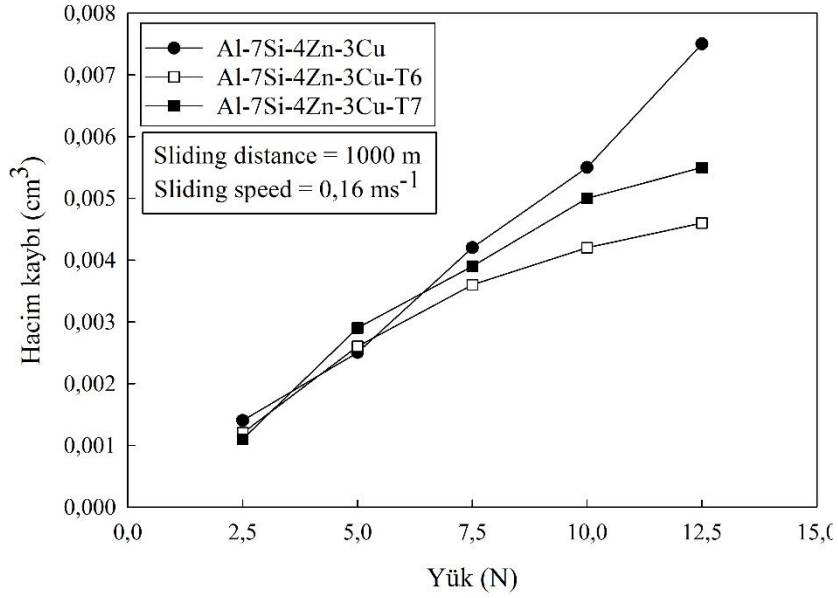
Şekil 4. Alaşımın sürtünme katsayısının uygulanan yük ile değişimini gösteren eğriler.



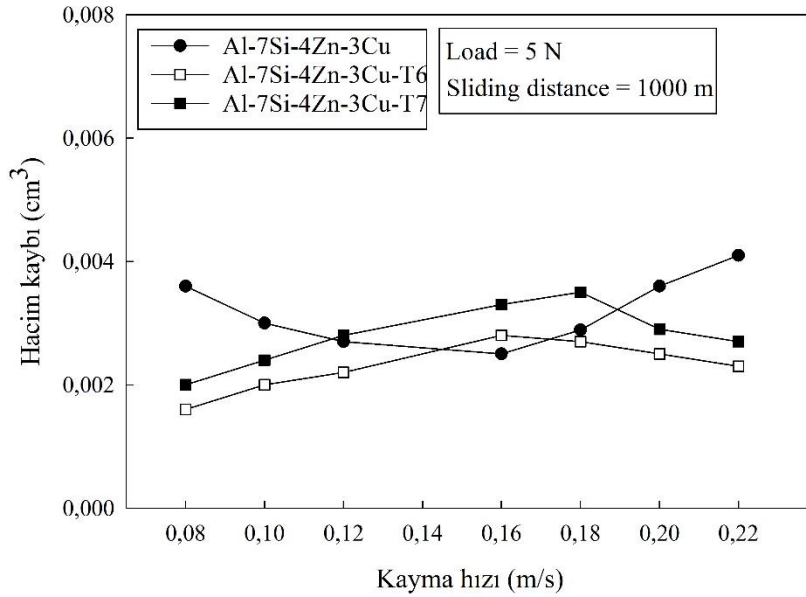
Şekil .5 Alaşımın sürtünme katsayısının kayma hızı ile değişimini gösteren eğriler.

