



Ni₃Al partikülleri ile pekiştirilmiş bronz matrisli kompozitlerin kuru sürtünme ve aşınma davranışları

Dry sliding friction and wear behaviours of bronze matrix composites reinforced with Ni₃Al particles

İbrahim ÇELİKÜREK^{1*}, Aytaç BİÇER²

¹Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye.
cibrahim@ogu.edu.tr

²Demirdöküm Bozüyük Tesisleri, Bilecik, Türkiye.
aytac.bicer@vaillant-group.com

Geliş Tarihi/Received: 03.02.2016, Kabul Tarihi/Accepted: 15.08.2016

* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2016.27136

Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Ni₃Al partikülleri ile pekiştirilmiş bronz esash kompozit klasik toz metalurjisi (TM) tekniği ile üretilmiştir. Pekiştirici olarak kullanılan partiküller döküm Ni₃Al alaşımının biyeli değirmende öğütülmesiyle üretilmiştir. Bronz alaşımı bileşenlerinin tozları ve Ni₃Al (ağ. %1, 75-100µm partikül boyutunda) karıştırılmış, ekstenel olarak sıkıştırılmış ve sinterlenerek kompozit malzeme elde edilmiştir. Kompozit ışık mikroskobu ve taramalı elektron mikroskobu kullanılarak karakterize edilmiştir. Basma mukavemetleri ve sertlikler belirlenmiştir. Kompozitin ve pekiştirilmemiş bronzun tribolojik özellikleri disk üzerinde pim geometrisinde belirlenmiş ve sonuçlar geleneksel fenolik reçine ile bağlanan fren balatası ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar TM bronzun kompozitten daha mukavemetli olduğunu göstermiştir. Kompozitin sertliği TM bronzdan daha yüksektir. Sürtünme ve aşınma testleri kompozitin aşınma direncinin ve sürtünme katsayısının geleneksel balatadan daha yüksek olduğunu açığa çıkarmıştır.

Anahtar kelimeler: Metal matrisli kompozitler, Fren balatası, Mukavemet, Sertlik, Sürtünme ve aşınma

Abstract

The bronze based composite reinforced with Ni₃Al particles was produced by classical powder metallurgy (PM) technique. Particles used as reinforcement were produced via ball milling of Ni₃Al cast alloy. The powders of constituents of bronze and Ni₃Al powder (1%wt.75-100µm particle in size) were mixed, compacted axially and sintered. The composite was characterized using light microscopy and scanning electron microscopy. The compression strength and hardness of composites were determined. The tribological properties of composite and unreinforced bronze were determined at pin-on-disc geometry and results were compared with conventional phenolic resin bonded brake lining. The results revealed that PM bronze has higher strength than composite. The hardness of composite is higher than PM bronze. The sliding and wear tests revealed that the wear resistance and coefficient of friction of composite are higher than conventional brake lining.

Keywords: Metal matrix composites, Brake lining, Strength, Hardness, Friction and wear

1 Giriş

Frenler taşıtlardaki en önemli güvenlik ve performans bileşenlerinden birisidir[1]. Otomotiv fren sistemi metalik bir fren diski veya kampana ve fren balatası veya pabucundan oluşur[2]. Frenler, hareket halindeki aracın yavaşlatılması veya durdurulması sırasında kinetik enerjisi sürtünme ile ısı enerjisine dönüştüren sistemlerdir[3]. Günümüzde kullanılan frenlerde disk veya kampana değişik dökme demirlerden yapılırken balata veya pabuçlar polimer matrisli kompozit şeklinde üretilmektedir.

