

ALÜMİNYUM SİLİSYUM ALAŞIMLARIN YÜKSEK SICAKLIK AŞINMA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

Selim ÖLMEZ*, Ergün KELEŞOĞLU

Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Alüminyum
Silisyum
Yüksek Sıcaklık
Aşınma

Özet

Alüminyum hafifliği ve iyi dayanım özellikleri sayesinde, başta otomotiv sanayinde yaygın kullanılan bir mühendislik malzemesidir. Alüminyum hafif ve dayanıklı olmasına rağmen, yüksek sıcaklıklardaki dayanım değerleri önemli ölçüde düşmektedir. Bundan dolayı, yüksek sıcaklıklarda da kullanılabilmesi için çeşitli alaşımlandırma yapılarak, yeterli dayanıma sahip olması amaçlanmaktadır. Aşınmanın azaltılması için yağlayıcı ya da kaplamalar da kullanılabilir, ancak bu önlemler ek maliyet getirmektedir. Dolayısıyla bu kaybın azaltılmasında en önemli etken, belirli bir uygulama için en uygun malzemenin seçilmesidir. Bu çalışmada, farklı alaşım oranlarında Al - Si alaşımları nihai halinde temin edildikten sonra, disk üzerinde sürtünen pim (pin-on-disc) yöntemiyle oda sıcaklığı ve 180°C sıcaklıkta aşınma deneyine tabi tutulmuştur. Deneyler sonunda, alaşımların aşınma hızının sıcaklığına bağlı olarak arttığı gözlenmiştir. Numunenin deney öncesi ve deney sonrası ağırlıkları hassas terazide karşılaştırılarak aşınma sonucunda meydana gelen ağırlık kaybı ortaya çıkarılmaktadır. İncelenen alaşımların türlerine göre aşınma özellikleri ve sıcaklık etkisiyle kayda değer bir farklılık ortaya çıkmaktadır. Ayrıca uygulanan yükün, aşınma değerlerine bağlı olarak değişimi incelendiğinde, uygulanan yükün aşınmayı arttırdığı görülmektedir. Bu çalışma ile özellikle binek araba pistonlarında kullanılmakta olan Al - Si alaşımlı metallerin maruz kaldığı sıcaklık koşulu altındaki aşınma davranışlarını gün yüzüne çıkarmaktır. Ayrıca binek araçlarda kullanılan fren disklerine alternatif olarak kullanılabilmesi hususunu ortaya çıkarmak amacıyla yapılmıştır.

INVESTIGATION OF WEARING BEHAVIOR OF ALUMINUM SILICON ALLOYS AT HIGH TEMPERATURE

Keywords

Aluminum
Silicon
High Temperature
Wear

Abstract

At first glance, aluminum is a widely used engineering material, especially in the automotive industry, because of its lightness and durability. Despite of its durability and lightness, the resistance value of aluminum on high temperature reduces considerably. Because of this, aluminum is used as different types of alloys in order to have enough durability on high temperature. A lubricator or plating can be used to minimize the corrosion; however, these precautions bring additional costs. Consequently, the major factor for minimizing the loss is to choose the optimal material for the specific application. In this study, the corrosion result of the alloys with different serial rates of Al-Si is observed via the method of pin on disc at the room temperature and 180 degree Celsius. At the end of these experiments, the observation result can be reported as the corrosion speed of the alloys increases depending on the heat. Comparing the weight of the sample as before and after the precision scale, the weight loss is observed because of the corrosion. According to the types of alloys, which are being investigated, significant differences in the wear properties and the heat impact has been appeared. Therefore, by investigating the change effect depending on the corrosion values of the applied load, it is observed that the applied load increases the corrosion. The goal of this study is to expose the reaction of the corrosion for the Al-Si alloy materials used in passenger car pistons, under high temperature. Additionally, this study is also to reveal the idea for alternative usage of the brake disc used in the passenger cars.

* İletişim yazarı: olmez_selim1907@hotmail.com

1. Giriş

Alüminyum dayanım ve hafiflik özelliklerini bir arada barındırması nedeniyle uzun yıllardır havacılık sanayiinde kullanılmaktadır. Son yıllarda azalan fosil yakıt kaynakları, artan gaz salınımı ve çevre kaygıları, insanların performans beklentileri taşıtlarda hafiflik konseptinin gelişmesine yol açmıştır. Bu durum alüminyum alaşımlarının otomobillerde kullanılması çalışmalarına hız kazandırmıştır.

Yakın zamanda otomobillerde demir esaslı fren diskleri yerine alüminyum alaşımları veya alüminyum matrisli kompozitlerin kullanılmasına yönelik çalışmalar ilgi çekmeye başlamıştır [1]. Genel olarak geleneksel dökme demir fren diskleri yerine alüminyum esaslı disklerin kullanılması disk ağırlığında 1/ 2,5 oranında azalmaya yol açmaktadır. Bu durum hem yakıt tüketimine etki etmekte hem de araçların hızlanma – yavaşlama performanslarını olumlu etkilemektedir. Ayrıca alüminyumun geri dönüşümü kolay bir malzeme olması da alüminyumun fren diski aday malzemesi olarak öne çıkmasına etki eden faktörlerdendir.

