

# BASINÇLI İNFİLTASYON YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN Al-SiC<sub>p</sub> KOMPOZİTLERDE PARTİKÜL BOYUTUNUN ABRASİV AŞINMA DAVRANIŞINA ETKİSİ

**Mehmet ACILAR ve Ferhat GÜL**

Metal Eğitimi Bölümü, Teknik Eğitim Fakültesi, Gazi Üniversitesi, 06500, Beşevler, Ankara  
[acilar@gazi.edu.tr](mailto:acilar@gazi.edu.tr), [fgul@gazi.edu.tr](mailto:fgul@gazi.edu.tr)

(Geliş/Received: 10.03.2006; Kabul/Accepted: 03.10.2006)

## ÖZET

Bu çalışmada, basınçlı infiltrasyon yöntemi ile üretilen Al-%55 SiC partikül (SiC<sub>p</sub>) takviyeli kompozitlerin abrasiv aşınma davranışına partikül boyutunun etkisi incelenmiştir. Abrasiv aşınma testleri 100, 280 ve 500 mesh Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> zımparalar üzerinde, 12, 24 ve 36 N yükler altında, disk üzerinde pim aşınma cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Takviyesiz matriks alaşımı ile karşılaştırıldığında kompozitler mükemmel aşınma direnci göstermişlerdir. Kompozitlerin aşınma hızı, artan yük, artan aşındırıcı tane boyutu ve azalan takviye partikül boyutu ile artmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Al kompozit, abrasiv aşınma, basınçlı infiltrasyon, SiC<sub>p</sub>.

## EFFECT OF THE REINFORCEMENT PARTICLE SIZE ON THE ABRASIVE WEAR BEHAVIOUR OF THE Al-SiC<sub>p</sub> COMPOSITES PRODUCED BY PRESSURE INFILTRATION TECHNIQUE

### ABSTRACT

In this study, the effect of the reinforcing particle size on the abrasive wear behaviour of Al-55vol.% SiC particulate (SiC<sub>p</sub>) reinforced composites produced by pressure infiltration technique has been investigated. Abrasive wear tests were carried out under the normal loads of 12, 24 and 36 N, against to 100, 280 and 500 mesh abrasive Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> papers using a pin-on-disc type wear tester. The composites showed excellent wear resistance when compared to the unreinforced alloy. The wear rate of the composites increased with increasing applied load and abrasive grain size. Increase of reinforcement particle size improved the abrasion resistance of the composite.

**Keywords:** Al composite, abrasive wear, pressure infiltration, SiC<sub>p</sub>.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

SiC partiküller, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve AlN gibi diğer seramik takviye elemanlarına göre sıvı alüminyum tarafından daha iyi ıslatılabilme özelliği ve ucuz olması nedeni ile çok sık olarak kullanılmaktadır. SiC<sub>p</sub> takviyeli alüminyum kompozit, yüksek mukavemet, yüksek elastisite modülü, düşük termal genleşme katsayısı ve düşük yoğunluk özelliklerine sahiptir. Bu özellikleri sebebiyle uzay yapı elemanları, elektronik taşıyıcılar ve aşınma dayanımı gerektiren yerlerde tercih edilmektedir [1]. Alüminyum, düşük yoğunluğu, iyi dökülebilirliği ve iyi mekanik ve fiziksel özellikleri dolayısıyla matriks malzemesi olarak tercih

edilmektedir [2]. Metal matriksli kompozit üretim yöntemlerinden biri olan basınçlı infiltrasyon yöntemi, takviyeden üretilen gözenekli preform içerisine sıvı metale basınç uygulanarak infiltre edilmesidir [3, 4]. Basınçlı infiltrasyon yönteminde basınç, sıvı metal yüzeyine uygulanarak sağlandığından kolay bir metottur [5]. İnfiltrasyonun gerçekleşmesi için gerekli minimum basınç olan eşik basıncı, 2014 alüminyum alaşımının infiltrasyonunda artan SiC partikül boyutu ve sıcaklık ile azalırken [6], ayrıca eşik basıncı da sıvıdaki artan Mg içeriği ile azalmaktadır [6-8]. SiC partiküllerinin 1000 °C'de okside edilmesi de eşik basıncını düşürmektedir [9-12].

