

# SAFFİL ( $\delta$ - $Al_2O_3$ ) FIBER TAKVİYELİ ZA-12 ALAŞIMIN SÜRTÜNME AŞINMA DAVRANIŞLARI

**Rafet ARIKAN**

Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Gazi Üniversitesi, 06570 Maltepe, Ankara  
[rafetar@gazi.edu.tr](mailto:rafetar@gazi.edu.tr)

(Geliş/Received: 11.09.2006; Kabul/Accepted: 01.03.2007)

## ÖZET

Bu çalışmada %10, %20 ve %30 hacim oranında alümina saffil ( $\delta$ - $Al_2O_3$ ) fiber içeren çinko-alüminyum esaslı alaşımın (ZA-12) sürtünme aşınma davranışları incelenmiştir. Numuneler saffil fiber preformlara vakum altında "sıvı metal infiltrasyon" yöntemiyle üretilen kompozit levhalardan hazırlanmıştır. Seramik fiberler yaklaşık 3 mikron çapında ve ortalama 500 mikron boyunda olup kompozit levhada düzlem içinde gelişigüzel (planar random) dağılmış haldedir. Sürtünme-aşınma deneyleri pim/disk tipi bir test makinesinde 20, 25 ve 30 N yükler altında yapılmıştır. Fiberlerin disk yüzeyine dik olmasına özen gösterilmiştir. Ağırlık kaybı (aşınma kaybı) ve sürtünme katsayısı belirlenmiş ve bunların fiber hacim oranı ile ilişkileri gösterilmiştir. Ağırlık kaybının yük ve fiber oranı ile arttığı, sürtünme katsayısının ise alaşıma göre daha büyük olduğu görülmüştür. Aşınma davranışlarını belirlemek için numunelerin hem aşınma yüzeyleri hem de bu yüzeye dik kesitleri elektron mikroskopta (SEM) incelenerek karşılaştırılmıştır. Buna göre fiberlerin plastik deformasyonu azalttığı, sürtünme direncini ise artırdığı fakat kopan fiber parçacıkların matrise gömülerek sürüklenmesi nedeniyle daha fazla aşınmaya sebep olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Aşınma, metal matrisli kompozit, saffil fiber, ZA-12 alaşımı.

## WEAR BEHAVIOUR OF ZA-12 ALLOY COMPOSITES REINFORCED WITH SAFFIL ( $\delta$ - $Al_2O_3$ ) FIBRES

### ABSTRACT

In this study the wear behaviour of a zinc-aluminum base alloy (ZA-12) containing 10, 20 and 30 %  $\delta$ - $Al_2O_3$  (alumina saffil) has been investigated. Specimens were produced from disc-shaped composite plates made from saffil fibre preforms vacuum infiltrated with molten alloy. The ceramic fibres with about 3  $\mu$ m in diameter and an average length of 500  $\mu$ m have a planar random distribution in the composite plates. The wear tests were carried out using the pin-on-disc type wear test apparatus under loads of 20, 25 and 30 N. The tests were performed on samples in which the fibres are perpendicular to the wear surface. The wear rate and the coefficient of friction of the composites were determined and plotted over a range of loads and volume fractions of fibers. In general the wear rate increased with an increase in volume fraction of fibre and load. The coefficients of friction of composites were higher than that of the unreinforced matrix alloy. The surfaces and sections perpendicular to the worn surfaces of the pins were examined by scanning electron microscopy (SEM) to determine the causes of the behaviour. Comparison of images allowed a correlation between wear rates and structures of the worn surface and subsurface layers developed during wear testing. It was found that the presence of fibres reduced the amount of subsurface plastic deformation, but the increase in wear rate compared with the unreinforced matrix alloy was principally due to the abrasive wear caused by the fragments of short delta-alumina (saffil) fibers embedded in the matrix alloy.

**Keywords:** Metal matrix composite, saffil fibre, wear, ZA-12 alloy.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Son yıllarda metal matrisli kompozitler (MMK) kritik uygulamalarda kullanılmaya başlamıştır. Bunun

nedeni üstün özelliklere sahip olmalarıdır [1]. Matris olarak en çok alüminyum alaşımları kullanılmaktadır. Bunlar hafif, dökümü kolay ve üstün mekanik özelliklere sahip alaşımlardır. Bu alaşımlara

infiltrasyon yöntemiyle toz yada kısa fiber halinde SiC ve  $Al_2O_3$  gibi seramikler katılarak üretilmektedir. Bu kompozitlerden piston, silindir gömleği, aşınma dayançlı dişliler, fren kampanaları, kesici uçlar ve kritik shaftlar üretilmektedir [2-4].

Son yıllarda alüminyum, bakır ve dökme demire alternatif olarak çinko-alüminyum alaşımları geliştirilmiştir. Bunlar mukavemetli, korozyon ve aşınma direnci iyi, aynı zamanda kolay dökülebilirliğe sahip alaşımlardır. Özellikle ZA adı verilen grup, daha iyi mekanik özelliklere sahiptir. Ancak özkütlesinin büyük ve yüksek sıcaklıklarda düşük mukavemetli olması gibi dezavantajları vardır [5,6]. Mukavemetini artırmak amacıyla hafif, sert, mukavemetli ve ucuz seramik fiberlerle takviye edilmektedir.

ZA alaşımlarının üstün tribolojik özelliklerine sahip olmasının sebebi, alaşımın yüzeyinde alüminyum oksit (alümina) ve çinko oksit gibi çok fazlı bir yapının kolayca oluşmasıdır. Alüminyum oksit sert olduğundan iyi aşınma direnci sağlarken, çinko oksit ise yumuşak olup yağlayıcı özellik kazandırmaktadır [7].

Aşınma, endüstride en çok karşılaşılan sorunlardan bir tanesidir. Genellikle pek tehlikeli olmamakla birlikte güç iletimini zorlaştırdığından çalışma verimini düşürmektedir.

Birçok araştırmacı tarafından MMK'lerin kaymalı aşınma davranışları araştırılmıştır [8]. Buna göre MMK'lerin aşınma direnci; fiber-matris arayüzey bağlantısının mukavemeti, fiberin kırılma tokluğu ve matrisin iş sertleşmesi gibi mikromekanik faktörlere bağlı olduğu görülmüştür. Dolayısıyla herhangi bir malzemenin aşınma davranışından söz edilirken aşınmayı en fazla etkileyen faktörlerin çok iyi anlaşılması gerekmektedir.

Yine yapılan çalışmalar göstermiştir ki, MMK'ler yağlamalı kayma şartlarında fibersiz alaşıma göre üstün aşınma direnci göstermektedir [9].

