



## T/M YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN Cu-C-Al<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> KOMPOZİTİNİN ABRASİV AŞINMA DAYANIMI

Ç. ÖZAY & A. HASÇALIK

### Özet

Bu çalışmada, Cu tozuna hacimce %5, %10, %15 oranında C ve Al<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> katılarak toz metalurjisi yöntemi ile üretilen Cu-C-Al<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> kompozitinin abrasiv aşınma davranışı üzerinde karbon ve alüminyum silikat takviye partiküllerinin etkisi araştırılmıştır. Aşınma deneyleri farklı yükler kullanılarak pim-disk aşınma aparatında yapılmıştır. Numunelerin Mikroyapıları SEM, optik mikroskop, EDS ve X-Ray ile incelenmiştir. Sonuç olarak bakır matrise katılan C ve Al<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> takviye partiküllerinin hacim oranının ve uygulama yükünün artmasıyla aşınma oranının arttığı tespit edilmiştir.

### 1. Giriş

Son yıllarda yüksek elektrik ve ısı iletkenliğe sahip ve aynı zamanda yüksek sıcaklıklara dayanımlı malzemeler önem kazanmıştır. Saf bakır yüksek elektrik ve ısı iletkenliğe sahip olmasına karşın, çekme, sürünme ve sertlik gibi mekanik özellikleri düşüktür. Bu bakımdan yüksek çekme mukavemetli ve sert bakır esaslı malzeme geliştirilmesi önemlidir. Bakırın mekanik dayanımı matris içerisine homojen olarak dağılmış sert parçacık takviyesi ile veya yaşlandırma ısı işlemi ile artırılabilir [1]. Kompozit malzemelerde genellikle silisyum kabür (SiC), Alumine, zirkon veya bor gibi sert bileşikler takviye elemanı olarak kullanılmaktadır. Fakat; granite, sillimanite, korundum vb. doğal minareller büyük potansiyele sahip olmalarına rağmen takviye elemanı olarak kullanımları çok azdır [2]. Kompozit malzemelerde takviye elemanlarının kullanılması yumuşak yapı içerisinde sert fazlar oluşturarak, hem aşınma ve hem de tokluğu artırmaktadır. Aşınma direnci sert partiküllerin miktarına, boyutuna, dağılımına ve matris ile takviye elemanlarının sertliğine ve kırılma tokluğuna bağlı olarak değişmektedir. Toz metalurjisi yöntemi çeşitlilik, malzeme tasarrufu, karmaşık şekillerde parça üretimi, mikro yapısal ve kimyasal homojenlik gibi özelliklerinden dolayı, ileri malzemelerin üretiminde giderek önemi artmaktadır [3,4]. Geleneksel ergitme ve döküm yönteminde ise, eriyik bakır ve seramik parçacıklar arasında ıslanma özelliğinin yetersiz kalmasından dolayı homojen dağılım sağlanamamakta, ayrıca yoğunluk farkları eriyikte segregasyona sebep olmaktadır [5]. Bu yüzden, toz

metalurjisi yöntemi bakır matrisli parçacık takviyeli kompozit malzemelerin üretimi için uygun bir yöntem olarak görülmektedir.

