

% 60 SiC-Al kompozitlerin aşınma davranışına SiC partikül boyutunun etkisi

Hayrettin AHLATÇI*, **Ercan CANDAN** ve **Hüseyin ÇİMENOĞLU**

İTÜ Kimya-Metalurji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 34469, Ayazağa, İstanbul

Özet

Bu çalışmada, basınçlı infiltrasyon yöntemi ile üretilmiş olan alüminyum matrisli kompozitlerin eğme mukavemeti ile darbe ve aşınma direncine takviye SiC partikül boyutunun etkisi incelenmiştir. Kompozitlerin oda sıcaklığı mekanik özellikleri eğme ve darbe deneyleri ile belirlenmiştir. % 60 SiC içeren alüminyum matrisli kompozitlerin eğme mukavemeti ve darbe direnci SiC boyutu arttıkça azalmıştır. Kompozitlerin aşınma davranışları metal-metal aşınma deneyleri ile incelenmiştir. Metal-metal aşınma deneyleri kuru kayma koşullarında M2 kalite takım çeliği üzerinde yapılmıştır. Deneyler, numunelere 28 N yük uygulatarak gerçekleştirilmiştir. Aşınma deney sonuçları, iri SiC (37 µm) ile takviye edilmiş kompozitlerin, ince SiC (13 µm) partikülleri ile takviye edilen kompozitlere nazaran daha yüksek aşınma direnci gösterdiğini ortaya çıkarmıştır.

Anahtar Kelimeler: Alüminyum, kompozit, SiC ve mekanik özellikler.

The effect of SiC size on the wear behaviour of 60 vol % SiC-Al composites

Abstract

In this study, the effect of the reinforcing particle size on bending strength, impact and wear resistance of SiC reinforced aluminum matrix composites produced by the pressure infiltration technique has been investigated. Room temperature mechanical properties of the composites were determined by three point bending and impact tests. Bending strength and impact resistance of Al-60 vol.% SiC composites decreased with increasing reinforcing SiC particle size. The wear behaviour of the composites were examined by metal-metal wear tests. Results of the wear tests were evaluated according to the weight loss of the composites. The metal-metal wear tests were performed on an unlubricated M2 quality tool steel disc. The tests were carried out by applying a normal load of 28 N to the composites. Wear tests conducted on M2 quality tool steel disc under dry sliding conditions revealed that composites reinforced with coarse SiC particles exhibit higher wear resistance than those with fine SiC particle. After the wear tests, worn surfaces of the composites were examined by a scanning electron microscope. Wear surfaces of the composites worn on M2 quality tool steel have a characteristic view of typical mild wear. Energy dispersive spectroscopy analysis revealed material transfer from M2 tool steel to the composite during testing.

Keywords: Aluminum, composite, SiC and mechanical properties.

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Hayrettin AHLATÇI. hahlatci@hotmail.com; Tel: (212) 285 33 71.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Kimya-Metalurji Fakültesi'nde tamamlanmış olan "Elektriksel boşalmaların yük benzetim yöntemiyle sayısal analizi" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 03.06.2003 tarihinde dergiye ulaşmış, 23.06.2003 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 30.09.2003 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Giriş

Metal matrisli kompozitlerin üretim ve kullanımları son 20 yılda teknolojik gelişmelerle birlikte, özellikle otomotiv endüstrisi ile uzay ve havacılık sektöründe artış göstermiştir. Metal matrisli kompozitler, tek bileşenli malzemelerle ulaşılamayan yüksek elastisite modülü, yüksek mukavemet ve yüksek aşınma direnci gibi özellikleri sağlamak üzere en az biri metal ve metal alaşımı, diğeri sürekli fiber, kılcal kristal veya partikül şeklinde SiC, TiC, B₄C ve Al₂O₃ gibi seramik takviye olmak üzere iki farklı sistemin birleşimi ile elde edilmektedir.