Yağlamasız (kuru) aşınma şartlarında ise karmaşık ve çelişkili sonuçlarla karşılaşmıştır [10]. Örneğin saffil fiber takviyeli bakır matrisli kompozitin kuru aşınma direnci yağlı haldekinden daha düşüktür [11].

Benzer şekilde kuru aşınma şartlarında SiC parçacıkların alüminyum matriste olumlu etki sağlamadığı Alpas ve Embury [12] tarafından ortaya konmuş, aynı kompozitin yağlamalı kayma aşınma direncinin ise daha iyi olduğu görülmüştür.

Bunun tersine, Hopking ve arkadaşları [13] ile Milliere ve Suery [14] kuru aşınma şartlarında saffil

fiberli kompozitlerin çelik bilyalı yataklarda iyi aşınma direnci gösterdiği belirlenmiştir.

Sonuç olarak araştırmacılar şuna işaret etmektedirler ki, aşınma direnci, malzemenin yalnızca iç yapısına bağlı bir özellik değil aynı zamanda malzemenin maruz kaldığı şartlara da son derece bağlı olmaktadır.

Son yıllarda endüstride önemli uygulama alanı bulan ZA alaşımların yetersiz yağlama şartlarında ve büyük yükler altında iyi aşınma direnci gösterdiği kanıtlanmıştır [16-18].

Hem serbest hem de basınçlı döküme elverişli %27'ye kadar alüminyum içeren ticari alaşımlar geliştirilmiştir. Bu alaşımlar pek çok uygulamada dökme demir, beyaz metaller ve bronz gibi geleneksel yatak malzemelerinin yerini almaya başlamıştır [17-20]. Bu alaşımlardan üretilen yataklar iş makineleri, hidrolik sistemler ve kranklar gibi bazı mühendislik uygulamalarında kullanılmaktadır [21-25].

Bu çalışmada %10, %20 ve %30 hacim oranında saffil ( $\delta$ - $Al_2O_3$ ) fiber içeren ZA-12 alaşımı kullanılmıştır. Numuneler saffil fiber içeren preformlara sıvı metal alaşımı enjekte edilerek (infiltrasyon yöntemi) üretilen kompozitlerden imal edilmiştir. Pim/disk tipi sürtünme-aşınma deney makinesinde fiberlere dik yönde aşınma deneyleri yapılarak saffil fiberlerin ZA-12 alaşımın aşınma davranışına etkisi incelenmiştir.

## 2. METAL MATRİSLİ KOMPOZİTLER (METAL MATRIX COMPOSITES)

### 2.1. Matris Alaşım (Matrix Alloy)

Metal matrisli kompozit üretiminde matris alaşım olarak çinko-alüminyum esaslı alaşımlar kullanılmıştır. Önemli çinko-alüminyum esaslı alaşımlar "ZA" ön takısı (Zinc-Aluminium) ile bu takıdan sonra gelen ve yaklaşık olarak alüminyum miktarını belirten bir sayı ile ifade edilir. Bunlar ZA-8, ZA-12 ve ZA-27 gibi ticari alaşımlardır.

Deneylerde ZA-12 alaşımı kullanılmıştır. ZA-12 alaşımı % (10.5-11.5) Al - %(0.5-1.25) Cu - % (0.015-0.030) Mg içermektedir. Mikro yapı primer  $\beta$  dentritleri ile lamelli ötektik yapıdan ( $\beta+\eta$ ) oluşmaktadır.

Yatak malzemeleri genelde biri sert diğeri yumuşak olmak üzere iki fazlı bir yapıya sahiptir. Sert faz yükü taşıma görevi yaparken yumuşak faz hem kaymayı kolaylaştırmakta hem de aşınma sırasında bazı sert parçacıkların gömülmesini sağlayarak shaftın aşınmasını önlemektedir. ZA-12 alaşımında yükü  $\beta$  primerleri taşımaktadır [26].

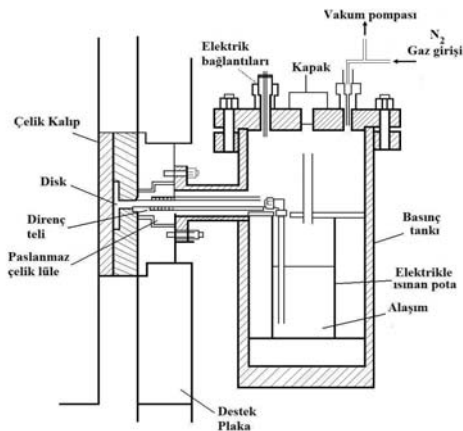
## 2.2. Saffil Alumina Fiber ( $\delta$ - $Al_2O_3$ ) (Saffil Alumina Fibre)

Metal matrisli kompozitlerin üretiminde kullanılan en ucuz fiber saffil ticari adı ile bilinen seramik fiberdir. % (96-97)  $\delta$ - $Al_2O_3$  (alümina) ve % (3-4)  $SiO_2$  içermektedir [27].  $\delta$ - $Al_2O_3$  kristal yapıya sahip olup fiber çapı 3 mikron ve boyu yaklaşık 500 mikrondur. Özgül ağırlığı  $3,3 \text{ g/cm}^3$ , çekme mukavemeti 2000 MPa ve elastik modülü 300 GPa'dır. Alümina saffil fiberin daha kararlı alfa yerine tranzisyon delta formunda olması ve ayrıca  $SiO_2$  içermesi sıvı metalin ıslatabilirliğini artırmaktadır. Bu özellikler saffil fiberi cazip bir takviye elemanı haline getirmektedir. Saffil fiberler bağlayıcı bir madde ile karıştırılıp bir kalıba dökülerek şekillendirilir. Kompozit üretiminde kullanılan 100 mm çapında 10 mm kalınlığında disk biçimindeki preformlar bu şekilde elde edilmektedir.

## 2.3. Kompozit Üretimi (Production of Composite)

Kompozit malzemelerin üretiminde değişik yöntemler kullanılmaktadır. Bu çalışmada kullanılan kompozitler "basınç altında sıvı metal infiltrasyon" yöntemi ile daha önceden üretilmiştir. Infiltrasyon yöntemi ile kompozit üretiminde kullanılan sistemin şematik resmi Şekil 1'de gösterilmiştir. Sistem şu elemanlardan oluşmaktadır: Basınç tankı, elektrikle ısıtılan pota, enjeksiyon sistemi, kalıp, vakum pompası ve basınçlı azot tankı.