Aşınma deneyleri sonucunda dökülmüş ve ısı işlem görmüş durumdaki alaşımda meydana gelen aşınma kaybının uygulanan yüke göre değişimini gösteren eğriler Şekil 6 verilmiştir. Alaşımın aşınma kaybının artan yük ile sürekli arttığı ancak ısı işlem görmüş durumdaki alaşımın 7,5 N'dan sonraki yüklerde dökülmüş durumundan daha yüksek aşınma direnci sergilediği görülmüştür, Şekil 6. Özellikle T6 ısı işleminin hemen hemen tüm koşullarda alaşımın aşınma direncini önemli oranda iyileştirdiği belirlenmiştir. Bu sonuçlar alaşımın mekanik özelliklerine dayandırılarak açıklanabilir. T6 ve T7 ısı işlemlerinden sonra alaşımın akma ve çekme dayanımının arttığı görülmüştür. Bu özelliklerin yanı sıra T6 ısı işleminden sonra alaşımın sertliğinin de arttığı fakat T7 ısı işleminden sonra ise düştüğü belirlenmiştir. Metallerde meydana gelen aşınma kaybının uygulanan yük ile doğru orantılı olarak arttığı, bunların sertlik ve dayanımları ile ters orantılı olarak azaldığı bilinmektedir. Dolayısıyla ısı işleminden sonra alaşımın dayanımında meydana gelen artış bunların dökülmüş durumuna göre daha yüksek aşınma direnci sergilemesine yol açmış olabilir. T6 ısı işlemi uygulanmış alaşımın T7 uygulanmış durumundakinden daha yüksek aşınma direnci sergilemesi ise bu alaşımın sertliğinin söz konusu işleminden sonra artmasından kaynaklanmış olabilir.

Farklı kayma hızlarında aşınma deneyine tabi tutulmuş dökülmüş ve ısı işlem görmüş durumdaki alaşımda meydana gelen aşınma kaybının kayma hızına göre değişimini gösteren eğriler Şekil 7'de verilmiştir. Şekil 7'deki eğrilerden dökülmüş durumdaki alaşımda meydana gelen aşınma kaybının artan hız ile azalıp $0,16 \text{ ms}^{-1}$ lik kayma hızında en düşük değerine ulaştıktan sonra tekrar arttığı, T6 ve T7 ısı işlemi görmüş durumdaki alaşımın bu değerinin ise dökülmüş durumundakinin tersi bir değişim sergilediği görülmüştür. Bu sonuçlar alaşımın mekanik özelliklerine dayandırılarak açıklanabilir. Şöyle ki; dökülmüş durumdaki alaşımın akma dayanımının düşük olması aşınma sırasında oluşan aşınma parçacıklarının yüzeye sıvanmasını kolaylaştırmış olabilir. Ancak belli bir hız değerinden sonra sürtünme ısısına bağlı olarak oksitlenme hızının artması, deformasyon sertleşmesi ve yorulma gibi etkiler bu tabakanın yer yer parçalanmasına yol açarak aşınma kaybını arttırmış olabilir. Isı işlem görmüş durumdaki alaşımlarda ise aşınma parçacıkların yüzeye tekrar sıvanması bunların akma ve çekme dayanımlarının yüksek olması nedeni ile zorlaşabilir. Bu parçacıklar merkezkaç kuvvetinin etkisiyle yüzeyden uzaklaşarak aşınma kaybının artmasına yol açabilir. Ancak belirli bir hız değerinden sonra sürtünme ısısında meydana gelen artış T6 ve T7 işlemi uygulanmış alaşımın ana matrisinde bir yumuşamaya yol açarak yüzeyden kopan parçacıkların bir kısmının tekrar yüzeye gömülmesini kolaylaştırabilir. Bu durum söz konu işlemleri görmüş alaşımlarda belirli bir hız değerinden sonra aşınma kaybının azalmasına neden olabilir.