Konu ile ilgili literatürde, genel olarak takviye elemanlarının aşınma direncini artırdığı belirtilmektedir. Dong ve diğ. [6], Cu matrisine nano boyutta karbon takviye ederek, elde ettikleri numunelerin aşınma ve sürtünme davranışlarını araştırmışlar ve karbon miktarının artmasıyla aşınma direncinin arttığını belirlemişlerdir. İzçiler ve Muratoğlu [7], Al matrisine SiC takviye ederek farklı aşındırıcıların etkilerini incelemişler ve yük artışına paralel olarak ağırlık kaybının arttığını tespit etmişlerdir. Tjong ve Lau [8], sıcak izostatik presleme yöntemiyle üretilen Cu matrisli ve TiB<sub>2</sub> partikül takviyeli kompozitlerin abrasiv aşınmalarını araştırmışlardır. Saf bakırın yumuşak olmasından dolayı aşınma kaybının büyük oranda olduğunu ve TiB<sub>2</sub> takviyeli kompozitlerin daha iyi aşınma direnci gösterdiğini belirlemişlerdir. Diğer bir çalışmada ise, sıcak izostatik presleme yöntemiyle üretilen Cu matrisli ve SiC partikül takviyeli bakır kompozitlerinin aşınma davranışlarını araştırmışlardır. Saf bakırın büyük oranda aşınma kaybı gösterdiğini ve SiC partikül takviyeli bakır kompozitlerinin daha iyi aşınma direnci gösterdiğini ifade etmişlerdir [1]. J.P.Tu, vd. [9], toz metalurjisi yöntemi ile üretilmiş takviyesiz bakır alaşımları ve Cu-Fe<sub>3</sub>-Al kompozitlerinin kuru kayma aşınma dayanımı incelemelerinde, temas basıncı ve kayma hızı parametrelerinin etkilerine bağlı olarak aşınma kayıplarını tespit etmişlerdir. S.F. Moustafa, S.A. vd. yapmış oldukları çalışmada Cu kaplanmış ve Cu kaplanmamış C tozlarından oluşan kompozitlerin sürtünme ve aşınmalarını araştırmışlardır. Cu/C kompozitlerinin saf bakıra nazaran daha düşük aşınma oranı ve sürtünme katsayısına sahip olduğu ve Cu kaplanmış C kompozitlerin en düşük aşınma oranını gösterdiği sonucuna varmışlardır [10]. Singh ve diğ., döküm yöntemiyle üretilmiş alüminyum alaşımı ve %10 sillimanite katılmış alüminyum alaşımlarını, farklı aşınma parametreleri kullanarak aşındırılmışlar ve artan yük, tane boyutu ve aşınma mesafesinin aşınma direncini düşürdüğünü tespit etmişlerdir [2].

İlgili çalışmalarda takviye partikülü olarak SiC, TiB<sub>2</sub> ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> üzerinde yoğunlaştığı, buna karşın silikat grubu seramiklerle ilgili çalışmaların oldukça sınırlı olduğu görülmektedir. Bu çalışmada, Cu matrisine Al<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> ve C takviyesi yapılarak toz metalurjisi yöntemi ile üretilen kompozit malzemelerin abrasiv aşınma dayanımının incelenmesi amaçlanmıştır.

## 2. MATERYAL VE METOT

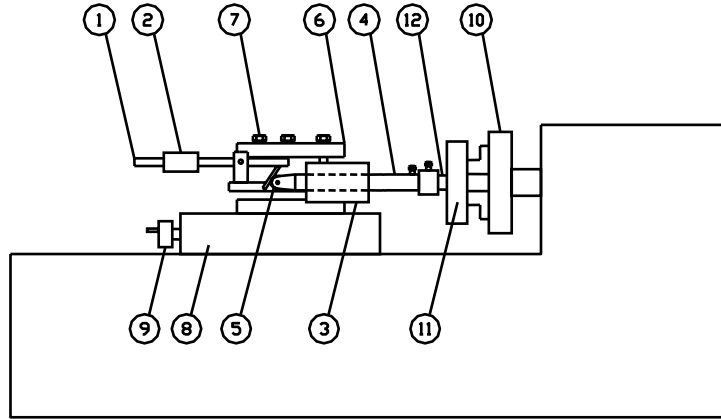
Deneyel çalışmada kullanılan numunelerin karışımları, ortalama 43 µm tane boyutundaki Cu tozuna, hacimce %5, %10 ve %15 oranlarında, 60 µm' luk ortalama tane boyutuna sahip alüminyum silikat (Al<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>) ve karbon (C) tozları katılıp, 10<sup>-5</sup> gr hassasiyetine sahip bir terazide tartılarak hazırlanmıştır. Karışımlar, 15 dakika süre ile karıştırılarak, homojen bir karışım sağlanmıştır. Hazırlanan bu karışımlar 600 MPa basınç altında soğuk preslenerek, Ø13x15 mm ebatlarında

numuneler elde edilmiş ve argon gazı ortamında 900 °C’ de 60 dakika süre ile sinterlenmiştir. Çizelge 1’de numunelerin karışım oranları görülmektedir.