Fren sistemleri taşıtlarda aracın enerjisinin harcanarak aracın yavaşlatılması işlevini gerçekleştirmektedir. Frenleme sırasında aracın enerjisi büyük oranda ısı enerjisine dönüştürülmekte ayrıca aşınma partiküllerinin deformasyonu ve yüzey enerjilerine dönüştürülerek harcanmaktadır. Bu nedenle fren olarak kullanılan aksamalarda ısı açığa çıkması ve sıcaklık yükselmesi olayın doğal ve olması gereken bir parçasıdır. Taşıtlarda frenleme şiddetine bağlı olarak bu doğal sıcaklık artışı binek araçlarda 200 - 220 °C'ye kadar çıkabilmektedir (2). Kullanılan parçaların aşınma performansının da makul bir ölçüde olması gerekir.

Demir esaslı geleneksel fren disklerinde ortaya çıkacak sıcaklık artışı diskin performansında oda sıcaklığına kıyasla önemli bir değişim yapmazken alüminyum matris dokusuna sahip alaşımların veya

kompozitlerin kullanılmasında yukarıda anılan sıcaklıklar malzemenin sürtünme ve aşınma performansını önemli oranda etkileyebilir zira alüminyum alaşımları düşük ergime sıcaklıklarına sahiptir. Bu nedenle alüminyum esaslı fren diski aday malzemelerin laboratuvar performansları denenirken oda sıcaklığında yapılan aşınma testleriyle yetinilmemeli sıcağıdaki aşınma performansları da test edilmelidir.

Bu çalışmada yüksek oranda Si içeren Al-Si döküm alaşımlarının fren diski aday malzemesi olabilirliği araştırılmıştır ve bu amaçla oda sıcaklığının yanında yüksek sıcaklık sürtünme davranışları da değerlendirilmiştir. Al - Si döküm alaşımları genel olarak yumuşak alüminyum matris dokusu içinde çok çeşitli morfolojilerde silisyum fazı içermektedir. Silisyumun yüksek sertlik değeri bu grup malzemelere önemli bir aşınma dayanımı da getirmektedir. Bu malzemelerin dökülebilirlik düzeyleri, korozyon dayanımları ve aşınma dirençleri oldukça iyidir. Isı iletkenlikleri demir esaslı malzemelere kıyasla çok daha iyidir ve fren sisteminde ısının dağıtılmasında çok daha iyi sonuç verecekleri öngörülmektedir. Tablo 1'de demir döküm fren diski ile alüminyumun özellikleri karşılaştırılmıştır.

Tablo 1: Demir Döküm Fren Diski ile Alüminyumun Özellikleri [3],[4], [5]

Özellik	Dökme Demir	Alüminyum
Yoğunluk	7,8 g/cm ³	2,71 g/cm ³
Ergime Sıcaklığı	1150°C	660°C
Isıl İletk. Katsayısı	43,5 Wm ⁻¹ K ⁻¹	247Wm ⁻¹ K ⁻¹
Elastite Modülü	78-143 GPa	70-140 GPa
Isıl Kapasite	25,1 J/(mol K)	24,2 J/(mol K)
Kopma Uzaması	% 0,6 - 1	% 10-15
Çekme Dayanımı	152-451 MPa	150-200 MPa

2.Bilimsel Yazın Taraması

ILGAZ'ın [6] Etial 140 alaşımına vorteks yöntemiyle seramik partiküller ekleyerek basınçlı döküm yöntemiyle ürettiği kompozitlerde oda sıcaklığı

aşınma performansında sert partiküllerin olumlu katkılarını gözlemlemiştir.

BÜYÜKUNCU, [7], Ötektik Altı Al-Si Döküm Alaşımında Bileşimin Optimizasyonu İle Döküm Kabiliyeti ve Mekanik Özelliklerin İyileştirilmesi konusunda yaptığı araştırmada düşük oranlarda Si içeren Al - Si alaşımlarında Silisyumun morfolojisine etki edeceği farklı elementler ekleyerek malzemenin özellikleri geliştirilmiştir.

TOPTAN ve arkadaşları [8], Al-B₄C Kompozitlerini üretmiş ve aşınma performanslarını inceleyerek elde edilen kompozitlerin fren diski adayı olarak ümit vaat ettiğini ancak günümüz koşullarında ekonomikliğin uygun olmadığını belirtmişlerdir.