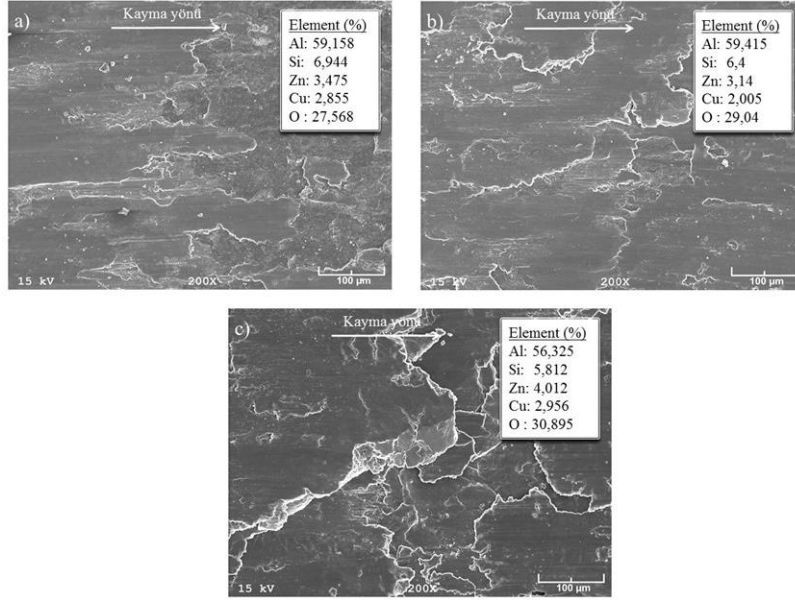


Şekil 6. Alaşımın aşınma kaybının uygulanan yüke göre değişimini gösteren eğriler

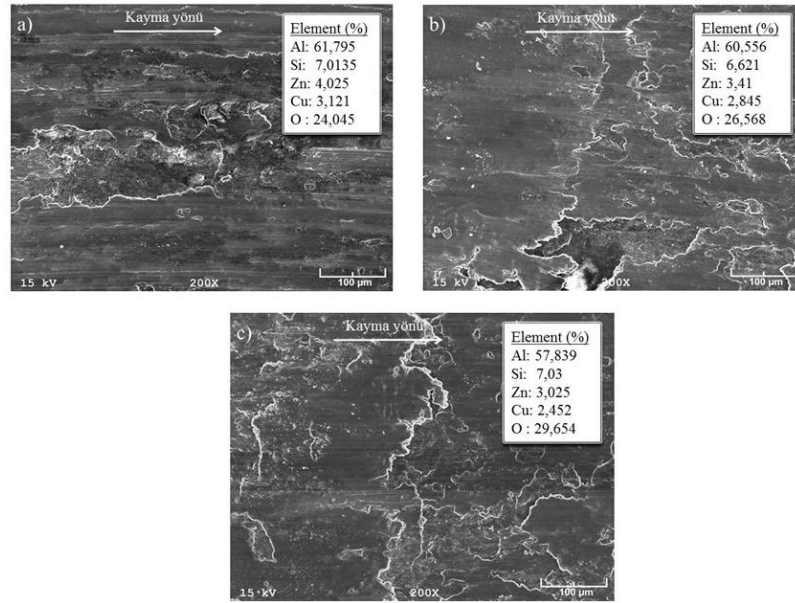


Şekil 7. Alaşımın aşınma kaybının kayma hızına göre değişimini gösteren eğriler

SEM incelemeleri hem dökülmüş hem de ısıl işlem görmüş durumdaki alaşımın aşınmış yüzeylerinin birbirine oldukça benzer olduğunu göstermiştir. Bu nedenle Şekil 8 ve Şekil 9'da düşük, orta ve yüksek yük ve kayma hızlarında aşınma deneyine tabi tutulan dökülmüş durumdaki Al-7Si-4Zn-3Cu alaşımının aşınma yüzeyine gösteren fotoğraflar verilmiştir. Buna ek olarak aşınma yüzeylerinin kimyasal bileşimini gösteren EDS analiz sonuçları bu fotoğraflar üzerinde gösterilmiştir. T6 ve T7 ısıl işlemi görmüş durumdaki alaşımın aşınmış yüzeylerinden de benzer görüntüler ve analiz sonuçları elde edilmiştir. Bu görüntüler incelendiğinde alaşımın aşınmış yüzeylerinde sıvama tabakalarının oluştuğu ve bu tabakada zaman zaman soyulmaların meydana geldiği gözlenmiştir. Sıvanmanın yüzeyden kopan aşınma parçacıklarının numune ile bilye arasında hareket ederken tekrar geriye yapışması sonucunda oluştuğu düşünülmektedir. Ancak oksidasyon, deformasyon sertleşmesi ve yorulma gibi etkiler belirli bir kalınlığa ulaşan bu tabakada çatlakların oluşmasına yol açmış olabilir. Bu çatlakların birleşmesi sıvama tabakasının yer yer parçalanmasına dolayısıyla soyularak sürekliliğini kaybetmesine neden olabilir. Diğer taraftan yük ve kayma hızı arttıkça sıvanmanın ve soyulmanın daha belirgin olduğu gözlenmiştir. Bu durum söz konusu koşullarda sürtünme ısısının ve oksitlenme hızının artmasından kaynaklanmış olabilir (Prasad et al., 1998; Yasmin et al., 2004).