**Çizelge 1.** Numunelerin % Hacim Oranları

Numune No	Karışım Oranları
1	Cu - % 5 C - % 5 Al <sub>2</sub> SiO <sub>5</sub>
2	Cu - % 5 C - %10 Al <sub>2</sub> SiO <sub>5</sub>
3	Cu - % 5 C - %15 Al <sub>2</sub> SiO <sub>5</sub>
4	Cu - % 5 Al <sub>2</sub> SiO <sub>5</sub> - %5 C
5	Cu - % 5 Al <sub>2</sub> SiO <sub>5</sub> - %10 C
6	Cu - % 5 Al <sub>2</sub> SiO <sub>5</sub> - %15 C

Deney numunelerinin mikroyapılarını ve oluşan fazları belirlemek amacıyla, numuneler 80-1200 meshlik su zımparasına sırasıyla tutularak yüzeyleri temizlenmiştir. 1µ ve 6µ elmas pastadan geçirilen numuneler Fe<sub>3</sub>Cl çözeltisiyle dağlanarak optik ve elektron mikroskoplarında incelenmiş, X- ray ve EDS analizleri yapılmıştır. Numunelerin abrasiv aşınma deneyleri pim-disk aşınma deney cihazında yapılmış ve abrasiv aşındırıcı olarak, 80 mesh’ lik silisyum karbür (SiC) zımpara kağıtları kullanılmıştır (Şekil 1). Deneyler üç ayrı yük altında (10N , 20N, 30N), 90 dev dak<sup>-1</sup> ile dönen disk üzerinde aşındırıcı kağıda temas ettirilerek, dıştan merkeze doğru 30 m yol şartlarında yapılmıştır. Deney sonrası numuneler 10<sup>-5</sup> gr hassasiyetinde bir teraziyle tartılarak ağırlık kaybı tespit edilmiştir. Her bir deney üç defa tekrarlanıp ortalama değer alınmıştır.

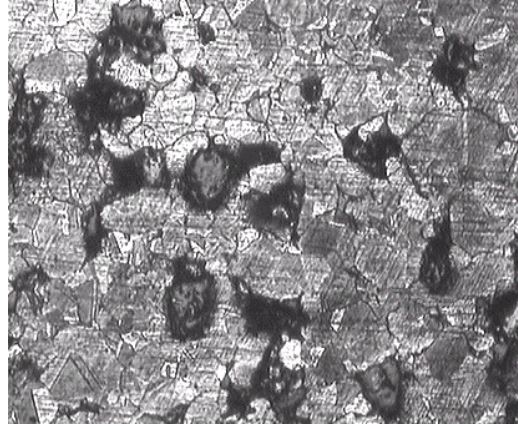


**Şekil 1** Abrasiv Aşınma Aparatının Şematik Şekli

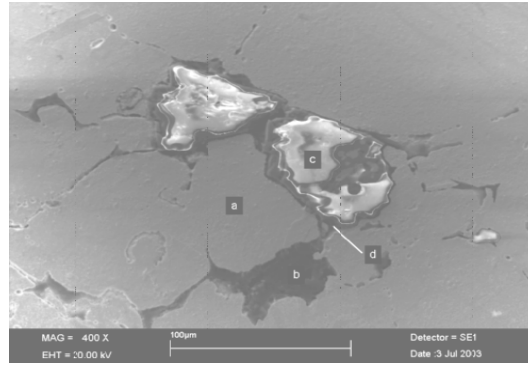
(1-Yük 2-Yük kolu 3-Numune tutucusunun burcu 4-Numune tutucu kolu 5-Mafsal 6-Torna kateri, 7-Cıvata 8- Torna sportu 9-Torna sport tamburu 10-Torna aynası 11-Disk 12-Numune).