Genel olarak hızlı ve yüksek üretim kapasitesine sahip olması ve son ürün şekline yakın üretim imkanı sağlaması gibi avantajları nedeniyle basınçlı infiltrasyon prosesi metal matrisli kompozit üretiminde önemli bir üretim tekniği olmuştur. Basınçlı infiltrasyon prosesi ile metal matrisli kompozit üretiminde matris malzemesi olarak Al, Mg ve alaşımları daha geniş kullanım alanı bulmuştur.

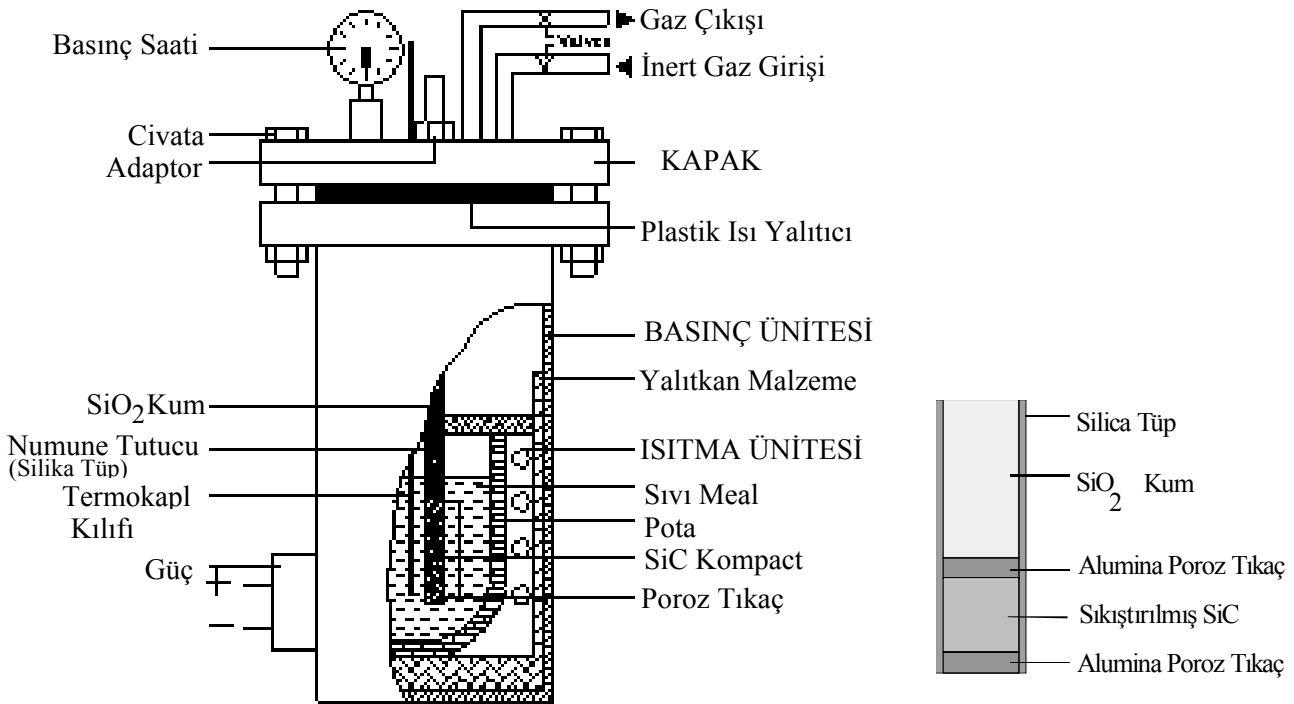
Şimdiye kadar üretilen Al matrisli kompozit malzemelerde takviye hacim oranı % 20-30

düzeyinde kalmıştır. Literatürde yüksek takviye hacim oranına sahip (>%50) Al matrisli kompozit malzeme üzerine çalışma yok denecek kadar azdır (Candan vd., 2001).

Bu çalışmada, %50'den daha yüksek hacim oranında SiC partikül ile takviye edilmiş Al matrisli kompozitlerin mekanik davranışına takviye partikül boyutunun etkisi incelenmiştir.