Preform basınç tankına bağlanan çelik kalıp boşluğuna yerleştirilerek  $250 \text{ }^\circ\text{C}$ 'a kadar ısıtılır. Alaşım önce yer ocağında ergitilir ve sonra basınç tankı içindeki elektrikle ısıtılan potaya dökülür. Tank içinde vakum oluşturulur. Sonra azot gazı gönderilerek sıvı metal yüzeyinde yüksek basınç oluşturulur. Sıvı metal bu basınç altında ( $>100\text{bar}$ ) preform içerisine enjekte edilir. Sıvı metal ile temas eden bağlayıcı madde buharlaşırken fiberlerin arasında oluşan boşluk sıvı metal tarafından doldurulur. Katılaştıktan sonra kalıptan çıkarılır.



**Şekil 1.** İnfiltrasyon yönteminde kullanılan sistemin şematik resmi (Schematic illustration of a liquid metal infiltration apparatus)

Bu yöntemle preformun fiber içeriğine bağlı olarak değişik oranlarda fiber içeren kompozit malzemeler üretilmektedir. Deneylede kullanılan kompozitler %10, %20 ve %30 hacim oranında saffil fiber içermektedir.

## 3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR (EXPERIMENTAL WORKS)

### 3.1. Malzeme ve Numune Hazırlama (Material and Specimen Preparation)

Basınç altında sıvı metal infiltrasyon yöntemiyle üretilen kompozitlerden tel elektro- erozyonla 6,35 mm çapında, boyları 5 ile 7 mm arasında değişen küçük numuneler kesilmiştir. Tüm numunelerde fiberlerin aşınma yüzeyine dik olmasına özen gösterilmiştir.

ZA-12 alaşımı da aynı şekilde basınç altında sıvı metalin infiltrasyonu yöntemiyle üretilmiştir.

### 3.2. Sertlik ve Yoğunluk Ölçümü (Hardness and Density Test)

Alaşım ve kompozitlerin 187,5 kg yük altında 2,5 mm çapında bilya ile ölçülen Brinell sertlik değerleri ile Archimet prensibine göre bulunan yoğunlukları Tablo 1'de verilmiştir. Saffil miktarı arttıkça sertliğin arttığı fakat yoğunluğun azaldığı görülmektedir.

### 3.3. Metalografik İnceleme (Metallographic Examination)

Alaşım ve kompozitlerden kesilen küçük numuneler bilinen metalografik yöntemlerle incelemeye tabi tutulmuştur. Alaşımın 84 ml su+15 ml $H_2SO_4$ +1ml HF bileşimli solusyon ile dağlanarak 96x büyütme ile optik mikroskopta çekilen fotoğrafı Şekil 2'de gösterilmiştir. Yapı primer  $\beta$  dentritleri ile lamelli ötektik yapıdan ( $\beta+\eta$ ) oluşmaktadır.

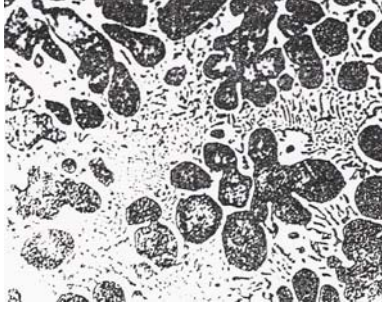
%10, %20 ve %30 fiber içeren kompozitlerin optik mikroskopta çekilen fotoğrafları da Şekil 3 (a), (b) ve (c) de gösterilmiştir. Fiberlerin düzlem içinde gelişi-güzel (planar-random) halde olduğu görülmektedir.

### 3.4. Aşınma Deney Düzenegi (Wear Test Apparatus)

Sürtünme-aşınma deney düzenegi; pim/disk, yük hücresi (load cell), hız control cihazı ve veri toplama sisteminden oluşmaktadır.

**Tablo 1.** Alaşım ve kompozitlerin sertlik ve yoğunluk değerleri (Hardness and density values of alloy and composites)

Numune	Brinell Sertlik	Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )
ZA-12(%0 fiber)	105	6.06
ZA-12(%10 fiber)	112	5.33
ZA-12(%20 fiber)	115	4.93
ZA-12(%30 fiber)	128	4.53



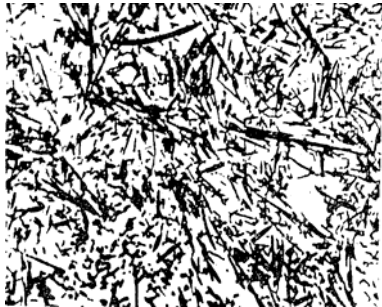
**Şekil 2.** ZA-12 alaşımının optik mikroskopta çekilen mikroyapısı  $\beta$ -primer dendritler ile ( $\beta+\eta$ ) lamelli ötektik yapı (96x) (Optical microstructure of ZA-12 alloy.  $\beta$ -primary dendrites and ( $\beta+\eta$ ) lamellar eutectic (96x))



(a)



(b)



(c)

**Şekil 3.** ZA-12 matrisli kompozit (96x) (a) % 10 fiber, (b) % 20 fiber (c) % 30 fiber (ZA-12 matrix composite with (a)10 %, 20 % and 30 % fibre(96x))

Sürtünme-aşınma deneyleri pim/disk tipi test makinesinde yapılmıştır. Deney numunesi, yatay konumdaki bir çubuk üzerine monte edilen bir aparata bağlanarak sürtünme diskine dik yönde bir ağırlık (yük) vasıtası ile bastırılmaktadır. Diskin dönme hızı Siemens Micro Master hız kontrol cihazı ile ayarlanmaktadır. Numune ile disk arasındaki

sürtünme kuvvetini ( $f_s$ ) ölçmek için bir yük hücresi (Sensotec marka, 340 model MBL load cell) kullanılmıştır.

### 3.5. Veri Toplama Sistemi (Data Acquisition)

Deneylerde kullanılan TDG marka veri toplama sistemi; bir adet AI8a-Codabus adı verilen genel amaçlı veri toplama cihazı, bir adet iletişim (communicator) cihazı ile yazılım paketinden oluşmaktadır.

Deneyler sırasında yük hücresi (load cell) tarafından algılanan veriler 8 kanallı AI8a-Codabus isimli veri toplama cihazına ve oradan da iletişim (haberleşme) cihazı üzerinden bilgisayara kaydedilmektedir. Verilerin toplanmasında 6 ayrı yazılım programından oluşan bir paket program kullanılmıştır.

### 3.6. Deneylerin Yapılışı (Test Procedure)

Önce deney numuneleri çelik çubukların ucuna yapıştırılmış, birleşme yerine bir de bilezik takılarak kuvvetlendirilmiştir. Numunenin temas yüzeyi son kez 1200 nolu zımpara ile taşlanmış, aseton ile iyice temizlendikten sonra elektronik terazi ile  $\pm 0.001$  gram hassasiyetle tartılmıştır.