Skolianos and Kattamis [13] tarafından yarı-katı karıştırma yöntemi ile üretilen 10.7-29  $\mu\text{m}$  takviye boyutu ve %0-29 takviye hacim oranına sahip kompozitlerin abrasiv aşınma testleri, artan takviye hacim oranı ve azalan takviye partikül boyutunun aşınma hızını azalttığını göstermiştir. Candan ve diğerleri [14] tarafından yapılan çalışmada, basınçlı infiltrasyon yöntemi ile üretilmiş olan 13 ve 37  $\mu\text{m}$  partikül büyüklüğüne sahip kompozitlerin abrasiv aşınma testleri, kompozitlerin aşınma dirençlerinin aşındırıcı tane boyutuna ve kompozitteki takviye partikül boyutuna bağlı olduğunu göstermiştir. Sheu and Lin [15], 82, 59, 37, 16, ve 12  $\mu\text{m}$  SiC partikülleri kullanarak ürettikleri kompozitleri 37-250  $\mu\text{m}$  arasında değişen tane boyutuna sahip aşındırıcılar kullanarak test etmişlerdir. Testler, abrasiv taneler takviye partiküllerden daha büyük olduğu zaman takviye partiküllerin abrasiv aşınmaya karşı direnç gösteremeyeceğini, takviye partiküllerin aşındırıcı tanelerden daha büyük olması durumunda ise, kompozitlerin aşınma dirençlerinin çok yüksek olacağını göstermiştir. Alpas and Zhang [16], 2014Al-SiC ve 6060Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> alüminyum matrisli kompozitlerin kuru kayma aşınma davranışına takviye partikül hacim oranı, partikül büyüklüğünün ve aşındırıcı malzemenin etkisini incelemişler, artan takviye hacim oranı ile takviye boyutunun kompozitlerin aşınma direncini artırdığını tespit etmişlerdir. Roy et al. [17], çalışmalarında SiC, TiC, TiB<sub>2</sub>, ve B<sub>4</sub>C partiküller ile takviyeli alüminyum matrisli kompozitlerin kuru kayma aşınma davranışlarını incelemişler ve kompozitlerin aşınma hızında takviye şekli ve boyutunun önemli bir etkiye sahip olmadığını sonucuna varmışlardır.

Bu çalışmada, basınçlı infiltrasyon yöntemi ile üretilmiş değişik takviye partikül boyutuna sahip yaklaşık %55 SiC<sub>p</sub> takviyeli kompozitlerin abrasiv aşınma davranışları incelenmiştir.

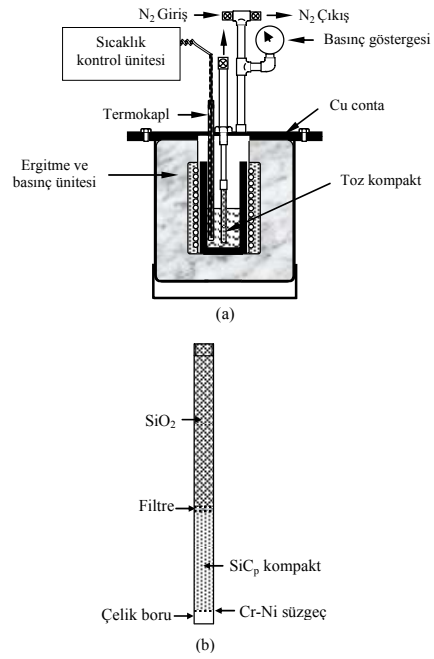
## 2. YÖNTEM (METHOD)

### 2.1. İnfiltrasyon Yöntemi ve Kompaktların

#### Hazırlanması (Infiltration Method and Preparation of Compact)

Bu çalışmada kullanılan matris malzemesi, Tablo 1'de bileşimi verilen Al-10Si (Etial 171) alaşımına %10 Mg ilave edilerek hazırlanmıştır. Takviye elemanı olarak 16, 23, 32, 80 ve 149  $\mu\text{m}$  boyutlarına sahip SiCp kullanılmıştır.

İncelenen kompozit numuneler, bu çalışmada kullanılmak üzere tasarlanmış ve imal edilmiş olan basınçlı infiltrasyon cihazında (Şekil 1.a) üretilmiştir [9]. İçerisine sıvı matris alaşımının infiltre edildiği kompaktlar, 10 mm dış çapında, 8 mm iç çapında ve



**Şekil 1.** Bu çalışmada kullanılan a) infiltrasyon ünitesi ve b) içerisinde SiC<sub>p</sub> kompakt bulunan çelik borunun şematik görünümü (Schematic views of a) infiltration unite and b) steel tube containing SiC compact used in this study)

150 mm uzunluğunda çelik borular kullanılarak hazırlanmıştır. Çelik borunun bir ucu partiküllerin dökülmesini önlemek amacıyla gözenekli Cr-Ni süzgeç ile kapatılmış ve içine 4.75 g SiC<sub>p</sub> yerleştirilmiştir. SiC partiküllerin üzerine 35 g ağırlığında çelik çubuklar yerleştirildikten sonra çelik boru, vibrasyon cihazında 3 dakika vibrasyona uğratılmıştır.