Deneysel çalışmalar

Bu çalışmada incelenen kompozitlerin üretildiği basınçlı infiltrasyon ünitesi Şekil 1'de şematik olarak verilmiştir. Basınç ünitesinin uzunluğu ve çapı sırasıyla 320 mm ve 225 mm'dir. 9 mm dış, 7 mm iç çaplarında 250 mm uzunluğunda silika tüpler numune tutucu olarak kullanılmıştır. Silika tüpün bir ucu % 85 poroziteye sahip alümina fiber (kılcal kristal) ile kapatılmıştır. Filtre görevini gören poroz alümina, SiC preform içine sıvı Al'nun infiltre olmasına hiçbir direnç göstermemektedir. 13 µm, 23 µm ve 37 µm boyutlarındaki α-SiC partikülleri silika tüp içine yerleştirildikten sonra preform içinde % 50 SiC-% 50 hava kalacak şekilde silika tüp, 15 saniye vibrasyona tabi



Şekil 1. Bu çalışmada kullanılan (a) infiltrasyon ünitesi ve (b) numune tutucu kuartz cam borunun şematik görünümü

tutulmuştur. İnfiltrasyon sırasında sıvının aşırı akışını ve preformun dağılmasını önlemek için silika tütün arka kısmı kalın kuru silika kumla (yaklaşık 500 µm ortalama çapta) doldurulmuştur. Elektrik rezistanslı fırın yardımıyla ısıtılan pota içine 400 g % 99.8 saflıkta Al beslenmiştir. Al eridikten sonra ünitenin kapağı ile ünitenin gövdesi arasına, o-ring ısı yalıtıcı yerleştirilmiş ve 8 adet civata ile kapak üniteye monte edilmiştir. İnfiltrasyon sıcaklığı 750 °C'dir. Bu sıcaklıkta sıvı Al içine daldırılan preform, sıvı ile arasındaki sıcaklık farkı ortadan kalkması için 3 dakika tutulmuştur.

Önceden belirlenmiş bir değere kadar 170 kPa/s hızda üniteye basınç uygulanmıştır. Preformların infiltrasyonu için uygulanan basınç, infiltrasyonun başlaması için gerekli minimum eşik basıncının 200 kPa üzerindedir (Candan vd., 2001; Candan, 1988) ve 13 µm, 23 µm ve 37 µm SiC partiküllerinden oluşan preformlar sırasıyla 1050, 750 ve 550 kPa'da infiltre edilmiştir. 2 dakika sonra yaklaşık 210 kPa/s hızla üniteden basınç serbest bırakılmıştır. Son olarak numuneler fırından çıkartılarak havada soğutulmuştur.

7 mm çapında üretilen kompozitlerin mikroyapısal karakterizasyonu metalografik olarak hazırlanmış numuneler üzerinden optik ışık mikroskobu ile yapılmıştır. Farklı boyutlarda SiC ile takviye edilmiş olan kompozitlerin mikroyapı bileşenlerinin oranı KS 400 image analiz software programına sahip bir bilgisayar ile bağlantılı Zeiss Apiotech Vanio optik mikroskop kullanan image analiz cihazı ile ölçülmüştür.

Kompozitlerin oda sıcaklığı mekanik özellikleri, eğme ve darbe deneyleri ile belirlenmiştir. Eğme ve darbe deneylerinde mesnetler arası açıklık sırasıyla 30 ve 25 mm'dir. Eğme deneyleri, 0.5 mm/dk yükleme hızında Instron 1185 Universal test cihazında gerçekleştirilmiştir. Kompozitlerin darbe direnci, charpy tipi Zwick darbe deney cihazı ile numunelere çentik açılmaksızın belirlenmiştir.

Kompozitlerin aşınma davranışı, pin on disk tipi aşınma deney cihazında belirlenmiştir. Aşınma deneyleri, 28 N normal yük altında M2 kalite takım çeliği (65 HRC) disk üzerinde toplam 12 km kayma mesafesi için yapılmıştır.