Sürtünme-aşınma deneyleri 20, 25 ve 30 N yükler yada bu yüklerle karşı gelen 0.63, 0.79 ve 0.95 MPa yüzey basınçları altında kuru olarak yapılmıştır. Diskin dönme hızı (RPM) 96 devir/dakika olup tüm deneylerde sabit tutulmuştur. Buna göre kayma hızı 0.76 m/s olmaktadır. Tüm numuneler için alınan yol da 5501 metre olarak sabit tutulmuştur.

Sürtünme diskleri 1050 çeliğinden 180 mm çapında, 12 mm kalınlığında yapılmıştır. 650oC de su verilerek menevişlendikten sonraki sertliği RC 52'dir.

### 3.7. Deneysel Bulgular (Test Results)

#### 3.7.1. Ağırlık (Aşınma) kaybının hesaplanması (Calculation of weight loss)

Aşınma; kayma mesafesi ve kayma süresine bağlıdır. Dolayısıyla birim zamanda birim mesafede numune meydana gelen ağırlık (aşınma) kaybı ya da hacimsel kayıp olarak ifade edilmektedir.

Numuneler deneylerden önce ve sonra tartılarak ağırlık kaybı belirlenmiş, alınan mesafeye bölünerek mg/km cinsinden ağırlık (aşınma) kaybı bulunmuştur. Deneylerde üçer adet numune test edilerek ortalaması alınmıştır. Sonuçlar Tablo 2'de verilmiştir.

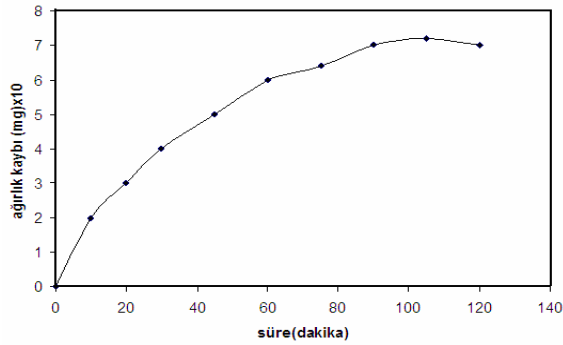
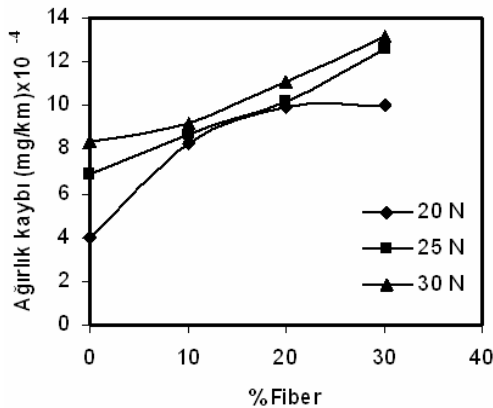
Öncelikle alışma aşınmasını (rodaj) belirlemek üzere %20 fiber içeren kompozit numune sık aralıklarla test edilip tartılarak ağırlık kaybının zamanla değişimi çizilmiş ve Şekil 4'te görülen ilişki elde edilmiştir. Buna göre yaklaşık ilk 60 dakika içinde alışma

**Tablo 2.** Aşınma kaybı ve sürtünme katsayısı  
(Wear rate and coefficient of friction)

% Fiber	Yük (N)	Ortalama aşınma (mg/km) x 10 <sup>-4</sup>	Sürtünme katsayısı ( $\mu$ )
0	20	4.0	0.35
0	25	6.9	0.30
0	30	8.4	0.29
10	20	8.3	0.31
10	25	8.7	0.33
10	30	9.2	0.34
20	20	9.9	0.30
20	25	10.2	0.33
20	30	11.1	0.40
30	20	10.0	0.42
30	25	12.6	0.43
30	30	13.15	0.50

aşınması meydana gelmiş ve hızlı aşınma oluşmuştur. Daha sonra aşınma oldukça kararlı ve yavaş bir tarzda devam etmiştir.

Ağırlık (aşınma) kaybı, fiber hacim oranı ve yük arasındaki ilişkiler Şekil 5'te gösterilmiştir. Buna göre fiber miktarı arttıkça aşınma miktarının arttığı görülmektedir. Bu artış 20 N yükte az, 25 ve 30 N yüklerde ise daha fazla olmuştur. Sonuç olarak tüm yüklerde kompozit numuneler fibersiz numunelere (ZA-12) göre daha fazla aşınma göstermiştir.

**Şekil 4.** %20 saffil fiber içeren kompozitin ağırlık kaybının zamanla değişimi (Variation of wear rate of composite with 20% saffil fibre as a function of sliding time)**Şekil 5.** Ağırlık kaybının % fiber ve yük ile değişimi (Variation of wear rate as a function of per cent fibre and the normal applied load)

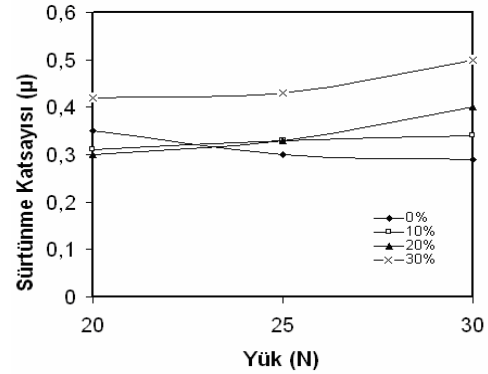
### 3.7.2. Sürtünme katsayısının hesaplanması (Calculation of Friction Coefficient)

Sürtünme katsayısını belirlemek için numune ile dönen disk arasında oluşan sürtünme kuvvetinin ( $f_s$ ) ölçülmesi gerekmektedir. Bunun için önce yük hücresine etkiyen kuvvet sürekli kaydedilerek ve deney düzeneyine ait kalibrasyon eğrisinden de yararlanarak sürtünme kuvveti bulunmuştur. Uygulanan yük (N) belli olduğundan aşağıdaki bağıntıdan sürtünme katsayısı ( $\mu$ ) hesaplanmıştır.

$$\mu = f_s / N$$

Hareketli sürtünme yüzeyleri arasında kinetik (dinamik) sürtünme kuvveti oluşmaktadır. Dolayısıyla burada hesaplanan değer kinetik sürtünme katsayısı olmaktadır. Bulunan değerler Tablo 2'de verilmiştir.

Sürtünme katsayısı, uygulanan yük ve fiber hacim oranları arasındaki ilişkiler Şekil 6'da gösterilmiştir. Buna göre fiber ilavesiyle alaşımın sürtünme katsayısı arttığı, ancak herhangi bir fiber oranı için yükün artmasıyla sürtünme katsayısında önemli bir değişimin olmadığı görülmüştür.