### 3. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

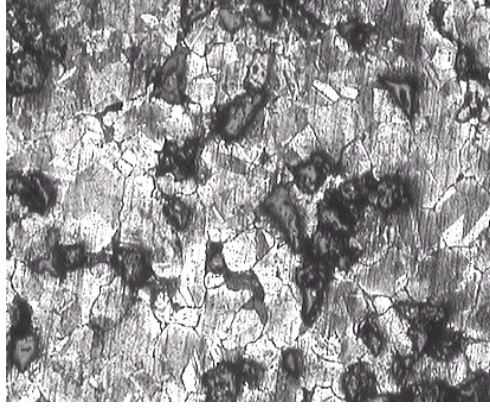
Numunelerin mikroyapılarını temsilen 1,2 ve 3 nolu numunelerin mikroyapı resimleri sırasıyla Şekil 2, 3 ve 4 de verilmiştir. Numunenin optik mikroyapı fotoğrafında açık gri bölgeler matrisi, gri renkli bölgeler Al<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> ve siyah renkli bölgeler ise C partiküllerini göstermektedir. EDS analizlerine göre iki nolu numunenin SEM mikroyapı fotoğrafında, koyu gri renkli bölge (a noktası) bakır matrisi, siyah renkli bölgeler (b noktası) C partiküllerini, beyaz renkli bölgeler (c noktası) Al<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> ve d noktası da tanelerin ara yüzeyini göstermektedir. Resimlerde, yeterli homojenliğin sağlandığı ve takviye elemanlarının artmasıyla daha sık aralıklı bir yapının elde edildiği görülmektedir.



Şekil 2. 1 Nolu Numunenin Optik Mikroyapı Fotoğrafi.

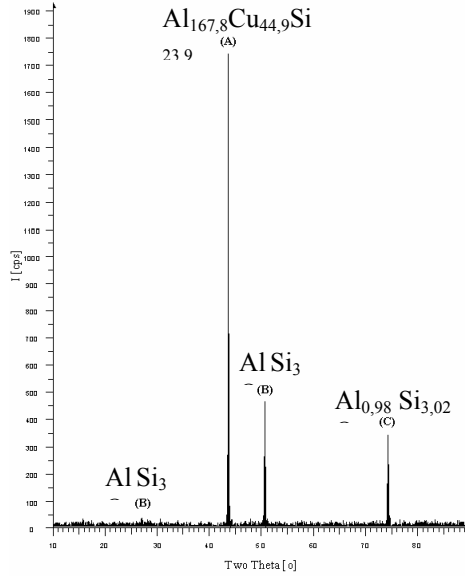


Şekil 3. 2 Nolu Numunenin SEM Mikroyapı Fotoğrafi.



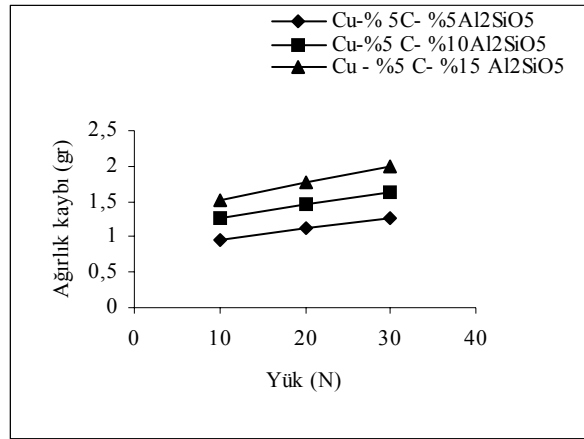
Şekil 4. 3 Nolu Numunenin Mikroyapı SEM Fotoğrafı

Şekil 5 de numunelerden alınan X-Ray analizinin sonuçları verilmiştir. Diyagramda belirtilen bileşiklerin oluştuğu ancak, karbonun bakır matris içerisinde çözünmediği görülmektedir. Dolayısıyla, tozlar arasındaki bağlantı yapışma veya mekanik kilitleme olup metalurjik bağlanma gerçekleşmemektedir. Buna bağlı olarak Cu ve C ara yüzey mukavemetinin yeterli sağlanamadığı söylenebilir. Literatürde de benzer sonuçlar ifade edilmiştir [11].