KORAMAN [5] çalışmasında Al-Fe-V-Si alaşımlarının sıcakta Al₂O₃ bilyeye karşı aşınmaları incelemiştir. Çalışmada anılan malzemelerin yüksek sıcaklıklardaki aşınma performanslarının oda sıcaklığına kıyasla önemli oranda düştüğü gözlemlenmiş, alaşıma katılan elementlerin buna etkileri değerlendirilmiştir.

HAUQE ve arkadaşları [9] makalesi ile ötektik alüminyum silisyum alaşımlarının pin-on disk üzerindeki aşındırıcı etkisini araştırmış ve aşındırıcı ucun sertlik miktarı arttıkça aşınma miktarı arttığı sonucuna varmıştır.

ZANG ve arkadaşları [10] makalesi ile SiC'in aşınmaya karşı direncini incelemiş ve Al₂O₃'ün matris yapısına eklenmesiyle aşınmaya karşı ciddi iyileşme sağlandığı sonucuna varmıştır.

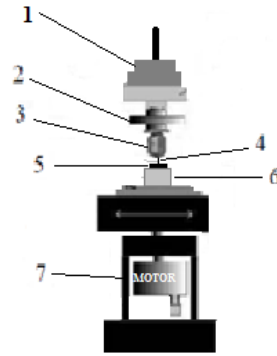
3. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada iki farklı Al - Si döküm alaşımının oda sıcaklığı ve 180°C'deki aşınma davranışları incelenerek aralarındaki farkların ortaya konması amaçlanmıştır. Aşınma deneylerinde disk şeklindeki numuneler ticari fren balatası karşı parçalarla test edilerek frenlerdeki durum laboratuvar ölçekli canlandırılmaya çalışılmıştır.

3.1. Deney Materyalleri

Alüminyum Etial - 140 ötektik alaşımı ve Etial - 160 ötektik altı disk formunda dökülerek kullanılmıştır. Referans olarak ticari dökme demir fren diski kullanılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Aşınma testi pin - on disk cihazında yapılmıştır. Şekil 1'de Pin-on disk cihazının şematik gösterimi bulunmaktadır. Pin-on disk deney cihazı numune yüzeyine gelen dikey ve yanal kuvvetleri ölçmektedir. Bilgisayarda yola bağlı sürtünme katsayısı grafiği veri toplama programı yardımıyla belirlenmiştir. Cihaz üzerinde yatay kuvvet, dikey kuvvet, atılan tur sayısı, ortam sıcaklığı gibi parametreler ölçülebilmektedir. Bu deneydeki önemli parametreler ise uygulan yük, numunenin hareket uzunluğu, hareket sıklığı ve hızı, test sıcaklığı, test süresidir.

1. Yük bölümü,
2. Çift fonksiyonlu sensör,
3. Mandren,
4. Aşındırıcı uç (pim),
5. Numune parçası,
6. Ayna,
7. Motor bloğu



Şekil 1: Pin-on Disk Cihazı Şematik Gösterimi

3.2. Deney Aşaması

Numuneler, oda sıcaklığında ve 180°C'de aşınma testlerine tabi tutulmuştur. Yüksek sıcaklıkta yapılması, fren disklerinin, frenleme sırasında maruz kalınan yüksek sıcaklıklardaki [2] davranışlarını incelemek amacıyla yapılmıştır. Ayrıca aşınma sonuçlarının yanı sıra sertlik, SEM, ağırlık kayıpları gibi sonuçları incelenmiştir.

Kullanılan numunelerin malzeme analizi Tablo 2’de bulunmaktadır.

Tablo 2: Numunelerin malzeme % analizi [11]

Alaşım	Al	Si	Fe	Cu	Mn	C
Etial- 140	86,5- 88,5	11,5 - 13,5	0,60	0,10	0,40	-
Etial- 160	85,5 - 88	7,5 - 9	1	3-4	0,50	-
Fren Diski	0,06	2,15	92,4	0,53	1,06	3,45

Deneyin ilk aşaması olan oda sıcaklığı testlerinde, uygulanan dikey yük 0.5 daN olarak seçilmiş, Etial - 140 (A413), Etial - 160 (A380) ve dökme demir fren diski numuneleri test edilirken deneyin başlangıcında sıcaklık 24,3°C, nem ise %42; deneyin sonunda sıcaklık 25°C, nem ise %41 olarak ölçülmüştür.

Deneyin ikinci aşaması olan yüksek sıcaklık testlerinde, numune deney düzeneğinde ısıtılmış disk malzemesinin sıcaklığı 180°C’de dengelenene kadar beklenmiş, testlere başlanmıştır. Yüksek sıcaklık testleri ilk olarak Etial - 160 alaşımı numunesi ile başlamıştır. Numuneler test esnasında, infrared termometre ile her dakika ölçülmüştür

Aynı işlemler sırasıyla Etial - 140 ve referans numunesi olan dökme demir fren diski numuneleri için de tekrarlanmıştır.