Numunelerin kayma hızı 0.45 m/s ve deney süresince ortamın nemi % 45-50 arasındadır. Kompozitlerin aşınma yüzeyleri EDS donanımlı Jeol JSM 840 tipi taramalı elektron mikroskobunda incelenmiştir.

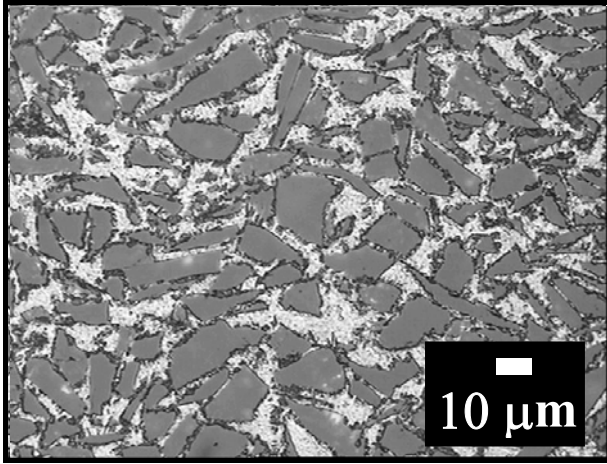
Sonuçlar ve tartışma

Şekil 2'de farklı boyutlarda SiC partikül takviyeli kompozitlerin mikroyapıları gösterilmiştir. Mikroskobik incelemeler sonucunda, Al matriste SiC partiküllerin dağılımının uniform olduğu ve bir miktar porozitenin SiC partiküllerin uçlarına yakın konumda bulunduğu gözlenmiştir. Kompozitlerin takviye SiC hacim oranları % 60 düzeyinde olup, porozite içerikleri takviye boyutuna bağlı olarak değişmiştir (Tablo 1). Takviye SiC partikül boyutunun azalması ile porozitenin artışı, infiltrasyon prosesi süresince sıvı Al ile doldurulan partiküller arası kılcal boyutundaki boşlukların azalmasına (Candan, 1988) ve aynı zamanda sıvı Al'un, takviye SiC partikülünü ıslatmamasına (Candan vd., 1997) dayandırılabilir.

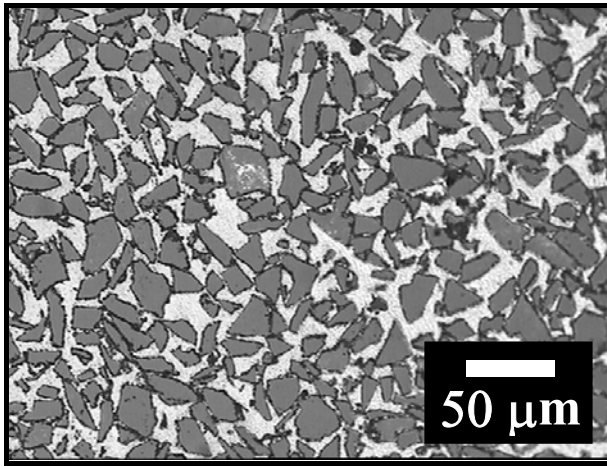
Tablo 1. İncelenen kompozit numunelerin görüntü analiz sonuçları

Takviye boyutu (µm)	Hacim oranı (%)		
	SiC	Matris	Porozite
13	61.0	33.0	6.2
23	60.2	33.7	6.1
37	60.0	36.6	3.1