Fren balata malzemelerinde sürtünme katsayısı oldukça yüksek olmalı, daha önemlisi değişen sürtünme şartlarında değişmemelidir. Sürtünme katsayısı zamanla, sıcaklıktaki değişimle, nemle, aşınma ve korozyon etkileriyle, yoldan sıçrayabilecek toz ve su ile vb. değişmemelidir. Bunlara ilaveten güvenlik için uzun ömürlü olmalı ve konfor için titreşim ve sese neden olmamalıdır[4]. Bundan başka aşınma direncinin yüksek olması, karşı malzemeyi çizip hasara uğratmaması, mekanik mukavemetinin yeterli olması da gerekir[5]. Ayrıca sertlik, basma mukavemeti ve yüksek sıcaklıklara direnç gibi mekanik özelliklerin iyi bir kombinasyonunu sağlamalıdır[3].

Asbest dolgulu fren balatalarının yasaklanmasından sonra günümüzde genellikle fenolik reçineler ile bağlanmış

içerisinde 10'dan fazla bazen 20-25 değişik katkı bulunan kompozit balatalar kullanılmaktadır.[1],[4]. Bu bileşenlerin işlevleri 4 ana grupta toplanabilir; bağlayıcı, yapısal malzemeler, dolgular ve sürtünmeyi ayarlayıcılar. Bağlayıcı katkı malzemelerini bir arada tutar, yapısal malzemeler kompozit matrisine destek sağlar, dolgular balataya hacim kazandırır ve maliyeti düşürürler, sürtünmeyi modifiye eden katkılar da sürtünme katsayısını kararlı tutarlar[1],[6].

Otomotiv frenlerinin sürtünme davranışları disk, balata ve bu iki yüzey arasındaki üçüncü cisimlerin aktif yüzeylerinin karakteri ile belirlenir. Bu tribo sistem çok karmaşık ve değişkendir ve hala tam olarak anlaşılabilmiş değildir[7]. Ara yüzey davranışlarının net bir şekilde belirlenememesinin en önemli nedenlerinden birisi farklı karakterde çok sayıda katkı malzemesi içermesidir. Fenolik reçine esaslı fren balatalarının geliştirilmesine yönelik araştırma çalışmaları sürtünmeyi artırma, aşınmayı azaltma, konforu artırma, kullanım sıcaklığını artırma ve maliyeti düşürme vs. özelliklerin üzerine odaklanmaktadır.

Bir fren malzemesinden beklentilerin çok fazla olması araştırmacıları farklı malzemelere de yöneltmiştir. Metal matrisli kompozitler iyi bir balata malzemesi olarak önerilmektedir[8]-[12]. Metalik katkılar fenolik esaslı fren balatalarının tribolojik özelliklerini geliştirmek için zaten kullanılıyordu[13],[14]. Metal esaslı balataların polimer esaslı balatalara göre enerjisi daha hızlı absorblama, daha yüksek

aşınma direnci, daha yüksek sıcaklıklarda çalışabilme ve ısıyı daha hızlı iletme gibi üstünlükleri vardır[5]. Metal matrisli sürtünme kompozitlerinde matris malzemesi olarak Alüminyum, Bakır ve bunların alaşımları önerilirken sürtünmeyi ve aşınmayı kontrol etmek için de genellikle Al_2O_3 ve SiC gibi seramik esaslı malzemeler kullanılmaktadır[8],[10].

Metaller arası bileşikler özellikle yüksek sıcaklıklardaki yüksek mekanik özellikleri ve oksidasyon dirençleriyle metalik malzemelerin yeni bir sınıfını oluşturmaktadır. Bunlar içinde alüminatlar özel bir sınıfı oluşturur. Nikel alüminatlar yüksek sıcaklıklardaki üstün özellikleri yanında hem düşük hem de yüksek sıcaklık uygulamalarındaki üstün sürtünme ve aşınma davranışlarıyla da dikkat çekmektedir. Ni_3Al alaışımının hem matris olarak hem pekiştirici olarak hem de kaplama olarak kullanımının önerildiği birçok çalışma mevcuttur[15]-[17].