Şekil 5. 3 Nolu Numunenin X-Ray Analiz Grafiği

Şekil 6 da 1,2 ve 3 nolu numunelerin yük-ağırlık kaybı ilişkisi verilmiştir. Grafikte görüldüğü gibi, Al<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> hacim oranının ve yükün artması ile ağırlık kaybının arttığı görülmektedir. Al<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> sertliğinin (6-7 Mohs) SiC partiküllerinin sertliğinden (9 Mohs) daha düşük olmasından dolayı, aşınma esnasında SiC partikülleri Al<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> partiküllerini kırmaktadır. Dolayısıyla, Al<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> partikülleri ara elemanı görevi yapmakta ve üç elemanlı tribolojik sistemi oluşturmaktadır. Ara bölgedeki Al<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> partikülleri aşınmayı hızlandırarak ağırlık kaybını artırmaktadır [2]. Ayrıca, x-Ray analiz sonuçlarında görüldüğü gibi, karbon ile bakır arasında metalurjik bağlanmanın olmaması ve yeterli düzeyde ara yüzey mukavemeti sağlanamamasından dolayı, aşındırıcı taneler yumuşak matrise batmakta ve hem karbon partiküllerini, hem de alüminyum silikat partiküllerini matristen sökerek aşınma oranını artırmaktadır. Aşındırıcı tane boyutu ve uygulanan yükün artmasıyla aşınma oranının arttığı başka bir çalışmada da belirtilmiştir [12].

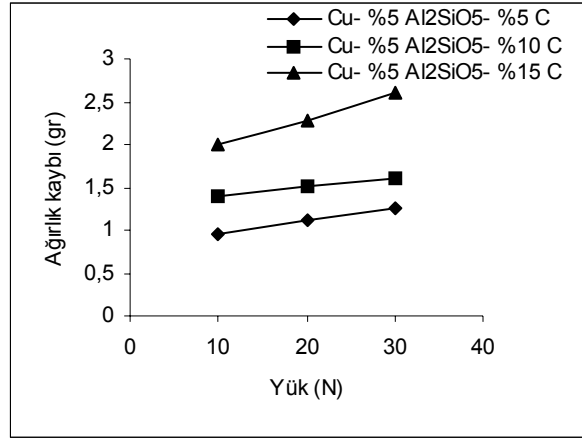


Şekil 6. 1,2,3 Nolu Numunelerin Yük-Ağırlık kaybı İlişkisi

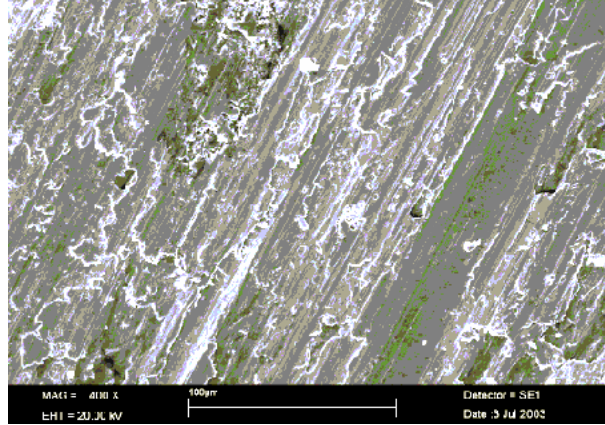
Şekil 7 de 4,5 ve 6 nolu numunelerin yük-ağırlık kaybı ilişkisi verilmiştir. Sabit alüminyum silikat oranlarında, karbon hacim oranının artması ile ağırlık kaybının arttığı görülmektedir. Şekil 6 ve Şekil 7 karşılaştırıldığında karbon artışına bağlı olarak aşınma oranının daha fazla arttığı görülmektedir. Dolayısıyla numunelerin aşınma mekanizmasında öncelikle karbon matris ara yüzey mukavemetinin etkili olduğu söylenebilir. Farklı yükler altında aşındırılan numunelerin aşınma yüzey fotoğrafları da bu sonuçları desteklemektedir.