**Şekil 6.** Sürtünme katsayısının % saffil fiber ve yük ile değişimi (Variation of friction coefficient as a function of percent saffil fibre and the applied load)

### 3.7.3. Aşınma yüzeylerinin SEM görüntüleri (SEM micrographs of the worn surfaces)

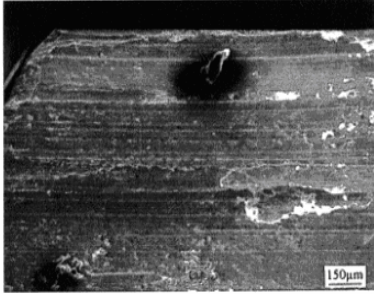
25 N yük altında yapılan sürtünme aşınma deneylerinden sonra aşınma yüzeylerinin SEM ile çekilen fotoğrafları aşağıda verilmiştir. Fibersiz alaşımın değişik büyütme ölçeklerinde çekilmiş fotoğrafları (topograf) Şekil 7 (a) ve (b)'de görülmektedir. Aşınma yüzeyi genellikle düzgün ve az çizilmiştir. Sıvama ve yapışma sonucunda bir aşınma tabakası oluşmuştur.

%10, %20 ve %30 saffil fiber içeren kompozitlerin aşınma yüzeylerine ait SEM fotoğrafları da sırayla Şekil 8 (a) ve (b), Şekil 9 (a) ve (b) ve Şekil 10 (a) ve (b)'de gösterilmiştir. Hepsinde abrazif aşınmanın etkili olduğu ve kopan saffil parçacıklarının matrisi

çizerek yüzeyden sürüklenerek ayrıldığı görülmektedir.

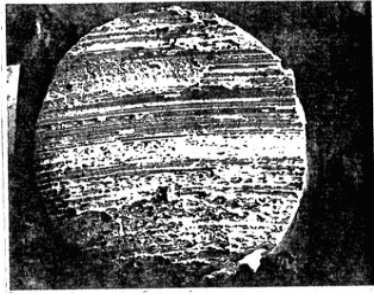


(a)

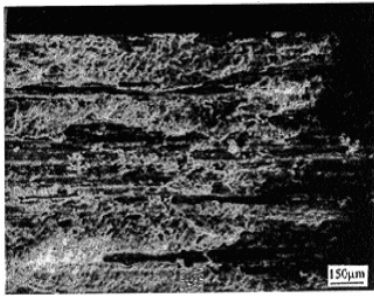


(b)

**Şekil 7.** %0 saffil fiber içeren alaşımın 25 N yükte aşınma yüzeyinin SEM görüntüleri .(a)az büyütme genel topograf (13x), (b) adhezif aşınma yüzeyi (65x) (SEM micrographs of wear surface of 0% saffil fibre composite at 25N load.(a) a general topograph at low magnification ( 13x), (b)adhesive wear surface ( 65x))



(a)



(b)

**Şekil 8.** %10 saffil fiber içeren kompozitin 25 N yükte aşınma yüzeyinin SEM görüntüleri.(a)az büyütme genel topograf (14x), (b)matris içinde sürüklenen saffil parçacıkları içeren abrazif aşınma yüzeyi (130x) (SEM micrographs of wear surface of 10% saffil fibre composite at 25N load.(a) a general topograph at low magnification (14x), (b) abrasive wear surface with embedded fragments of saffil fibre (130x))



(a)

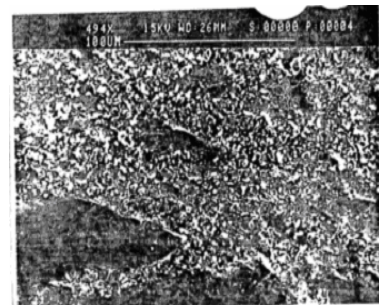


(b)

**Şekil 9.** %20 saffil fiber içeren kompozitin 25 N yükte aşınma yüzeyinin SEM görüntüleri.(a) az büyütme genel topograf (14x), (b) abrazif aşınma yüzeyi (123x). (SEM micrographs of wear surface of 20% saffil fibre composite at 25N load . (a) a general topograph at low magnification (14x), (b) abrasive wear surface (123x))



(a)



(b)

**Şekil 10.** %30 saffil fiber içeren kompozitin 25 N yükte aşınma yüzeyinin SEM görüntüleri. (a) az büyütme genel topograf (13x) (b) saffil parçacıklarının matris içinde sürüklenmesi (494x) (abrazif aşınma) (SEM micrographs of wear surface of 30% saffil fibre composite at 25Nload.(a) a general topograph at low magnification (13x), (b) movement of saffil fibre fragments embedded in the matrix (494x)(abrasive wear))

Fiberin plastik deformasyona etkisini incelemek için, numuneler aşınma yönüne paralel olarak ikiye kesilerek SEM fotoğrafları çekilmiştir. %0, %10, %20 ve %30 fiber içeren kompozitlerin 25 N yükte aşınma yüzeyinin hemen altındaki bölgenin deformasyonu sırayla Şekil 11-14'te gösterilmiştir. Buna göre fibersiz alaşımın belirgin olarak deformasyona uğradığı, fakat fiber oranı ile birlikte sertlik ve gevrekliğin arttığı ve deformasyonun azaldığı görülmektedir.



**Şekil 11.** %0 saffil fiber içeren alaşımdaki primer ve ötektik fazlar kayma yönünde deformasyona uğramıştır (425x) (The primary and eutectic phases of the unreinforced alloy were plastically deformed at 25N(425x))



**Şekil 12.** %10 saffil fiber içeren kompozitin 25 N yükte aşınma yüzeyinin altındaki bölgenin deformasyonu. Aşınma yüzeyine dik fiberlerin ucundan kopan parçacıklar matrisle birlikte sürüklenmektedir (610x) (Subsurface plastic deformation of 10% saffil fiber composite at 25N. Movement of saffil fragments broken out the end of the fibers perpendicular to the wear surface (610x))



**Şekil 13.** %20 saffil fiber içeren kompozitin 25 N yükte aşınma yüzeyinin altındaki bölgenin deformasyonu. Fiberlerin direncinden dolayı deformasyon azdır (605x) (Subsurface plastic deformation of 20% saffil fiber composite at 25N. Plastic deformation is little due to resistance of fibers) (605x))



**Şekil 14.** %30 saffil fiber içeren kompozitin 25 N yükte aşınma yüzeyinin altındaki bölgenin deformasyonu. Fiberlerin direncinden dolayı deformasyon belirsizdir (605x) (Subsurface plastic deformation of 30% saffil fiber composite at 25N. The plastic deformation is non detectable due to resistance of fibers (605x))

#### 4. TARTIŞMA (DISCUSSION)

Bu çalışmalarda %0, %10, %20 ve %30 oranında saffil ( $\delta$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) fiber içeren ZA-12 alaşımının sürtünme-aşınma davranışları araştırılmıştır. Deneyler 20, 25 ve 30 N yükler ya da bunlara karşı gelen 0,63, 0,79 ve 0,95 MPa yüzey basınçları altında yapılmıştır. Kayma hızı 0,76 m/s olarak sabit tutulmuştur. Tüm numuneler için alınan yol da 5501 m olarak sabit tutulmuştur.