Şekil 8.Farklı yüklerde ((a) 2,5N, (b) 7,5 N ve (c) 12,5 N) aşınma deneyine tabi tutulan dökülmüş durumdaki Al-7Si-4Zn-3Cu alaışımının aşınma yüzeyini gösteren SEM fotoğrafları



Şekil 9.Farklı kayma hızlarında ((a) 0,08 m / s, (b) 0,18 m / s ve (c) 0,22 m / s) aşınma deneyine tabi tutulan dökülmüş durumdaki Al-7Si-4Zn-3Cu alaışımının aşınma yüzeylerini gösteren SEM fotoğrafları

4. Sonuçlar

Bu çalışmadan elde edilen ana sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Al-7Si-4Zn-3Cu alaışımının iç yapısının α -Al dendritleri, ötektik ve birincil silisyum parçacıkları ile θ fazından (CuAl_2) oluşmaktadır. Çözündürme ve yaşlandırma ısıl işleminden sonra alaışımın dendritik yapısı nispeten ortadan kalkmakta, ancak Si ve θ parçacıklarının morfolojisi bu işlemlerden fazla etkilenmemektedir.
- T6 ve T7 ısıl işlemleri alaışımın akma ve çekme dayanımını artırmaktadır. Diğer taraftan T6 ısıl işlemi alaışımın sertliğini de artırmakta, T7 ısıl işlemi ise düşürmektedir.
- Alaışımın hem dökülmüş hem de T6 ve T7 ısıl işlemlerini görmüş durumundaki sürtünme katsayısı artan yük ve kayma hızı ile azalmaktadır.
- Alaışımın incelenen tüm durumlarındaki aşınma kaybı artan yük ile nispeten doğrusal olarak artmaktadır. Diğer taraftan söz konusu alaışımın ısıl işlem görmüş durumlarındaki aşınma kaybı artan kayma hızı ile artmakta, kayma hızının belirli değerlerinden

(0,16-0,18 ms⁻¹) sonra bir düşüş sergilemektedir. Dökülmüş durumdaki alaşımın aşınma kaybı ise artan kayma hızı ile azalmakta 0,16 ms⁻¹'lik kayma hızında en düşük değerine ulaşıktan sonra artmaktadır.

e) T6 ve T7 ısıt işlemleri alaşımın aşınma direncini iyileştirmekte, bu iyileşme artan yük ve kayma hızlarında daha belirgin hale gelmektedir.

f) Hem dökülmüş hem de ısıt işlem görmüş alaşımın aşınmış yüzeylerinde sıvama tabakaları oluşmakta ve soyulmalar meydana gelmektedir. Alaşımın aşınma davranışı, bu iki etkin mekanizma tarafından kontrol edilmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (BAP) tarafından desteklenen 8650 nolu proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. Üniversitemiz ve ilgili biriminde görev alan yetkililere teşekkür ederiz.