Tablo 3’te malzemelerin oda sıcaklığı testleri aşamasındaki numunelerin deney öncesi ve deney sonrası ağırlıklarının, Tablo 4’te 180°C’de test aşamasındaki numunelerin deney öncesi ve deney sonrası ağırlıkları bulunmaktadır. Ağırlık ölçümü 300gr kapasiteli, 0,0001 gr hassasiyetiyle yapılmıştır.

Tablo 3: Numunelerin Pin-on disk testlerinde 0,5 daN yük altında oda sıcaklığında ağırlık kayıpları

Alaşım	İlk Ağırlık G1	Son ağırlık G2	Değişen Ağırlık ΔG
Etial- 140	72,1121 gr	72,1083 gr	0,0038 gr
Etial- 160	34,2794 gr	34,2735gr	0,0059gr
Fren Diski	219,1505 gr	219,1503 gr	0,0002 gr

Tablo 4: Numunelerin Pin-on disk testlerinde 0,5 daN yük altında ve 180°C sıcaklıkta ağırlık kayıpları

Alaşım	İlk Ağırlık G1	Son ağırlık G2	Değişen Ağırlık ΔG
Etial- 140	72,083 gr	72,0628 gr	0,0455 gr
Etial- 160	34,2735 gr	34,2030gr	0,0705gr
Fren Diski	219,1503 gr	219,1500 gr	0,0003 gr

Alüminyum Etial - 140 ötektik alaşımı ve Etial - 160 ötektik altı disk formunda dökülerek kullanılmıştır. Referans olarak ticari fren diski kullanılmıştır, pin - on disk aşınma test cihazına uygun boyutlardaki disk şeklindeki numunelerle aşınma testi gerçekleştirilmiştir.

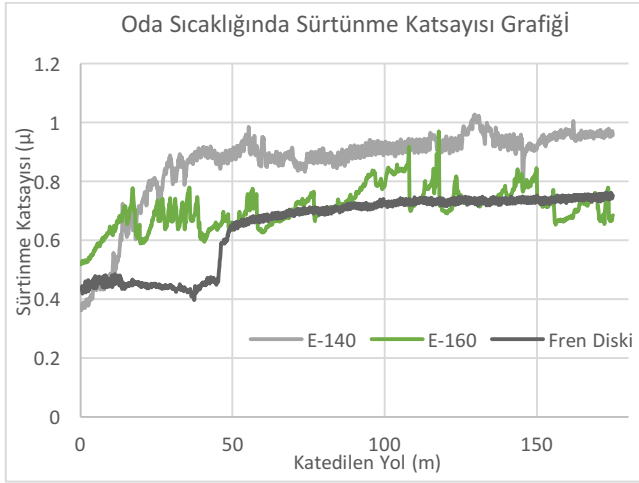
Pin - on disk aşınma cihazında numunelerin iki şekilde aşınma testleri yapılmıştır.

- 1) Oda sıcaklığında numunelerin aşınma davranışlarının incelenmesi
- 2) Yüksek sıcaklık altında test numunelerinin aşınma davranışlarının incelenmesi

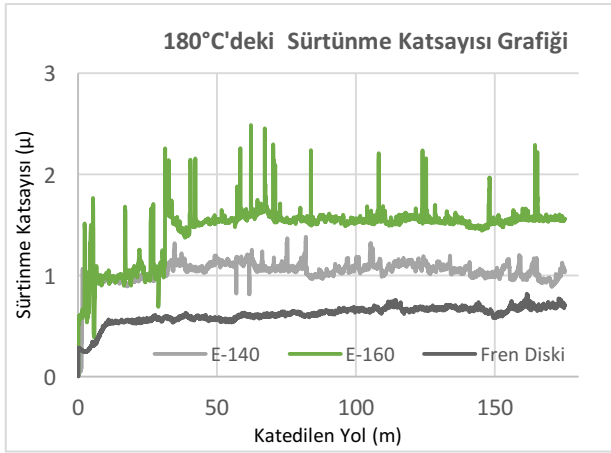
Al alaşımlı numunenin aşınma davranışının incelenmesi için deney oda ve yüksek sıcaklık olmak üzere iki farklı sıcaklıkta iki kere tekrarlanmıştır.

Deney düzeneğinde numunelerin her biri 175 m yol alacak aşınma işlemine tabi tutulmuş ve aşınma sonucu malzeme kayıpları bulunmuştur. Ayrıca numunelere aşınma testi sonucunda yüzeyde oluşan deformasyonu görmek için yüzey pürüzlülüğü testi yapılmıştır.

Yapılan aşınma deneyi çerçevesinde Şekil 2’de numunelerin oda sıcaklığında 0,5 daN yük altındaki sürtünme katsayısı/yol ’u gösteren grafik bulunmaktadır. Şekil 3’de numunelerin 180°C sıcaklıkta 0,5 daN yük altındaki sürtünme katsayısı/yol grafiği gösterilmektedir.