Şekil 8 ve 9 da 1 ve 6 nolu numunelerin 10N ve 30N yüklerinde elde edilen aşınma yüzey fotoğrafları verilmiştir. Al<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> ve C hacim oranının %5 olduğu durumda (Şekil 8), takviye partiküllerinin matrisin mukavemetini nispeten artırdıkları ve oluşan aşınma yüzeyinin daha sık ve geniş aşınma izlerinden meydana geldiği görülmektedir. Ancak karbon oranının artmasıyla (Şekil 9),

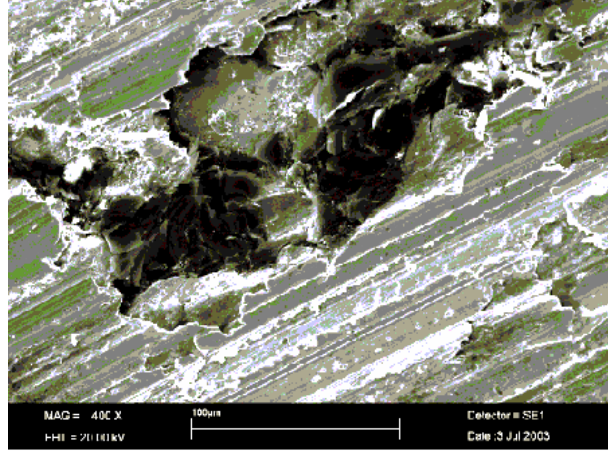
matris/takviye partikülü ara yüzeyinin yetersiz mukavemetinden dolayı takviye elemanları matristen sökülümekte aşınma izleri daha derin ve sık aralıklı gerçekleşmektedir. Böylece ağırlık kaybı da artmaktadır. Benzer sonuçlar, Singh tarafından da elde edilmiştir [2]. Ayrıca, uygulanan yük arttıkça, matris ile takviye partikülü arasında yoğunlaşan gerilmelere bağlı olarak, aşınma yüzeylerinde oluşan çatlakların boyutu ve yoğunluğu da artmaktadır. Bu çatlaklar aşınma sırasında birleşerek yüzeyden parçacıkların kopmasına neden olmaktadır. Dolayısıyla, aşınma mekanizmasında yetersiz ara yüzey mukavemetine bağlı olarak, mikro çatlaklarla gelişen parçacık ayrılmasının etkili olduğu söylenebilir.



Şekil 7. 4,5,6 Nolu Numunelerin Yük-Ağırlık Kaybı İlişkisi



Şekil 8. 1 Nolu Numunenin 10N Yük Altındaki Aşınma Yüzeyi



Şekil 9. 6 Nolu Numunenin 30N Yük Altındaki Aşınma Yüzeyi

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada bakır tozuna, hacim olarak % 5, % 10, % 15 oranlarında C ve Al<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> katılarak toz metalurjisi yöntemiyle üretilen Cu-C-Al<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> kompozitinin farklı yüklerde abrasiv aşınma davranışında alüminyum silikat ve karbonun etkisi araştırılmıştır. Yapılan incelemeler sonucunda, aşağıda belirtilen sonuçlar elde edilmiştir.