Referanslar

- Alemdag, Y., & Beder, M. (2014). Microstructural, mechanical and tribological properties of Al-7Si-(0-5)Zn alloys. *Materials & Design*, 63, 159-167. doi:10.1016/j.matdes.2014.06.006
- Alemdag, Y., & Beder, M. (2015). DRY SLIDING WEAR PROPERTIES OF Al-7Si-4Zn-(0-5)Cu ALLOYS. *Journal of the Balkan Tribological Association*, 21(1), 154-165.
- Alemdag, Y., & Savaskan, T. (2008). Effects of silicon content on the mechanical properties and lubricated wear behaviour of Al-40Zn-3Cu-(0-5)Si alloys. *Tribology Letters*, 29(3), 221-227. doi:10.1007/s11249-008-9299-0
- Anasyida, A. S., Daud, A. R., & Ghazali, M. J. (2010). Dry sliding wear behaviour of Al-12Si-4Mg alloy with cerium addition. *Materials & Design*, 31(1), 365-374. doi:10.1016/j.matdes.2009.06.007
- Bai, B. N. P., & Biswas, S. K. (1987). Characterization of Dry Sliding Wear of Al-Si Alloys. *Wear*, 120(1), 61-74. doi:10.1016/0043-1648(87)90133-5
- Biol, Y. (2008). Semisolid processing of near-eutectic and hypereutectic Al-Si-Cu alloys. *Journal of Materials Science*, 43(10), 3577-3581. doi:10.1007/s10853-008-2565-6
- Chen, C. L., & Thomson, R. C. (2010). The combined use of EBSD and EDX analyses for the identification of complex intermetallic phases in multicomponent Al-Si piston alloys. *Journal of Alloys and Compounds*, 490(1-2), 293-300. doi:10.1016/j.jallcom.2009.09.181
- Cho, S. J., Hockey, B. J., Lawn, B. R., & Bennison, S. J. (1989). Grain-Size and R-Curve Effects in the Abrasive Wear of Alumina. *Journal of the American Ceramic Society*, 72(7), 1249-1252. doi:DOI 10.1111/j.1151-2916.1989.tb09718.x
- Clarke, J., & Sarkar, A. D. (1979). Wear Characteristics of as-Cast Binary Aluminium-Silicon Alloys. *Wear*, 54(1), 7-16. doi:10.1016/0043-1648(79)90044-9
- Cui, C. S., Schulz, A., Matthaeh-Schulz, E., & Zoch, H. W. (2009). Characterization of silicon phases in spray-formed and extruded hypereutectic Al-Si alloys by image analysis. *Journal of Materials Science*, 44(18), 4814-4826. doi:10.1007/s10853-009-3734-y
- Dwivedi, D. K. (2010). Adhesive wear behaviour of cast aluminium-silicon alloys: Overview. *Materials & Design*, 31(5), 2517-2531. doi:10.1016/j.matdes.2009.11.038
- El-Salam, F. A., El-Khalek, A. M. A., Nada, R. H., Wahab, L. A., & Zahran, H. Y. (2010). Effect of Sn content on the structural and mechanical properties of Al-Si alloy. *Materials Science and Engineering a-Structural Materials Properties Microstructure and Processing*, 527(4-5), 1223-1229. doi:10.1016/j.msea.2009.10.002
- Eshaghi, A., Ghasemi, H. M., & Rassizadehghani, J. (2011). Effect of heat treatment on microstructure and wear behavior of Al-Si alloys with various iron contents. *Materials & Design*, 32(3), 1520-1525. doi:10.1016/j.matdes.2010.10.014
- Fatahalla, N., Hafiz, M., & Abdulkhalek, M. (1999). Effect of microstructure on the mechanical properties and fracture of commercial hypoeutectic Al-Si alloy modified with Na, Sb and Sr. *Journal of Materials Science*, 34(14), 3555-3564. doi:10.1023/A:1004626425326
- Jasim, K. M., & Dwarakadasa, E. S. (1987). Wear in Al-Si Alloys under Dry Sliding Conditions. *Wear*, 119(1), 119-130. doi:10.1016/0043-1648(87)90102-5
- Kori, S. A., Murty, B. S., & Chakraborty, M. (2000). Development of an efficient grain refiner for Al-7Si alloy and its modification with strontium. *Materials Science and Engineering a-Structural Materials Properties Microstructure and Processing*, 283(1-2), 94-104. doi:10.1016/S0921-5093(99)00794-7