Alaşımın ve kompozitlerin mikroyapıları sırayla Şekil 2 ve 3'de gösterilmiştir. Fiberler sürtünme aşınma yüzeyine dik olup yaklaşık 3 mikron çapında ve 500 mikron boyundadır.

ZA-12 alaşımı sünek bir malzeme olduğu halde seramik fiber oranı arttıkça özgül ağırlığı azalmış, sertliği artmış ve gevrek bir malzeme haline dönüşmüştür. Sertlik ve fiber hacim oranı arasındaki bu ilişki kompozitin aşınma davranışını etkilemiştir.

Ağırlık ya da aşınma kaybının yük ve fiber hacim oranı ile ilişkisi Şekil 5'te, sürtünme katsayısının yük ve fiber hacim oranı ile ilişkisi de Şekil 6'da gösterilmiştir. Buna göre fiber miktarı arttıkça aşınma kaybının arttığı görülmektedir. Bu artış 20 N yükte az, 25 N ve 30 N yüklerde ise daha fazla olmuştur. Fiber oranı arttıkça sürtünme katsayısı da artmıştır. Ancak herhangi bir fiber hacim oranı için, yükün artmasıyla sürtünme katsayısında önemli bir değişme görülmemiştir. Bu davranışlar şöyle yorumlanabilir:

Metal matrisli kompozitlerin (MMK) aşınma davranışları; takviye elemanın (fiber) yapısı ve boyutu, hacim oranı, fiber/matris arayüzünün mukavemeti ve matrisin özellikleri gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. Alüminyum esaslı kompozitlerle ilgili yapılan çalışmalarda aşınma direncinin partikül hacim oranı ile arttığı görülmüştür [28,29]. Bu konuda literatürde çelişkili görüşler vardır. Wang ve arkadaşlarına [30] göre partikül oranı arttıkça abrazyon aşınma direnci azalmaktadır. Hosking ve

arkadaşlarına [13] göre partikül oranı arttıkça adhezif aşınma miktarının azaldığı bildirilmiştir.

Burada yapılan çalışmalarda ise hem yük hem de fiber oranı arttıkça aşınma miktarı artmıştır (Şekil 5). Fiberler alaşımın deformasyonunu zorlaştırmaktadır. Ancak fiberler aşınma yüzeyine dik olduğundan, matris deformasyona zorlanırken fiberler kolayca kırılmaktadır. Kopan fiber parçacıkları matrise gömülme suretiyle temas yüzeyinde fiber oranının artmasına, sürtünme sırasında sürüklenerek yüzeyin çizilmesine, dolayısıyla hem sürtünme kuvvetinin hem de sürtünme katsayısının artmasına neden olmaktadır.

Öte yandan fiber oranı arttıkça fiberlerin birbirleriyle temas ihtimali de artmaktadır (Şekil 15). Bu da yapı içinde yer yer zayıf fiber/matris arayüzlerinin oluşmasına neden olmaktadır. Bu durumda aşınma sırasında fiberler matristen daha kolay ayrılmakta, beraberinde daha fazla matrisi sürüklemek suretiyle daha fazla aşınmaya sebep olmaktadır.

Partikül boyutu da kompozitin aşınma davranışını etkilemektedir. Önceki çalışmalarda aynı fiber oranlarında küçük  $\delta$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> partikülleri içeren alüminyum alaşımının büyük partikül içeren alaşımdan daha fazla aşındığı görülmüştür [31].

Bu çalışmalarda ise 3 mikron çapındaki fiberlerin aşınma yüzeyine dik olması nedeniyle malzeme, küçük partikül içeren bir kompozit gibi davranmaktadır. Fiberlerin aşınma yüzeyine paralel olması durumunda ise, fiber boyunun 500 mikron olması nedeniyle iri partikül içeren bir kompozit gibi davranmakta ve bu durumda yükün büyük bir kısmı fiberler tarafından taşınmaktadır. Fiberlerin aşınma yüzeyine dik olması nedeniyle yükün büyük kısmı matrise yansımaktadır. Matris deformasyona uğrarken gevrek fiberler kolayca kırılmakta ve yüzeyi çizerek (abrazif aşınma) daha fazla aşınmasına sebep olmaktadır.

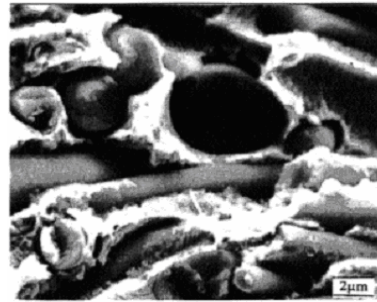
Partikül boyutunun kompozitlerin kayma aşınmasına etkisi birçok araştırmacılar tarafından çalışılmıştır [32,33]. Bu çalışmalar göstermiştir ki MMK'lerin aşınma direnci partikül boyutunun artmasıyla artmaktadır. Bunun nedeni büyük partiküllerin yük taşıma kapasitesinin artmasıdır. Partiküllerin küçük olması durumunda abrasif partiküller tarafından kolayca yerinden sökülüp çıkarılmakta, dolayısıyla aşınma direnci daha düşük olmaktadır.

Seramik fiberler uygulanan yükün bir kısmını taşıdığından mekanik özelliklerin örneğin akma mukavemeti, basma mukavemeti ve aşınma direncinin artmasına neden olmaktadır [34,35]. Bu durumda çelik disk daha fazla çizilerek aşınmaktadır.

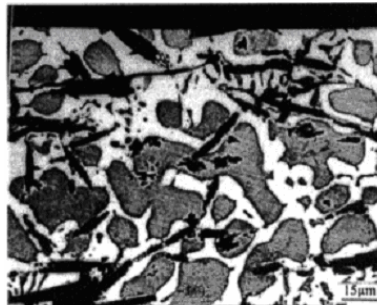
Fibersiz alaşımın aşınma yüzeyinin SEM de az büyütme ile çekilmiş topografileri Şekil 7 (a) da gösterilmiştir. Aşınma yönü sola doğrudur. Genelde düzgün ve pürüzsüz bir aşınma yüzeyi olduğu halde, diske yapışan bazı küçük metal parçacıkları (debris), numune yüzeyinde çiziklere neden olmuştur.