Böylece, boru içinde %55 SiC, %45 boşluk kalacak şekilde 50 mm uzunluğunda kompaktlar elde edilmiştir. İnfiltrasyon sırasında, uygulanan basınç etkisi ile kompaktın dağılmasını ve sıvı metalin kompaktı geçerek dışarıya taşmasını önlemek için partiküllerin üzerine bir filtre yerleştirilmiş ve çelik borunun kalan boşluğuna da SiO<sub>2</sub> kumu doldurulmuştur (Şekil 1.b).

Elektrik rezistans fırını yardımıyla ısıtılan pota içindeki Al alaşımı ergidikten sonra ünitenin kapağı kapatılmış ve sıcaklık 800 °C'ye ulaştığında kompakt sıvı metalin içerisine daldırılmıştır. Daldırma işlemi takiben infiltrasyon ünitesinin içerisine önceden belirlenmiş bir değere kadar N<sub>2</sub> gazı yardımıyla basınç uygulanmıştır. Bu çalışmada kompaktlar, 1-4 At. arasında değişen basınçlarda infiltre edilmişlerdir (Tablo 2).

2 dakika sonra üniteye bulunan gaz tahliye edilerek

**Tablo 1.** İnfiltrasyon işleminde kullanılan alaşımın bileşimi (Composition of alloy used in infiltration procedure)

% Si	% Fe	% Cu	% Mn	% Mg	% Cr	% Ni	% Zn	% Ti	% Pb	% Al
9.42	0.38	0.05	0.431	0.36	0.015	0.04	0.06	0.10	0.011	Kalan

**Tablo 2.** Takviye boyutuna bağlı olarak kompaktlara uygulanan basınç değerleri (Pressure level applied to compact depending on reinforcement particle size)

Takviye partikül boyutu (µm)	16	23	32	80	149
Uygulanan basınç (At.)	4	3.5	3	2	1

üretilen kompozit dışarı alınmış ve havada soğutulmuştur. Ergitme ve infiltrasyon işlemi sırasında sıcaklık, sıvı metalin içerisine yerleştirilen K-tipi bir termokapl ile  $\pm 2$  °C hassasiyetle kontrol edilmiştir. Basınçlı infiltrasyon işlemindeki basınç-zaman değişimi Şekil 2’de gösterilmiştir.

8 mm çapında üretilen kompozitlerin mikroyapısal karakterizasyonu, metalografik olarak hazırlanmış numuneler üzerinden optik ışık mikroskobu ile yapılmıştır.

## 2.2. Aşınma Testleri (Wear Tests)

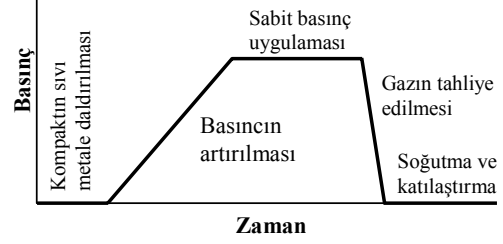
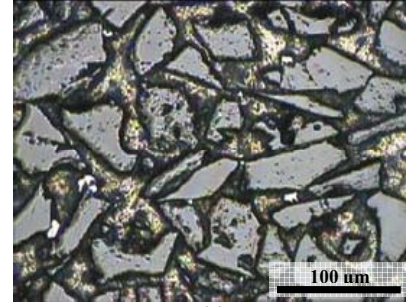
Abrasiv aşınma testleri, disk üzeri pim prensibine göre çalışan cihazda, 100 (149 µm), 280 (44 µm) ve 500 (16 µm) mesh Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> zımpara kağıtları üzerinde gerçekleştirilmiştir. Deney sırasında uygulanan yük, 12, 24 ve 36 N ve diskin kayma hızı 0,4 m/s’dir. Numunelerin aşınma miktarı, 0,1 mg hassasiyetine sahip bir terazide tartılarak belirlenmiştir. Toplam kayma mesafesi 48 m olup, 12 m aralıklarla numunelerin ağırlığı ölçülmüştür. Deneylerde, numunelerin taze zımpara yüzeylerinden geçmesi için, numuneler, kayma yönüne dik doğrultuda hareket ettirilmiştir. Aşınma deneylerinde kullanılan numunelerin çapları 6,4 mm olup, deneye başlamadan önce aşınacak yüzey 800 mesh zımparada parlatılmıştır. Test edilen en az üç numunenin ağırlık kayıplarının ortalaması deney sonucu olarak alınmıştır. Numunenin ölçülen deneysel yoğunluğundan faydalanılarak hacim kaybı değerleri bulunmuş olup, hacim kaybını kayma mesafesine oranlayarak hacimsel aşınma hızı hesaplanmıştır.