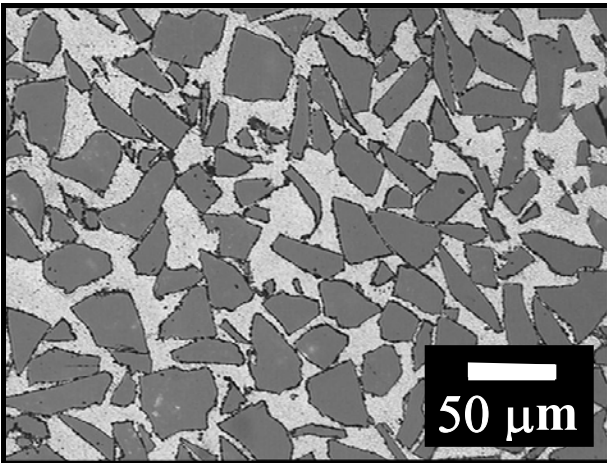
İncelenen kompozitlerin eğme ve darbe deneyi sonuçları Şekil 3'te verilmiştir. İri SiC partikül (37 µm) takviyeli Al matrisli kompozit malzemeler, en düşük eğme mukavemeti ve tokluk sergilemiştir. SiC partikül boyutunun azalması ile kompozitin yapısında bulunan porozite miktarındaki artışa rağmen, mukavemet ve tokluk değeri yüksek çıkmıştır. Şimdiye kadar yapılan çalışmalarda (Arsenault ve Fisher, 1983; Yang vd., 1990; Arsenault vd., 1991; Hu, 1991; Brechet vd., 1991; Weng vd., 1992; Hunt vd., 1993; Jiang ve Dodd, 1995) azalan takviye partikül boyutu ile mukavemet ve darbe direncinde iyileşme, Şekil 3'te verilen sonuçlara uygun olarak rapor edilmiştir. Bu araştırmalarda, ince partiküllerle takviye edilmiş kompozitin yüksek



(a)



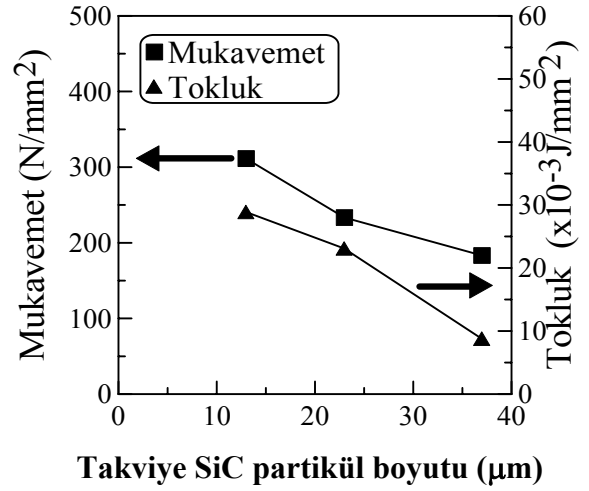
(b)



(c)

Şekil 2. Basınçlı infiltrasyon tekniği ile üretilmiş saf Al matriksli (a) 13 µm (b) 23 µm ve (c) 37 µm boyutlarında SiC takviyeli kompozitlerin mikroyapıları

mukavemet göstermesi matrisin yüksek dislokasyon yoğunluğuna ve/veya deformasyon sırasında takviye partikülünün çatlama ve kırılma riskinin azalmasına dayandırılmıştır.



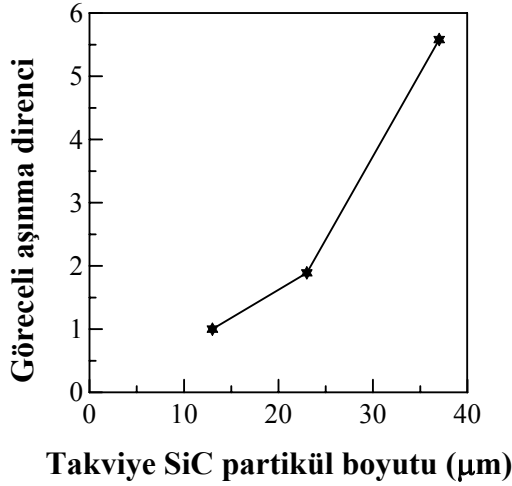
Şekil 3. Takviye SiC partikül boyutunun fonksiyonu olarak mukavemet ve tokluğun değişimi