- Mohamed, A. M. A., Samuel, A. M., Samuel, F. H., & Doty, H. W. (2009). Influence of additives on the microstructure and tensile properties of near-eutectic Al-10.8%Si cast alloy. *Materials & Design*, 30(10), 3943-3957. doi:10.1016/j.matdes.2009.05.042
- Nikanorov, S. P., Volkov, M. P., Gurin, V. N., Burenkova, Y. A., Derkachenko, L. I., Kardashev, B. K., . . . Wilcox, W. R. (2005). Structural and mechanical properties of Al-Si alloys obtained by fast cooling of a levitated melt. *Materials Science and Engineering a-Structural Materials Properties Microstructure and Processing*, 390(1-2), 63-69. doi:10.1016/j.msea.2004.07.037
- Nogita, K., Yasuda, H., Yoshiya, M., McDonald, S. D., Uesugid, K., Takeuchi, A., & Suzuki, Y. (2010). The role of trace element segregation in the eutectic modification of hypoeutectic Al-Si alloys. *Journal of Alloys and Compounds*, 489(2), 415-420. doi:10.1016/j.jallcom.2009.09.138
- Prasad, B. K. (1997). Effects of silicon addition and test parameters on sliding wear characteristics of zinc-based alloy containing 37.5% aluminium. *Materials Transactions Jim*, 38(8), 701-706. doi:DOI 10.2320/matertrans1989.38.701
- Prasad, B. K., Venkateswarlu, K., Modi, O. P., Jha, A. K., Das, S., Dasgupta, R., & Yegneswaran, A. H. (1998). Sliding wear behavior of some Al-Si alloys: Role of shape and size of Si particles and test conditions. *Metallurgical and Materials Transactions a-Physical Metallurgy and Materials Science*, 29(11), 2747-2752. doi:DOI 10.1007/s11661-998-0315-7
- Raghavan, V. (2007). Al-Si-Zn (Aluminum-Silicon-Zinc). *Journal of Phase Equilibria and Diffusion*, 28(2), 197-197. doi:10.1007/s11669-007-9030-0
- Sarkar, A. D. (1975). Wear of Aluminium-Silicon Alloys. *Wear*, 31(2), 331-343. doi:Doi 10.1016/0043-1648(75)90167-2
- Sarkar, A. D., & Clarke, J. (1980). Friction and Wear of Aluminium-Silicon Alloys. *Wear*, 61(1), 157-167. doi:Doi 10.1016/0043-1648(80)90120-9
- Savaskan, T., & Aydiner, A. (2004). Effects of silicon content on the mechanical and tribological properties of monotectoid-based zinc-aluminium-silicon alloys. *Wear*, 257(3-4), 377-388. doi:10.1016/j.wear.2004.01.007
- Savaskan, T., & Bican, O. (2005). Effects of silicon content on the microstructural features and mechanical and sliding wear properties of Zn-40Al-2Cu-(0-5)Si alloys. *Materials Science and Engineering a-Structural Materials Properties Microstructure and Processing*, 404(1-2), 259-269. doi:10.1016/j.msea.2005.05.078
- Savaskan, T., Hekimoglu, A. P., & Purcek, G. (2004). Effect of copper content on the mechanical and sliding wear properties of monotectoid-based zinc-aluminium-copper alloys. *Tribology International*, 37(1), 45-50. doi:10.1016/S0301-679x(03)00113-0
- Tiryakioglu, M. (2008). Si particle size and aspect ratio distributions in an Al-7%Si-0.6%Mg alloy during solution treatment. *Materials Science and Engineering a-Structural Materials Properties Microstructure and Processing*, 473(1-2), 1-6. doi:10.1016/j.msea.2007.03.044
- Torabian, H., Pathak, J. P., & Tiwari, S. N. (1994). Wear Characteristics of Al-Si Alloys. *Wear*, 172(1), 49-58. doi:Doi 10.1016/0043-1648(94)90298-4
- Xu, C. L., Yang, Y. F., Wang, H. Y., & Jiang, Q. C. (2007). Effects of modification and heat-treatment on the abrasive wear behavior of hypereutectic Al-Si alloys. *Journal of Materials Science*, 42(15), 6331-6338. doi:10.1007/s10853-006-1189-y
- Yasmin, T., Khalid, A. A., & Haque, M. M. (2004). Tribological (wear) properties of aluminum-silicon eutectic base alloy under dry sliding condition. *Journal of Materials Processing Technology*, 153, 833-838. doi:10.1016/j.jmatprotec.2004.04.147
- Ye, H. Z. (2003). An overview of the development of Al-Si-alloy based material for engine applications. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 12(3), 288-297. doi:Doi 10.1361/105994903770343132
- Zedan, Y., Samuel, F. H., Samuel, A. M., & Doty, H. W. (2010). Effects of Fe intermetallics on the machinability of heat-treated Al-(7-11)% Si alloys. *Journal of Materials Processing Technology*, 210(2), 245-257. doi:10.1016/j.jmatprotec.2009.09.007