## 3. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

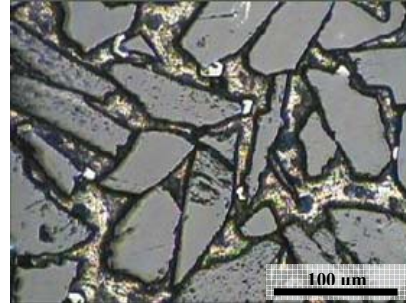
Deneysel çalışmada, basınçlı infiltrasyon yöntemiyle üretilen farklı takviye boyutuna sahip Al-SiC<sub>p</sub> kompozitlerin optik mikroyapıları Şekil 3’de verilmiştir. Mikroyapı incelemeleri, SiC partiküllerinin matris içerisinde homojen olarak dağıldığını göstermiştir.

Şekil 4 ve 5, aşındırıcı Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> zımpara üzerinde aşındırılan numunelerin aşınma hızlarının uygulanan yük ve aşındırıcı tane boyutu ile değişimini göstermektedir.

Aşınma testlerinde yükün (Şekil 4) ve aşındırıcı tane boyutunun (Şekil 5) artması ile numunelerin aşınma hızları artmıştır. Bu çalışmada, belirli yük altında veya belirli boyutta aşındırıcı taneler üzerinde matris

**Şekil 2.** Basınçlı infiltrasyon testinde basınç-zaman değişimi (Variation of pressure-time in the pressure infiltration tests)

(a)



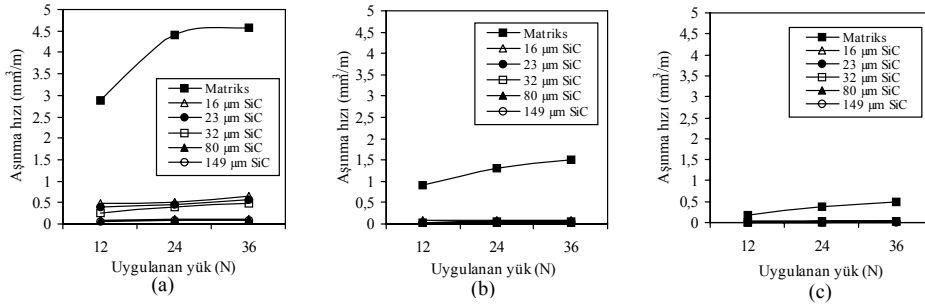
(b)

**Şekil 3.** Basınçlı infiltrasyon yöntemi ile üretilen (a) 80 µm ve (b) 149 µm SiC<sub>p</sub> takviyeli kompozit numunelerin mikroyapıları (Microstructures of composite samples reinforced with a) 80 µm and (b) 149 µm SiC<sub>p</sub> produced by pressure infiltration techniques)

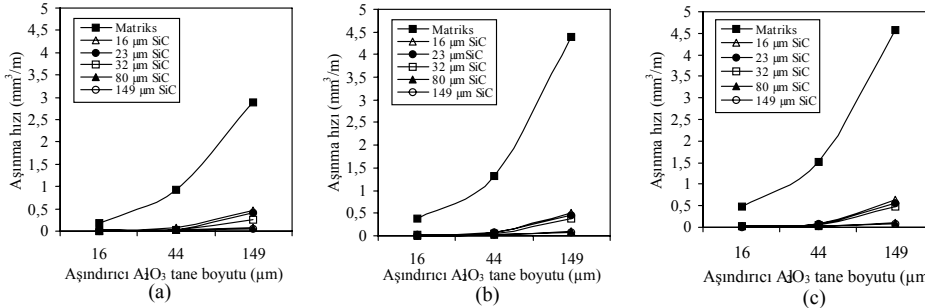
alaşımının aşınma hızının kompozitlerin aşınma hızına kıyasla daha yüksek olduğu ve artan yük ve aşındırıcı tane boyutu ile bu farkın arttığı belirlenmiştir. Matrisi alaşımına SiC<sub>p</sub> takviye ilave edildiğinde aşınma hızının azalması, partiküllerin aşındırıcı tanelerin batmasını engellemesinden kaynaklanmaktadır.