İncelenen kompozitlerin aşınma dirençlerini birbirleri ile kıyaslamak amacıyla 13 µm SiC takviyeli Al matriksli kompozitin ağırlık kaybı referans alınıp, her bir kompozitin ağırlık kaybı referansın ağırlık kaybına oranlanarak;

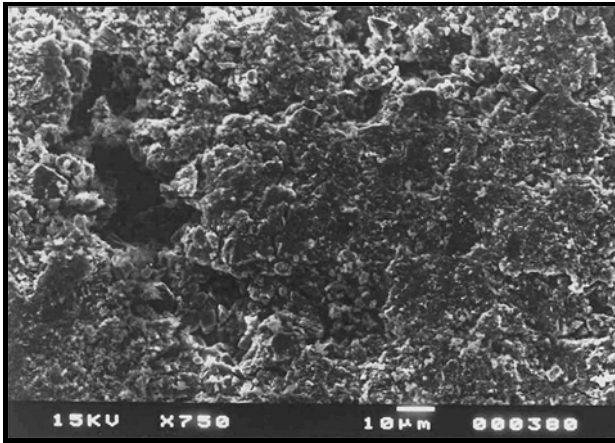
$$GAD = \frac{\Delta W_R}{\Delta W_I} \quad (1)$$

göreceli aşınma direnci (GAD) belirlenmiştir. Burada ΔW_R ve ΔW_I sırasıyla Al-13 µm SiC kompozitin ve diğer kompozitlerin 12 km kayma mesafesindeki ağırlık kaybı değerleridir. Şekil 4'te matriste bulunan SiC partikül takviye boyutuna bağlı olarak göreceli aşınma dirençleri verilmiştir.

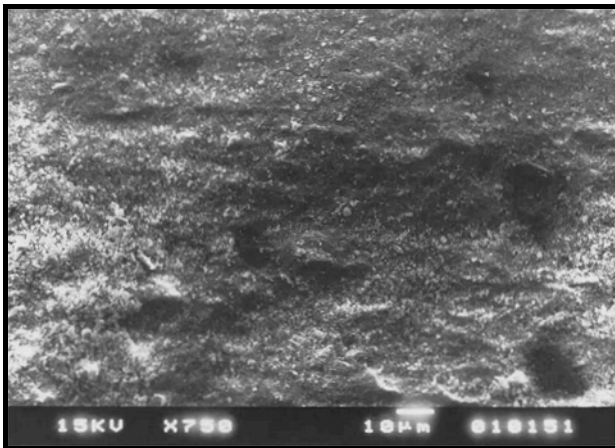
Takviye boyutunun artması ile mukavemet ve tokluğun düşmesine rağmen GAD artmaktadır. Bu çalışma ile uyumlu sonuçlar, Hosking vd., (1982), Chung ve Hwang (1994), Alpas ve Zhang (1994) ve Ma vd., (1996) tarafından da bulunmuştur. Takviye boyutunun artması ile aşınma direncinin artması, aşınma deneyi sırasında iri takviye partikülün AISI M2 kalite takım çeliğine karşı daha fazla koruma sağlamasını göstermektedir.



Şekil 4. Takviye SiC takviye boyutunun fonksiyonu olarak göreceli aşınma direncinin değişimi



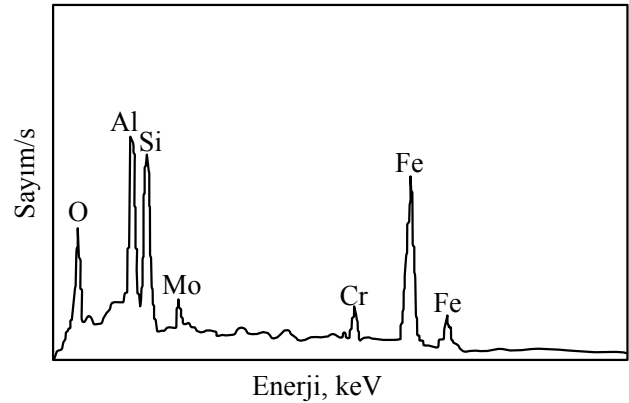
(a)