Şekil 2: Numunelerin oda sıcaklığında 0,5 daN yük altında ki sürtünme katsayısı / yol grafik



Şekil 3: Numunelerin 180°C sıcaklığında 0,5 daN yük altındaki sürtünme katsayısı / yol grafik

Etial - 140, Etial - 160 ve demir döküm fren diski numunelerine Brinell sertlik testi uygulanmıştır. Bu kapsamda alüminyum alaşimli numunelere 62,5 kg ağırlık ile 2,5 mm çapında bilye ile sertlik testi uygulanmıştır. Fren diski numunesine de 187,5 kg ve 2,5 mm çapında bilye ile sertlik testi uygulanmıştır. Sertlik testinde yükün bekleme süresi 10 sn olup ve elde edilen sertlik değerleri Tablo 5'te gösterilmiştir.

Tablo 5: Deney Test Numunelerinin Sertlik Değerlerinin Gösterimi

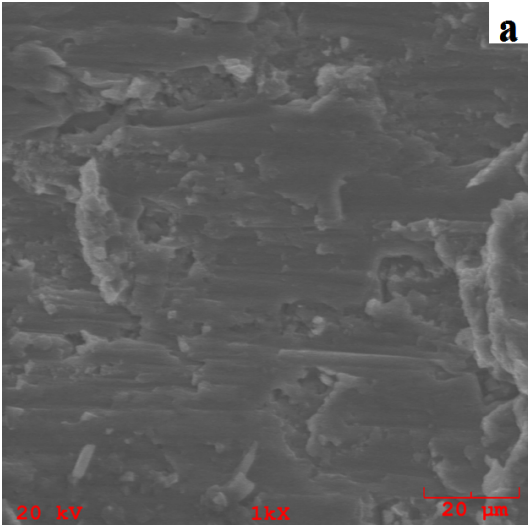
Malzeme Türü	Brinell Sertlik Değeri (HB)
Etial- 140	100,65 HB
Etial- 160	70,54 HB
Fren Diski	223,12 HB
Fren Balatası	37,56 HB

Numunelerin aşınma izlerini hakkında bilgi sahibi olmak amacıyla, yüzey pürüzlülük makinesiyle aşınma testi sonucunda oluşan yüzey pürüzlüğü testi yapılarak, Tablo 6'da numunelerin aşınma sonrası yüzey pürüzlülüğü bilgileri söz konusudur.

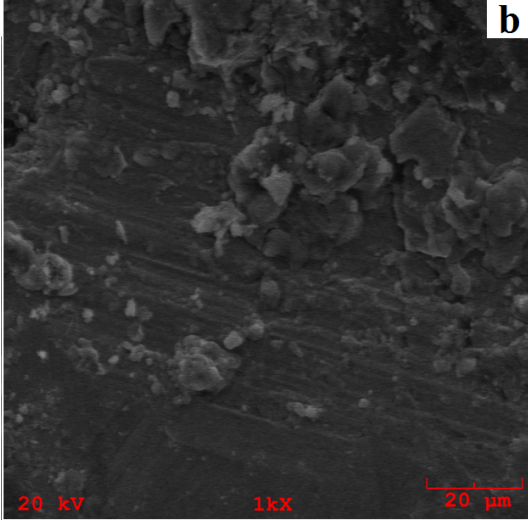
Tablo 6: Numunelerin Ortalama Yüzey Pürüzlülüğünün gösterildiği

Numune Türü	Ortalama Yüzey Pürüzlülük (Ra)
Etial- 140 (Oda Sıcaklığı)	2,236 µm
Etial- 160 (Oda Sıcaklığı)	4,151 µm
Fren Diski (Oda Sıcaklığı)	0,527 µm
Etial -140 (180°C Sıcaklık)	6,514 µm
Etial-160 (180°C Sıcaklık)	7,224 µm
Fren Diski (180°C Sıcaklık)	0,538 µm

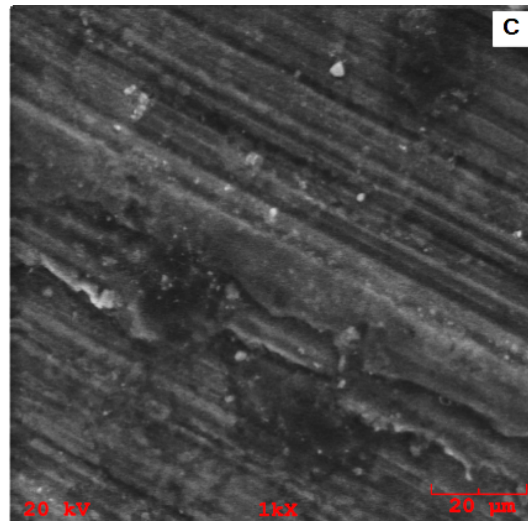
Bu çalışmada aşındırma işlemi gerçekleştirilmiş numuneleri taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri alınmıştır. Şekil 4'te oda sıcaklığında aşındırma işlemi gerçekleştirilmiş numunelerin 20kV'de 1000X büyütmedeki görüntüleri bulunmaktadır. Şekil 5'te numunelerin 180°C'deki aşındırma işlemi gerçekleştirilmiş numunelerin 20kV'de 1000X büyütmedeki görüntüleri bulunmaktadır.