Fibersiz alaşım yük altında hem plastik deformasyona uğramış hem de aşınan matris parçacıkları yüzeye sıvanarak yapışmıştır (Şekil 7 (b)). Bu tabakanın kayma yönünde sürüklenerek numunenin yüzeyinden ayrılırken kıvrıldığı görülmüştür. Yük arttıkça plastik deformasyon daha fazla olduğundan fibersiz alaşımda sıvama ve yapışma (adhesive) aşınması etkili olmaktadır.

Kompozitlerde ise sert seramik fiberler hem numunenin hem de diskin çizilerek aşınmasına neden olmaktadır. Aşınma bir çizik ile başlayarak zamanla derinleşmekte ve genişlemektedir. Fiberlerin ucundan kırılıp kopan parçacıklar yumuşak alaşıma gömülerek sürüklenmektedir. Bu durum kompozitlerde abrasif aşınma mekanizmasının etkili olduğunu göstermektedir.



**Şekil 15.** %30 saffil fiber içeren kompozitin SEM mikrofotografı. Bazı fiberler birbirleriyle temas ettiğinden ve aralarını metal doldurmadığından fiber /matris arasındaki bağ zayıf olmaktadır. (SEM micrograph of 30% saffil fiber composite. Since some fibers touch each other and no metal infiltrates between them, it results in weak bonding)



**Şekil 16.** Alaşım içindeki fiberler dentritler arasında ötektik yapı içinde yer almaktadır. (The fibers in the alloy segregate into the interdendritic eutectic regions)

%10 fiber içeren kompozitin 25 N yükte aşınma yüzeyinin değişik büyütme ile SEM de çekilen fotoğrafları Şekil 8 (a) ve (b)'de gösterilmiştir. Aynı



şartlar altında %20 ve %30 fiber içeren kompozitlere ait SEM fotoğrafları da Şekil 9 (a) ve (b) ile Şekil 10 (a) ve (b)'da gösterilmiştir. Hepsinde abrazyonun etkili olduğu, fiber parçacıklarının matris içinde sürüklenerek yüzeyden ayrıldığı görülmüştür.

Aşınma sırasında fiberlerin yük altında oluşan plastik deformasyona etkisini incelemek üzere, numuneler aşınma yönünde ikiye kesilmiştir. Buna göre fibersiz alaşımın aşınma yüzeyinin hemen altındaki bölgenin SEM görüntülerinden (Şekil 11) hem primer  $\beta$  fazının hem de ötektik yapının ( $\beta+\eta$ ) belirgin olarak kayma yönünde plastik deformasyona (shear) uğradığı görülmektedir.

Kompozitlerde ise fiber oranı arttıkça sertlik ve gevrekliğin artmasıyla plastik deformasyonun belirgin olarak azaldığı görülmektedir (Şekil 12-14).

Arıkan ve arkadaşları [36] kompozitlerin sürtünme katsayısının alaşımından büyük olduğunu ortaya koymuştur. Yu ve arkadaşları [37] saffil içeren çinko-alüminyum (ZA-22) kompozitinin sürtünme katsayısının fiber miktarı arttıkça arttığını göstermişlerdir. Ancak, Akbulut ve arkadaşları [38] kısa saffil fiber içeren alüminyum esaslı kompozitin sürtünme katsayısının yük arttıkça düştüğünü gözlemlemişlerdir. Bunun nedenini de silisyum içeriğine ve büyük yükler altında sıcaklığın artmasına bağlamışlardır.

Çinko-alüminyum esaslı sistemlerde ise örneğin ZA-12'de çinko oksit ( $ZnO$ ) ve alüminyum oksit ( $Al_2O_3$ ) gibi oksitler artan yük altında ısının etkisiyle daha fazla oluşmaktadır. Bu oksit filmler sürtünme kuvvetini dolayısıyla sürtünme katsayısını düşürmektedir. Arıkan ve arkadaşları [36]  $ZnO$  filminin yumuşak bir faz olduğunu ve yağlayıcı olarak davranmak suretiyle sürtünme kuvvetini düşürdüğüne işaret etmişlerdir.

Ancak yapılan bu çalışmalarda, düşük hızlar ve düşük yükler kullanıldığından sürtünme nedeniyle ısınma ya da sıcaklığın artması söz konusu değildir. Bundan dolayı oksit filminin oluşma ihtimali çok azdır. Buna bağlı olarak sürtünme katsayısının da düşük olma ihtimali yok denecek kadar azdır.

Fiber oranı arttıkça fiberlerin birbirleriyle temas etme ihtimali artmaktadır (Şekil 15). Bu durumda fiber / matris arasındaki bağ zayıf olacağından fiberler matristen hem daha kolay ayrılmakta hem de kayma yönünde sürüklenerek derin çiziklerin oluşmasına ve dolayısıyla metalin daha fazla aşınmasına sebep olmaktadır. Sonuçta fiber oranı arttıkça abrazyonun daha fazla olduğu görülmüştür.

Kompozit içindeki fiberler düzlem içinde gelişigüzel (planar random) haldedir. Alaşım içinde ise fiberlerin dentritlerin arasında ötektik yapı içinde yer aldığı görülmektedir (Şekil 16).

## 5. SONUÇ (CONCLUSION)

- 1) ZA-12 alaşımı iyi tribolojik özelliklere sahip sünek bir malzemedir. Yük altında meydana gelen deformasyon matrisin sıvanmasına ve yapışmasına, dolayısıyla kayganlığın artmasına ve daha az aşınmasına neden olmuştur.
- 2) Fiberler alaşımın sertliğinin artmasına ve gevrekleşmesine neden olmuştur. Fiberler aynı zamanda alaşımın deformasyonunu engellemiştir. Ancak, fiberler aşınma yüzeyine dik olduğundan matrisin deformasyonu sırasında kolayca kırılmaktadır. Kopan fiber parçacıkları hem matrise gömülmüş hem de sürüklenerek yüzeyin çizilmesine ve böylece daha fazla aşınmasına neden olmuştur.
- 3) Fiberler aşınma direncini arttırmak suretiyle sürtünme katsayısının artmasına neden olmuştur.

## TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENTS)

Bu çalışma, 06/2003-11 Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri kapsamında gerçekleştirilmiştir.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Prasad, B.K., Patvardan, A.K. ve Yegneswaran, A.H., **Wear**, 199, 142, 1996.
2. Donomoto, T., Funatari, K. ve Miura, N., "Ceramic fibre reinforced piston for high performance diesel engines", **SAE Technical Papers**, 83052, 1983.
3. Taya, M. ve Arsenault R.J. (ED.), **Thermomechanical Behaviour of Metal Matrix Composites**, Pergamon, Oxford, England, 23, 1989.
4. Dinwoodie, J., "Automotive applications for MMCs based on short staple alumina fibres", **SAE Technical Papers-International Congress Exhibition**, Detroit, Michigan, 23, 1987.
5. Gervais, E., Levert, H. ve Bess, M., "The development of a family of zinc-base foundry alloys", **AFS Trans.**, 88, 183, 1980.
6. Gervais, E., Barnhurst, R.J. ve Loong, C.A., "An analysis of selected properties of ZA alloys", **J. Metals**, 43, 1985.
7. Pekwah, P.L., Savaşkan, T. ve Laufer, E., "Wear resistance and microstructure of Zn-Al-Si and Zn-Al-Cu alloys", **Wear**, 117, 79, 1987.
8. Alpas, A.T. ve Zhang, J., "Effect of SiC particulate reinforcement on the dry sliding wear of aluminium-silicon alloys", **Wear**, 155, 83-104, 1992.

9. Prasad, S.V. ve Rohatgi, P.K., "Tribological properties of Al alloy particle composites", **J. Metals**, 39(11), 22-26, 1987.
10. Wang, A. ve Rack, H.J., "Abrasive wear of silicon carbide particulate and whiskers reinforced 7091 aluminium matrix composites", **Wear**, 147, 355-374, 1991.
11. Saka, N. ve Karelakas, D.P., **Wear of Materials**, American Society of Mechanical Engineer, New York, 784-793, 1985.
12. Alpas, A.T. ve Embury, J.D., "Sliding and abrasive wear behaviour of an aluminium-SiC particle reinforced composite", **Scripta Metallurgica**, 24, 931-935, 1990.
13. Hoskings, F.M., Folgarprtillo, F., Wunderlin, R., ve Mehribian, R., "Composites of aluminium alloys: fabrication and wear behaviour", **Journal of Materials Science**, 17, 477-498, 1982.
14. Milliere, C. ve Surey, M., **Materials Science and Technology**, 4(1), 41-51, 1988.
15. Hutchings, I.M., "Tribological properties of metal matrix composites", **Material Science and Technology**, 10, 513-517, 1994.
16. Elmori, S., Boukhili, R., San Marchi, C., Mortensen, A. ve Lloyd, D.J., "Thermal Expansion Responses of Pressure Infiltrated SiC/Al Metal Matrix Composites", **Journal of Material Science**, Cilt 32, 2131-2140, 1997.
17. Barnhurst, R.J., "Guidelines for Designing Zinc Alloy Bearings—A Technical Manual", **Society of Automotive Engineers**, No 88028, 151-161, 1984.
18. Murphy, S. ve Savaşkan, T., "Comparative Wear Behaviour of Zn-Al-Based Alloys in an Automotive Engine Application", **Wear**, 98, 151-161, 1984.
19. Calayag, T.S., "The Practicality of Using Zinc-Aluminum Alloys for Friction-Type Bearings", **25<sup>th</sup>. CIM. Conf. of Metallurgists**, Toronto, Intl. Symp. On Zinc-Aluminum (ZA) Casting Alloys, 305-312, 1986.
20. Calayag, T. ve Ferres, D., "High Performance, High Aluminum Zinc Alloys for Low Speed Bearings and Bushings", **SAE Annual Conference**, No 820643, 2242-2251, 1983.
21. Barnhurst, R.J., **Zinc-Aluminum Alloy Design Manual for Continous Rotating Bearings**, Noranda Sales Corporation Ltd., Toronto, 1988.
22. Altorfer, K.J., "Zinc Alloys Compete with Bronze in Bearings and Bushings", **Metal Progress**, 29-31, 1982.
23. Prasad, B.K., "Effect of Silicon Addition and Test Parameters on Sliding Wear Characteristics of Zinc – Based Alloy Containing 37.5% Aluminum", **Materials Transactions**, 38, 701-706, 1997.
24. Prasad, B.K., Patwardhan, A.K., ve Yegneswaran, A.H., "Dry Sliding Wear Response of a Modified Zinc – Based Alloy", **Materials Transactions**, 38, 197-204, 1997.
25. Prasad, B.K., "Influence of Heat Treatment on the Physical, Mechanical and Tribological Properties of a Zinc – Based Alloy", **Z. Metallkunde.**, 87, 226-232, 1996.
26. Goldak, G.R. ve Parr, J.G., **J. Inst. Metals**, Cilt 92, 230, 1964.
27. **Saffil Alumina Fibre; Applications in Metal Matrix Composites**, I.C.I. Publication, 1982.
28. Wang, A. ve Rack, H.J., "Abrasive wear of silicon carbide particulate- and whisker-reinforced 7091 aluminium matrix composites", **Wear**, 146, 337-348, 1991.
29. Zhang, Z.F., Zhang, L.C. ve Mai, Y.W., "Wear and abrasion of cast Al-alumina particle composites", **Journal of Materials Science**, 30, 1961-1966, 1995.
30. Wang, A.G. ve Hutchings, I.M., "Wear of alumina fibre-aluminium metal matrix composites by two body abrasion", **Materials Science and Technology**, 5, 71-76, 1989.
31. Akbulut, H., **Alümina Fiber Takviyeli Al-Si Metal Matris Kompozitlerin Üretimi ve Mikroyapı-Özellik İlişkilerinin İncelenmesi**, Doktora Tezi, İTÜ, İstanbul, 1994.
32. Jiang, Y.N., Ma, Z.Y., Li, S.Z., Li, S., ve Bi, J., "Effect of particle size on wear behaviour of SiC particulate-reinforced aluminium composites", **Journal of Materials Science Letters**, 14, 114-116, 1995.
33. Chung, S. ve Hwang, B.H., "A microstructural study of the wear behaviour of SiC<sub>p</sub>/Al composites", **Tribology International**, 27, 307-314, 1994.
34. Lo, S.H.J., Dionne, S., Sahoo, M. ve Hawthorne, H.M., **J. Mater. Sci.**, 27, 5681, 1992.
35. Lee, C.S., Kim, Y.H., Han, K.S. ve Lim, T., **J. Mater. Sci.**, 27, 793, 1992.
36. Arıkan, R. ve Murphy, S., **Wear**, 143, 149, 1991.
37. Yu, S., He, Z. ve Chen, K., **Wear**, 198, 108, 1996.
38. Akbulut, H., Durman, M. ve Yılmaz, F., **Wear**, 215, 170, 1998.