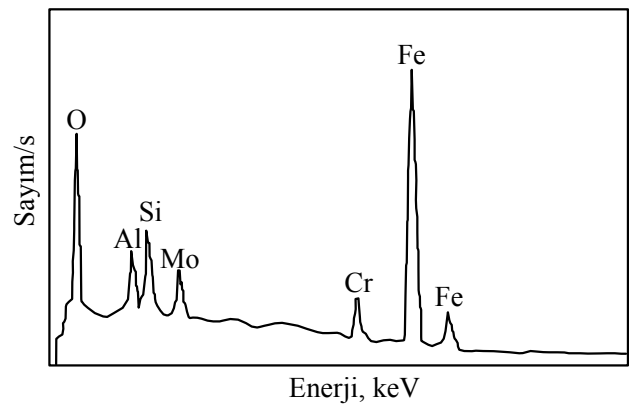
(b)

Şekil 5. AISI M2 kalite takım çeliği üzerinde aşındırılan (a) 13 µm ve (b) 37 µm SiC partikül takviyeli saf Al matrisli kompozitlerin aşınmış yüzey SEM görüntüleri

Şekil 5, metal-metal aşınma deneyi sonrası aşınma yüzey SEM görünümünü vermektedir. Aşınma yüzeyi karakteristik hafif aşınma görünümüne sahip olup iri SiC ile takviye edilen kompozitlerin aşınma yüzeyleri daha düzgündür. Aşınma yüzeylerinde yapılan EDS analizleri (Şekil 6), temas yüzeylerinin Al ve Si haricinde Mo, Cr, Fe ve O içerdiğini ve demirce zengin tabaka kalınlığının takviye boyutunun artması ile arttığını göstermiştir. Aşınma yüzeylerinde yüksek miktarda Fe ve O içeren tabakanın oluşumu ve bu tabakanın yağlayıcı olarak davranmasından dolayı, metal-metal aşınma direnci iyileşmektedir (Antoniu ve Nborland, 1987; Alpas ve Zhang, 1992a; Alpas ve Zhang, 1992b; Pramila Bai vd., 1992; Bai vd., 1996; Li vd., 2000).



(a)



(b)

Şekil 6. AISI M2 kalite takım çeliği üzerinde aşındırılan (a) 13 µm ve (b) 37 µm SiC partikül takviyeli saf Al matrisli kompozit malzemelerin EDS analiz sonuçları

Sonuçlar

% 60 hacim oranında SiC partikülleri ile takviye edilmiş Alüminyum matrisli kompozitlerin mukavemeti ve tokluğu artan SiC partikül boyutu ile azalmaktadır. AISI M2 kalite takım çeliği üzerinde yapılan metal-metal aşınma deneylerinde iri SiC partikül takviyeli kompozit daha yüksek aşınma direnci sergilemiştir. Aşınma deneyleri sırasında kompozitin yüzeyinde demirce daha zengin oksit tabakası oluşmuştur.