Bu çalışmada, Ni_3Al partikülleri ile pekiştirilmiş bronz matrisli kompozitler klasik toz metalurjisi tekniğiyle üretilmiş, kompozitlerin sürtünme ve aşınma davranışları belirlenmiş ve bulgular konvansiyonel fenolik esaslı fren balatası ile karşılaştırılarak değerlendirme yapılmıştır.

2 Deneysel çalışmalar

Kompozitlerin üretiminde pekiştirici olarak kullanılan Ni_3Al alaşımı %99.9 saflıktaki Ni ve %99.7 saflıktaki Al'nin vakumlu ark ergitme ocağında stokiometrik bileşimde ergitilmesiyle üretilmiştir. Oksitlenmeyi önlemek için ocak önce 5×10^{-2} mbar seviyesine vakumlanmış, daha sonra saf Ar gazı ile doldurulmuştur. Dökümü yapılan alaşım gezegensel hareketli bilyeli değirmende öğütülmüş ve elenerek $75 \mu m$ 'den büyük $100 \mu m$ 'den küçük partiküller ayrılmıştır. Bu partiküller kompozitte pekiştirici olarak kullanılmıştır. Matris ise nominal bileşimi Tablo 1'de verilen yatak alaşımıdır. Yatak alaşımının hazırlanmasında bileşimi oluşturan elementlerin tozları kullanılmıştır.

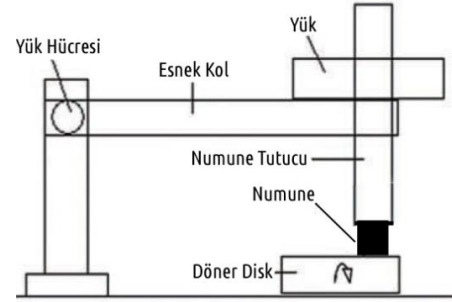
Tablo 1:Matris malzemesinin nominal bileşimi (%ağ.)

Bakır	Kalay	Demir	Kurşun	Grafit
70	8	11	8.5	2.5

Yatak alaşımı bileşimine sahip matrise ağırlıkça %1 oranında Ni_3Al partikülleri ilave edilerek karıştırılmış ve karışım aksel olarak 300MPa basınç ile preslenmiştir. Preslenen numuneler kuartz tüplere konulup vakumlanmış ve $820^\circ C$ sıcaklığa 40 dk. çıkılarak bu sıcaklıkta 20 dk. süreyle sinterlenmiştir. Sinterlenen numuneler fırında kendi halinde soğutulmuştur. Böylece 6mm çapında ve 10mm yüksekliğinde numuneler elde edilmiştir.

Sinterlenen numunelerin basma mukavemetleri ve sertlikleri ölçülmüş, mikro yapısı da ışık mikroskobu ve taramalı elektron mikroskobu kullanılarak incelenmiştir. Numunelere şematik olarak Şekil 1'de gösterilen CSM tribometre cihazında disk üzerinde pim geometrisinde kuru sürtünme ve aşınma testleri uygulanmıştır. İki farklı yük ve kayma hızı kullanılarak sürtünme ve aşınma davranışları belirlenmiş ve sonuçlar nominal bileşimi Tablo 2'de verilen konvansiyonel balata ile karşılaştırılmıştır. Sürtünme ve aşınma testlerinde karşı cisim olarak GG25 gri dökme demir kullanılmıştır. Her deney öncesinde dökme demir diskin yüzeyi parlatılarak yüzey pürüzlülüğü $Ra=1.5 \mu m$ seviyesine getirilmiştir. Her test 2.000m kayma mesafesinde gerçekleştirilmiş, numunedeki ağırlık kaybı ölçülmüş ve toplamda 10.000m'ye kadar testlere

devam edilmiştir. Aşınma miktarları ağırlık kayıplarının malzeme yoğunluğuna bölünmesiyle bulunan aşınma hacimleri şeklinde tespit edilmiştir.



Şekil 1: Tribometre cihazının şematik görünümü.

Tablo 2. Konvansiyonel fren balatasının nominal bileşimi.