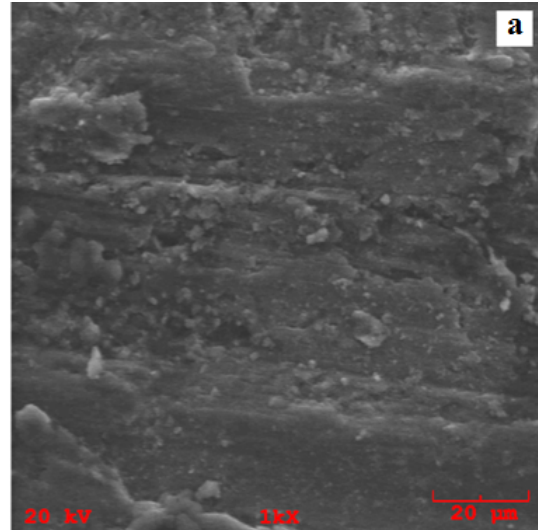
Şekil 4: (a) Etial - 160 Oda Sıcaklığında aşınma gerçekleştirilmiş numunenin 1000X büyütmedeki SEM görünümü



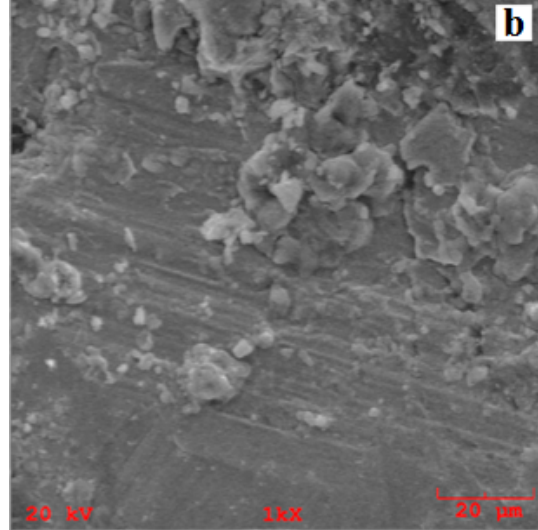
Şekil 4: (b) Fren Diski Oda Sıcaklığında aşınma gerçekleştirilmiş numunenin 1000X büyütmedeki SEM görünümü



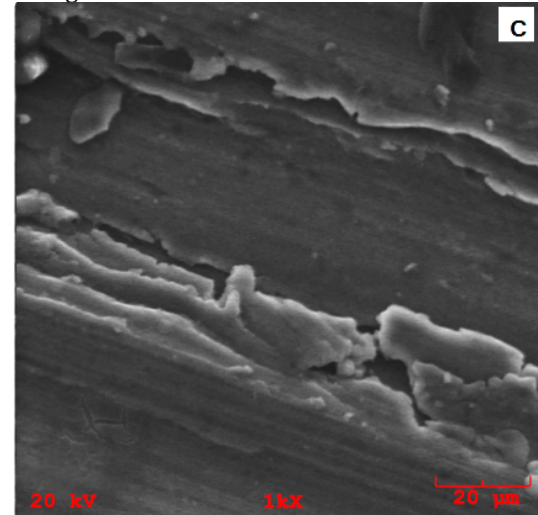
Şekil 4: (c) Etial - 140 Oda Sıcaklığında aşınma gerçekleştirilmiş numunenin 1000X büyütmedeki SEM görünümü



Şekil 5: (a) Etial-160 180°C'deki aşınma gerçekleştirilmiş numunenin 1000X büyütmedeki SEM görünümü



Şekil 5: (b) Fren diskini 180°C'deki aşınma gerçekleştirilmiş numunenin 1000X büyütmedeki SEM görünümü



Şekil 5: (c) Etial-140 180°C'deki aşınma gerçekleştirilmiş numunenin 1000X büyütmedeki SEM görünümü

4. Araştırma Bulguları

4.1. Deneysel Sonuçlar

4.1.1 Aşınma Testi Sonrası Ağırlık Kaybı

- Deneysel sonuçlara göre, Si oranı arttığında aşınma sonucu malzeme kaybı azalmaktadır.
- Bu test kapsamında sıcaklık arttıkça numunelerin aşınma sonucu ağırlık kayıp miktarının arttığı görülmektedir.
- Sürtünme katsayısı sıcaklık arttıkça referans numunesi dışındaki numunelerde belirgin miktarda artmaktadır.