1. Bakır matris içerisindeki alüminyum silikat ve karbon takviye partiküllerinin hacim oranının artmasıyla malzemedeki aşınma oranı artmaktadır. Aşınma mekanizmasında matris-takviye partikülü arasındaki yetersiz ara yüzey mukavemetine bağlı olarak, mikro çatlaklarla gelişen parçacık ayrılması etkili olmaktadır.
2. Uygulanan yük miktarı arttıkça bütün numunelerde aşınma oranı da artmaktadır. Takviye partikülü-matris ara yüzeylerindeki gerilme konsantrasyonlarının artması takviye partiküllerinin matristen sökülmesini hızlandırarak aşınma oranını artırmaktadır.

**Teşekkür:** Bu çalışma Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Birimi (FÜBAP-Proje No:804) tarafından desteklenmiştir.



### KAYNAKÇA

- [1] S.C. Tjong and K.C.Lau, *Tribological behaviour of SiC particle-reinforced copper matrix composites*, Materials Letters 43, (1999), 274-280.
- [2] M. Singh, M. Mondal, D.P. Modi, O.P. Jha, *Two-body Abrasive Wear Behaviour of Aluminium Alloy-sillimanite Particle Reinforced Composite*, Wear 253 (2002), 357-368.
- [3] Metals Handbook, Ninth Edition, American Society for Metals, 1984, p. 7
- [4] J. Kazior, C. Janczur, T.Pieczonka, J. Ploszczak, *Thermochemical treatment of Fe-C-Mo alloys*, Surface and Coatings Technology, 151-152(2002)333-337
- [5] S.F. Moustafa, Z. Abdel- Hamid, A.M. Abd-elhay, *Copper matrix SiC and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Particulate composites by powder metallurgy technique*, Materials Letters 53, (2002) 244-249.
- [6] S.R. Dong, J.P. Tu, X.B. Zhang, *An investigation of the sliding wear behavior of Cu-matrix composite reinforced by carbon nanotubes*. Materials Science and Engineering A313 (2001) 83-87
- [7] M. İzciler, M. Muratoglu, *Wear behavior SiC reinforced 2124 Al alloy composite in RWAT system*, Journal of Materials Processing Technology 132 (2002) 67-72.
- [8] S.C. Tjong and K.C. Lau, *Abrasive wear behavior of TBi<sub>2</sub> particle –reinforced copper matrix composite* Materials Science and Engineering A282 (2000)183-186.
- [9] J.P. Tu, L. Meng, M.S. Liu, *Friction and behavior of Cu-Fe<sub>3</sub>Al powder metallurgical composites in dry sliding*, Wear 220(1998) 72-79

- [10] S.F. Moustafa, Z. Abdel-Hamid, A.M. Abd-Elhay, *Friction and wear of copper-graphite composites made with Cu-coated and uncoated graphite powders*, Wear 253(2001) 699-710
- [11] A. Berner, K.C. Mundim, D.E. Ellis, *Microstructure of Cu-C interface in Cu based metal matrix composite*, Sensors and Actuators A: Physical, Volume 74, Issues 1-3 1999, 86-90.
- [12] M.A. More, *A review of two-body abrasive wear*, Wear 27 (1974) 1-17.

## THE INVESTIGATION OF ABRASIVE WEAR OF Cu -C -Al<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> COMPOSITE PRODUCED BY P/M PROCESS

Ç. ÖZAY & A. HASÇALIK

*Abstract.* In this study, the effect of C and aluminium silicate (Al<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>) on abrasive wear of Cu-C -Al<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> composite produced by powder metallurgy route, containing 5, 10, 15 vol. % C and Al<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> in Cu matrix was investigated. In the experiments, wear resistance of samples were determined using different loads by pin on disc wear apparatus. Microstructures of samples were examined by optical and scanning electron microscopies, EDS and x-Ray diffraction methods. Finally, it has been found that with the increasing C ve Al<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> reinforcing particles and loads, wear rate increased.

**Keywords :** Abrasive Wear, Copper Based Composite

Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü 23119 ELAZIĞ