Fenolik reçine	29
Demir	11
Karbon	15
Kireç taşı	12.6
Alüminyumoksit	0.8
Sentetik demiroksit	9.9
Vermikülit	14.9
Çinko	2.5
Diğer	4.3

3 Bulgular ve tartışma

Matris alaşımı, kompozit ve GG25 malzemesine ait basma mukavemeti ve sertlik değerleri Tablo 3'te özetlenmiştir. Tablodan görüldüğü gibi partikül ilavesi yatak alaşımı matrisin mukavemetini düşürürken sertliğinde artışa neden olmuştur. Partiküllerle pekiştirilmiş kompozitlerde pekiştirici ilavesinin matrisin mukavemetini düşürücü veya artırıcı etkisinin olabileceği daha önceki çalışmalarda ifade edilmiştir[18]. Sertlikteki artışın nedeni pekiştirici sertliğinin matristen daha yüksek olmasıdır.

Tablo 3: Deney numunelerin mekanik özellikleri.

	Matris	Kompozit	GG25
%0.2 Basma akma mukavemeti (MPa)	344	54	-
Sertlik (HV)	42	80	275

Şekil 2'de üretilen matris ve kompozitin optik mikro yapıları görülmektedir. Şekil 2b'de görüldüğü gibi Ni_3Al partikülleri matris içinde homojen bir biçimde dağılmış ve matris ile bağlanmıştır. Uygulanan sinterleme sürecinde metalik karakterdeki partiküllerin matris içinde çözünmeden kaldığı da görülmektedir.

Sürtünme ve aşınma testleri 10 ve 15N normal yük, 1 ve 1.5m/s kayma hızlarında gerçekleştirilmiştir. Kayma mesafesiyle kümülatif aşınma miktarları Şekil 3'te verilmiştir. Şekillerden konvansiyonel balatanın ve kompozitin kayma mesafesine bağlı olarak benzer aşınma davranışı sergilediği görülmektedir. Tüm sürtünme koşullarında konvansiyonel balata kompozitten daha düşük aşınma direncine sahiptir. Matris malzemesi olan yatak alaşımı ise her ikisinden de yüksek aşınma direnci göstermektedir.

Şekil 4'te 10.000m kayma mesafesinde numunelerdeki spesifik aşınma hızları verilmiştir. Şekilden yükün ve kayma hızının değişmesiyle aşınma hızının hem kompozitte hem de konvansiyonel balatada değiştiği görülmektedir. Konvansiyonel balatada düşük yüklerde kayma hızı arttıkça aşınma direnci artarken daha yüksek yüklerde kayma hızının artması aşınma direncinin azalmasıyla sonuçlanmıştır. Kompozit malzemede ise düşük yüklerde kayma hızının artmasıyla aşınma direnci azalırken yüksek yüklerde kayma hızının artmasıyla aşınma direnci bir miktar artmaktadır.