4.1.2 Sertlik Testi

- Numune malzemesinde bulunan Si oranı arttıkça Brinell sertlik değeri artmaktadır.
- Brinell sertlik değeri testinde, demir döküm fren diskinin sertliği en yüksek çıkmaktadır.

4.1.3 SEM Görüntüleri

- Numunelerin 1000X büyütmedeki SEM görüntülerine göre aşınma izleri görülmektedir. Meydana gelen izler, aşınmadan kaynaklı malzemenin yönlenmesini ortaya koymaktadır.
- Numunelerde aşınma testi sonucunda malzeme hasarı gözlenmiştir.
- Deney sonrasında malzemede yüksek sıcaklık test numunelerinde abhezyon aşınması görülmektedir. Ayrıca pin-on disk aşınma testi sonunda darbeli aşınma söz konusudur [12].
- Numunelerde yer yer abrasif aşınma ve erozyon aşınması [13] gözlemlendiği de söylenebilir.

4.1.4 Yüzey Pürüzlülük Testi

- Elde edilen yüzey pürüzlülüğü verilerine göre sıcaklık etkisiyle alüminyum numunelerinde yüzey pürüzlülüğü artmaktadır. Aşınma testiyle, numunelerde meydana gelen ağırlık değişimi (ΔG) artması ile ortalama yüzey pürüzlülüğünün (R_a) de arttığı gözlenmiştir.
- Demir döküm fren diski için çıkılan, 180°C malzeme yüzey yapısında ve aşınma davranışlarında önemli bir değişikliğe sebep olmamaktadır.

4.1.5 Sürtünme Katsayısı

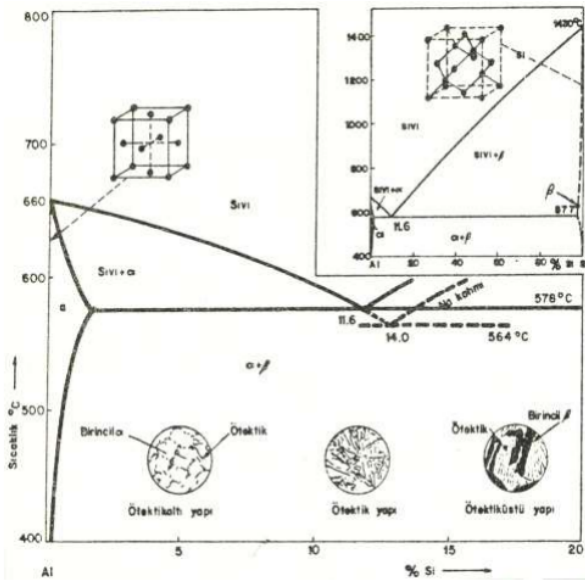
- Oda sıcaklığı ve yüksek sıcaklıkta yapılan deneyler sonucunda, alüminyum numunelerinde sıcaklık etkisiyle malzemede sürtünme katsayısının arttığı görülmektedir.
- Oda sıcaklığında gerçekleştirilen testlerde demir döküm fren diskinin, açındırıcı uç olarak kullanılan fren balatası arasında belirli bir mesafe yol alındıktan sonra (~50 metre) sürtünme artışı meydana gelmektedir. Bunun sebebi olarak kavrama süresi (numune ve aşındırıcı ucun asıl davranma özelliğine gösterdiği süre) [14] olduğu söylenebilir.
- 180°C'deki testte ise demir döküm fren diskinin kavrama süresi çok daha kısa olduğu gözükmemektedir. Bu da sıcaklık etkisiyle gerçek davranışa daha kısa sürede geçtiği varsayılabilir.

5. Sonuç ve Tartışma

- Deney numunelerinde, Al - Si alaşımli malzemelerin Si oranı arttıkça malzeme aşınma direncinde bir iyileşme olduğu görülmektedir.
- Silisyum etkisi ile Etial - 160 alaşımı ile Etial - 140 alaşımını kıyaslayacak olursak Etial - 140 ötektik alaşımı, Etial - 160 alaşımına göre, silisyum oranı artışıyla, silisyum kristalleri

arasındaki mesafesi (λ) azalmaktadır [15]. Kristal mesafesi (λ) azalmasıyla aşınmaya direncinin arttığı söylenebilir.

180°C'de gerçekleştirilen yüksek sıcaklık testleri sonucunda Si'nin Al içerisinde dikkate alınacak bir çözünme olmadığı ve ötektik altı Etial - 160 ile ötektik Etial - 140 alaşımlarının Al - Si ilişkisi Şekil 6'da gösterilmektedir (Backerud vd., 1990).