Kaynaklar

- Alpas, A. T. ve Zhang, J., (1992a). Wear Rate Transition in Cast Aluminum Silicon Alloys Reinforced with SiC Particles, *Scripta Metallurgica et Materialia*, **26**, 505-509
- Alpas, A. T. ve Zhang, J., (1992b). Effect of SiC Particle Reinforcement on the Dry Sliding Wear of Aluminum-Silicon Alloys (A356), *Wear*, **155**, 83-104.
- Alpas, A. T. ve Zhang, J., (1994). Effect of Microstructure (Particulate Size and Volume Fraction) and Counterface Material on the Sliding Wear Resistance of Particulate Reinforced Aluminium Matrix Composites, *Metallurgical Transactions A*, **25**, 969-983.
- Antoniou, R. ve Nborland, D. W., (1987). Mild Wear of Al-Si binary Alloys During Unlubricated Sliding, *Materials Science and Engineering A*, **93**, 57-72.
- Arsenault, R. J. ve Fisher, P. M., (1983). Microstructure of Fiber and Particulate SiC in 6061 Al Composites, *Scripta Metallurgica et Materialia*, **17**, 67-71.
- Arsenault, R. J., Wang, L., Feng, C. R., (1991) Strengthening of Composites due to Microstructural Changes in The Matrix, *Acta Metallurgica et Materialia*, **39**, 47-57.
- Bai, M., Xue, Q. ve Guo, H., (1996). Reciprocal Sliding of SiC Particle-Reinforced Al-Cu Aluminium Matrix Composites Against Stainless Steel, High Speed Tool Steel and Ceramics II Wear Mechanisms, *Wear*, **194**, 126-136.
- Brechet, Y., Embury, J. D., Tao, S., Luo, L., (1991). Damage Initiation in Metal Matrix Composites, *Acta Metallurgica et Materialia*, **39**, 1781-1786.
- Candan, E., Atkinson, H. V. ve Jones, H., (1997). Effect of Magnesium Alloying Additions on Infiltration Treshold Pressure and Structure of SiC Powder Comopacts Infiltrated by Aluminium Based Melts; *Journal of Material Science*, **32**, 289-294.
- Candan, E., (1998). Wettability and Pressurized Infiltration of Ceramic Powder Compacts by Metallic Melts, *PhD Thesis*, Department of Engineering Materials, University of Sheffield UK.
- Candan, E., Ahlatçı H. ve Çimenoğlu, H., (2001). Abrasive Wear Behaviour of Al-SiC Composites Produced By Pressure Infiltration Technique, *Wear*, **247**, 133-138.
- Chung, S. ve Hwang, B. H., (1994). A Microstructural Study of The Wear Behaviour of SiCp/Al Composites, *Tribology International*, **27**, 307-314.
- Hosking, F. M., Folgar Portillo, F., Wunderlin, R., Mehrabian, R., (1982). Composites of Aluminium Alloys: Fabrication and Wear Behaviour, *Journal of Materials Science*, **17**, 477-498.
- Hu, M. S., (1991). Some Effect of Particle Size on The Flow Behaviour of Al-SiCp Composites, *Scripta Metallurgica et Materialia*, **25**, 695-700.
- Hunt Jr., W. H., Osman, T. M., Lewondowski, J. J., (1993). Micro and Macrostructural Factors in DRA Fracture Resistance, *Journal of Metal (JOM)*, **45**, 30-35.
- Jiang, J. ve Dodd, B., (1995). Workability of Aluminium Based Metal Matrix Composites in Compression, *Composites*, **26**, 62-66.
- Li, X. Y. ve Tandom, K. N., (2000). Microstructural Characterization of Mechanically Mixed Layer and Wear Debris In Sliding Wear of An Al Alloy and An Al-Based Composites, *Wear*, **245**, 148-161.
- Ma, Z. Y., Liang, Y. N., Zhang, Y. Z., Lu, Y. X. ve Bi, J., (1996). Sliding Wear Behaviour of SiC Particle Reinforced 2024 Aluminium Alloy Composites, *Materials Science and Technology*, **12**, 751-756
- Pramila Bai, P. N., Ramasesh, B. S. ve Surappa, M. K., (1992). Dry Sliding Wear of A 356-Al-SiCp Composites, *Wear*, **157**, 295-304.
- Weng, B. J., Chang, S. T. ve Shiau, J. S., (1992). Microfracture Mechanisms of SiC 6061 Aluminium Composites After Hipping, *Scripta Metallurgica et Materialia*, **27**, 1127-1132.
- Yang, Y., Cady, C., Hu, M.S., Zok, F., Mehrabian, R. ve Evans, A. G., (1990). Effect of Damage on the Flow Strength and Ductility of A Ductile Al Alloy Reinforced With SiC Particulates, *Acta Metallurgica et Materialia*, **38**, 2613-2619.