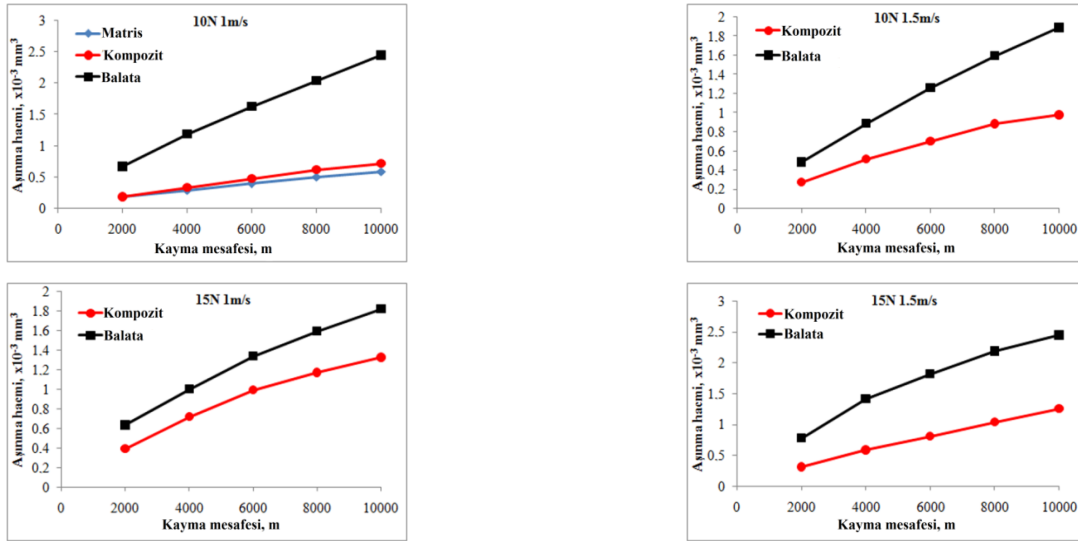
Sürtünme koşullarının kompozit ve konvansiyonel balata malzemesinin sürtünme katsayısına etkileri Şekil 5'te gösterilmektedir. Genel olarak tüm sürtünme koşullarında kompozit malzeme konvansiyonel balatadan daha yüksek sürtünme katsayısına sahiptir. Kompozit malzemede sürtünme katsayısının yüksek olması içerdiği Ni_3Al

partiküllerinden kaynaklanmaktadır. Çünkü matris malzemesinin sürtünme katsayısı daha düşüktür.

Matrisin, kompozitin ve konvansiyonel balatanın aşınma testinden sonraki aşınmış yüzey SEM mikro yapılarının bazıları ise Şekil 6'da verilmiştir. Karşı cisim olan dökme demirin sertliği hem kompozitten hem de balatadan çok daha yüksektir. Mikro yapılardan konvansiyonel balatada düşük yük ve kayma hızlarında çok az abrasif aşınmayla birlikte kısmi delaminasyon varken yüksek kayma basıncı ve hızında hakim aşınmanın adhesif aşınma olduğu görülmektedir (Şekil 6a, b). Kompozit malzemede ise düşük kayma yükü ve hızında abrasif aşınma ve oluklanma ile plastik deformasyon görülürken (Şekil 6c) yüksek yük ve kayma hızlarında abrasif aşınmanın ve oluklanmanın azaldığı (Şekil 6d) görülmektedir. Hakim aşınma mekanizmasındaki değişimin nedeni artan yük ve hızın neden olduğu sürtünme ara yüzeyi sıcaklığındaki artıştır.



Şekil 2:(a): Matris ve,(b): Kompozitin optik mikro yapısı.

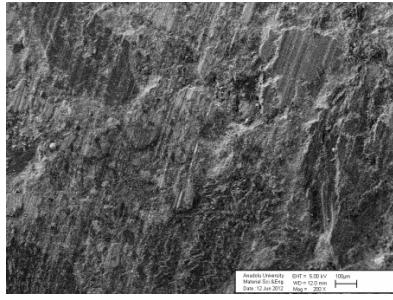


Şekil 3: Farklı sürtünme koşullarında aşınma miktarının kayma mesafesiyle değişimi.

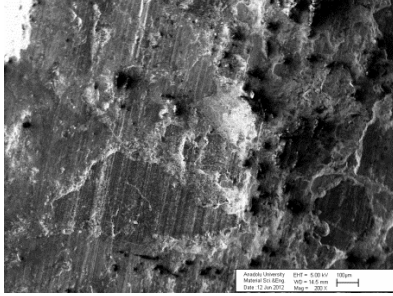


Şekil 4: Farklı sürtünme koşullarındaki spesifik aşınma hızları.

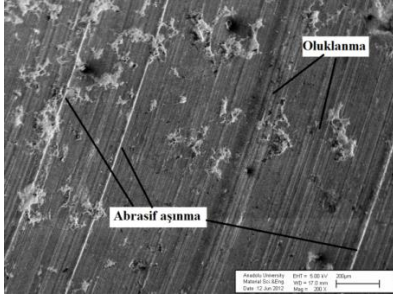
Şekil 5: Farklı sürtünme koşullarındaki sürtünme katsayıları.