Şekil 6: Al - Si faz diyagramı [16]

- Çalışmamızda oda sıcaklığı ve yüksek sıcaklıkta yapılan aşınma testleri sonucunda, Etial - 140 ve Etial - 160 numunelerinin, sıcaklık etkisiyle sürtünme katsayılarında önemli bir artış gözlenmiştir.
- Taşıtlarda frenleme şiddetine bağlı olarak bu doğal sıcaklık artışı binek araçlarda yaklaşık 200 °C'ye çıkabilmektedir [10]. Yüksek sıcaklık aşınma testleri frenleme sırasında diskin sıcaklığının ulaştığı sıcaklık doğrultusunda Al - Si alaşımlarında aşınma testleri sadece oda sıcaklığında değil, yüksek sıcaklıkta (en az 180°C) da yapılması gerektiğini ortaya koymuştur.
- Sonuçlar ışığında yapılan çalışmalar neticesinde Al alaşımlarında elde ettiğimiz

sonuçlar ışığında gerekli çalışmalar yapılması halinde fren diskinde alternatif olabileceği ön görülmektedir.

Conflict of Interest / Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar

- [1] Eker, A. A., "Metal Matrisli Kompozit Malzemeler Ve Üretim Yöntemleri" Ders Notu, [Http://www.yildiz.edu.tr/~akdogan/Lessons/İmal_atakompozit/MMK_Son_İstanbul](http://www.yildiz.edu.tr/~akdogan/Lessons/İmal_atakompozit/MMK_Son_İstanbul), Erişim: 22 Şubat 2016.
- [2] Tezer, G., "Diskli Fren Sisteminde Disk Üzerindeki Sıcaklığın Analitik Olarak Hesaplanması", İstanbul, 2015.
- [3] Şahin, S., "Mühendislik Malzemelerin Mekanik Özellikleri", Ders Notu, [Http://www2.cbu.edu.tr/Salim.Sahin/Makine/Malz_eme_Secimi/Dersnotlari/3_Ders.Pdf](http://www2.cbu.edu.tr/Salim.Sahin/Makine/Malz_eme_Secimi/Dersnotlari/3_Ders.Pdf), Manisa, Erişim: 22 Şubat 2016.
- [4] Dikicioğlu, A., "Mekanik Özellikler" Ders Notu, [Http://web.itu.edu.tr/~dikicioglu/Webmal201/Mal_201mekanikozelliklersurunme\(4\).Pdf](http://web.itu.edu.tr/~dikicioglu/Webmal201/Mal_201mekanikozelliklersurunme(4).Pdf), İstanbul, Erişim: 01 Mart 2016.
- [5] Koraman, E., "Al-Fe-V-Si Alaşımlarının Yüksek Sıcaklık Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi", İstanbul, 2011.
- [6] Ilgaz, M. U., "Basınçlı Döküm Yöntemiyle Üretim Seramik Partikül Takviyeli Al-Si Esaslı Metal Matrisli Kompozit Malzemelerin Mekanik Özellikleri", İstanbul, 1997.
- [7] Büyükuncu, M. G., "Ötektik Altı Al-Si Döküm Alaşımlarında Bileşimin Optimizasyonu İle Döküm

Kabiliyeti Ve Mekanik Özelliklerin İyileştirilmesi” , İstanbul, 2010.

[8] Toptan F., Kumdalı F., Kerti I., “Al-B₄C Kompozitlerinin Fren Diski Olarak Kullanabilirliğine Genel Bir Bakış”, Metalurji Dergisi 145. Sayı, 11-18.

[9] Hauque Vd. “Tribological (Wear) Properties Of Aluminum-Silicon Eutectic Base Alloy Under Dry Sliding Condition”, Scripa Metallurgica Ve Meterialia, Cilt 26, Sayı 3, USA, 1992.

[10] Zang Vd. “Wear Rate Transitions İn Cast Aluminium- Silicon Alloys Reinforced With Sic Particles” Journal Of Materials Processing Technology, Malezya, 833-838.

[11] Eti Alüminyum
Http://Www.Etialuminyum.Com/ Tr-
Tr/Urunler/Ham-Aluminyum-Urunleri/Sayfalar/
Dokumhane-Urunleri.aspx ,Erişim: 22 Şubat 2016.

[12] Can, A. Ç., “Tasarımcı Mühendisler İçin Malzeme Bilgisi”, İstanbul, 2006.

[13] Bayer, R.G., Mechanical Wear Fundamentals An Testing. Second Edition, Marcel Dekker, 2004.

[14] Demir, A. “Fren Disklerine Uygulanan Kaplamaların Frenleme Performansına Etkisinin Deneysel İncelenmesi” , Kocaeli, 2009.

[15] Atasoy, A., “Ötektik Alaşımlar-Katılaşma Mekanizmaları Ve Uygulamaları, Vol. 1: Yönlendirerek Katılaştırılmış Ötektikler”, İstanbul, 1990.

[16] Backerud S.L., Chai G. Ve Tamminen J., “Solidification Characteristics Of Alluminium Casting Alloy, AFS /Skan Aluminium”,1990.