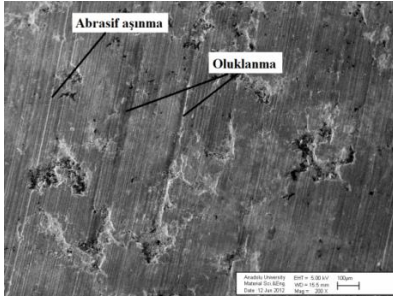
(a)



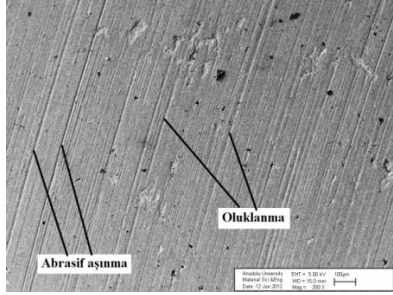
(b)



(c)



(d)



(e)

Şekil 6: Aşınmış yüzeylerin mikro yapıları. (a):Balata 10N yük 1m/s, (b):Balata 15N yük 1.5m/s, (c):Kompozit 10N yük 1m/s, (d): kompozit 15N yük 1.5m/s, (e):Matris 10N yük 1m/s hız.

Temas halinde birbiri ile sürtünme hareketi yapan malzemelerde hakim aşınma mekanizmasının temas halindeki malzemelerin mekanik özelliklerine ve sürtünme koşullarına (kayma basıncı, kayma hızı, ortam vs.) bağlı olduğu bilinmektedir. Polimer matrisli kompozitten daha yüksek mekanik özelliklere sahip olan bronz matrisli kompozitte plastik deformasyonun daha zor olması sürtünme katsayısının da daha yüksek olmasıyla sonuçlanmıştır. Sürtünme kuvvetlerinin oluşmasındaki önemli unsurlardan bir tanesi de ara yüzeyde oluşan adhesif bağlanmadır. Metalik karakterdeki malzemeler arasında oluşabilecek adhesif bağlanmanın metal-polimer arasındaki bağlanmadan daha yüksek olacağı da açıktır. Sürtünme testlerinde elde edilen sürtünme katsayıları, sonrasında ölçülen aşınma hacimleri ve aşınmış yüzey mikro yapıları birlikte değerlendirildiğinde kompozitlerin kuru sürtünme ve aşınmasında plastik deformasyon (oluklanma ve delaminasyon) ve abrasif aşınmanın rol aldığı görülmektedir.

4 Sonuçlar

Ni₃Al partikülleri ile pekiştirilmiş yatak alaşımı bileşimine sahip metal matrisli kompozit klasik toz metalurjisi tekniği ile üretilebilir. Uygun sinterleme şartlarında Ni₃Al partikülleri matris içinde çözünmeden kalabilir. Metalik karakterdeki Ni₃Al metaller arası bileşiği seramik karakterdeki pekiştiricilere göre metal matris ile daha iyi bir ara yüzey bağı oluşturabilir. Böylece aşınma direncine daha iyi katkı sağlayabilir. Ara yüzey bağının iyi olmaması durumunda matristen ayrılan pekiştirici partiküller aşınma direncini artırma yerine azaltıcı etki gösterebilir. Seramikler gibi çok yüksek sertliğe sahip olmayan Ni₃Al kompozitin aşınma direncini artırırken sürtündüğü karşı yüzeyi çok fazla hasara uğratmaz. Yatak alaşımına ilave edilen %1 Ni₃Al sürtünme katsayısını artırırken aşınma konvansiyonel balata malzemesinden daha yüksek aşınma direnci kazandırır. Konvansiyonel balata ile karşılaştırıldığında, sağladığı diğer avantajların yanında, yapı bileşen sayısı daha az olan kompozit malzemede sürtünme ve aşınma davranışlarını kontrol etmek çok daha kolay olabilir.

5 Kaynaklar

- [1] Mohanty S, Chugh YP. "Development of fly ash-based automotive brake lining". *Tribology International*, 40(7), 1217-1224, 2007.
- [2] Kukutschova J, Roubicek V, Maslan M, Jancik D, Slovak V, Malachova K, Pavlickova Z, Filip P. "Wear performance and wear debris of semimetallic automotive brake materials". *Wear*, 268(1-2), 86-93, 2010.
- [3] Sellami A, Kchaou M, Elleuch R, Cristol AL, Desplanques Y. "Study of the interaction between microstructure, mechanical and tribo-performance of a commercial brake lining material". *Material and Design*, 59, 84-93, 2014.
- [4] Mutlu I, Eldogan O, Findik F. "Tribological properties of some phenolic composites suggested for automotive brakes". *Tribology International*, 39(4), 317-325, 2006.
- [5] Boz M, Kurt A. "Toz metal fren balata malzemelerinin sürtünme-aşınma performansı üzerine Çinkonun etkisi". *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21(1), 115-121, 2006.
- [6] Kumar M, Bijwe J. "Composite friction materials based on metallic fillers: Sensivity of m to operating variables". *Tribology International*, 44(2), 106-113, 2011.

- [7] Eriksson M, Jacobson S. "Tribological surfaces of organic brake pads". *Tribology International*, 33(12), 817-827, 2000.
- [8] Boz M, Kurt A. "The effect of Al₂O₃ on the friction performance of automotive brake friction materials". *Tribology International*, 40(7), 1161-1169, 2007.
- [9] Kurt A, Boz M. "Wear behavior of organic asbestos based and bronze based powder metal brake linings". *Materials and Design*, 26(8), 717-721, 2005.
- [10] Hassan AM, Alrashdan A, Hayajneh MT, Mayyas AT. "Wear behavior of Al-Mg-Cu-based composites containing SiC particles". *Tribology International*, 42(8), 1230-1238, 2009.
- [11] Gultekin D, Uysal M, Aslan S, Alaf M, Guler MO, Akbulut H. "The effects of applied load on the coefficient of friction in Cu-MMC brake pad/Al-SiCp MMC brake disc system" *Wear*, 270(1-2), 73-82, 2010.
- [12] Jia JH, Chen J, Zhou H, Wang J, Zhou H. "Friction and wear properties of bronze-graphite composite under water lubrication". *Tribology International*, 37(5), 423-429, 2004.
- [13] Jang H, Ko K, Kim SJ, Basch RH, Fash JW. "The effect of metal fibers on the friction performance of automotive brake friction materials". *Wear*, 256(3-4), 406-414, 2004.
- [14] Ho SC, Lin JHC, Ju CP. "Effect of fiber addition on mechanical and tribological properties of a copper/phenolic-based friction material". *Wear*, 258(5-6), 861-869, 2005.
- [15] Johnson ML, Mikkola DE. "Cavitation erosion and abrasive wear of Ni₃Al alloys". *Intermetallics*, 3(5), 389-396, 1995.
- [16] Zhu S, Bi Q, Yang J, Liu W, Xue Q. "Effect of particle size on tribological behavior of Ni₃Al matrix high temperature self-lubricating composites". *Tribology International*, 44(12), 1800-1809, 2011.
- [17] Yu Y, Zhou J, Chen J, Zhou H, Guo C, Guo B. "Preparation, microstructure and tribological properties of Ni₃Al intermetallic compound coating by laser cladding". *Intermetallics*, 18(5), 871-876, 2010.
- [18] Celikyurek I, Korpe NO, Olcer T, Gurler R. "Microstructure, properties and wear behaviors of (Ni₃Al)_p reinforced Cu matrix composites". *Journal of Materials Science and Technology*, 27(10), 937-943, 2011.