Şekil 6’da 100, 280 ve 500 mesh zımparalar üzerinde 12, 24 ve 36 N yükler altında aşındırılan numunelerin aşınma hızlarının takviye partikül boyutuna göre değişimi çizilmiştir.

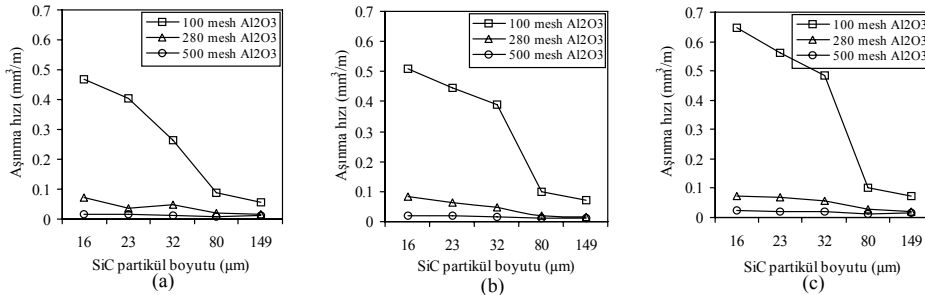
Şekil 6’dan da görüldüğü gibi, 100, 280 ve 500 mesh zımparalar ile yapılan aşınma testlerinde, artan takviye partikül boyutu ile kompozitlerin aşınma hızlarında azalma meydana gelmiştir. Skolianos and Kattamis [13] azalan takviye partikül boyutunun kompozitlerin aşınma hızlarını azalttığını ifade etmişlerdir. Bunun aksine diğer araştırmacılar tarafından yapılan abrasiv aşınma test çalışmalarında



**Şekil 4.** (a) 100, (b) 280, (c) 500 mesh zımparalar üzerinde aşındırılan numunelerin aşınma hızlarının uygulanan yük ile değişimi (Variation of wear rate depending on applied load of samples worn on a) 100, b) 280, c) 500 mesh emery papers)



**Şekil 5.** a) 12 N, b) 24 N, c) 36 N yükler altında aşındırılan numunelerin aşınma hızında aşındırıcı tane boyutunun etkisi (Effect of abrasive grain size on wear rate of samples worn under a) 12 N, b) 24 N, c) 36 N loads)



**Şekil 6.** a) 12 N, b) 24 N, c) 36 N yükler altında aşındırılan numunelerin aşınma hızında takviye partikül boyutunun etkisi (Effect of reinforcement particle size on wear rate of samples worn under a) 12 N, b) 24 N, c) 36 N loads)

da, aşınma hızlarının artan yük uygulaması ve artan aşındırıcı tane boyutu ile arttığı, artan takviye partikül boyutu ile azaldığı ifade edilmiştir [14-16].

Sheu and Lin [15] tarafından da ifade edildiği gibi, kompozitlerdeki takviye partikül boyutunun azalması ile kompozitlerin aşınma hızları artmıştır. Bu artış oranı, aşındırıcı tane boyutunun artması ile daha da yükselmektedir. Elde edilen sonuçlar Skolianos and Kattamis [13]'in sonuçlarına uymamakla birlikte diğer araştırmacılar [14-16] tarafından elde edilen sonuçları doğrulamaktadır.

#### 4. SONUÇLAR (RESULTS)

Deneysel çalışmada, basıncılı infiltasyon yöntemi uygulanarak üretilen, Al-%55SiC partikül takviyeli kompozitlerin aşınma davranışlarının incelenmesinden aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

1. Basıncılı infiltasyon yöntemiyle üretilen kompozitlerin mikroyapı incelemeleri, kompozit

içerisindeki SiC takviye partiküllerinin dağılımının homojen olduğunu göstermiş, takviyesiz bölgelere, takviye topraklanmalarına veya eksik infiltasyon bölgelerine rastlanmamıştır.

2. Matriks alaşımının içerisine ilave edilen SiCp takviye elemanı, matriks alaşımının aşınma hızında oldukça yüksek bir oranda azalma meydana getirmiştir. Kompozitlerdeki artan SiCp takviye boyutuna bağlı olarak kompozitlerin aşınma hızlarının azaldığı, artan yük uygulaması ile de arttığı tespit edilmiştir. Buna ilaveten kompozitlerin aşınma hızları artan aşındırıcı tane boyutu ile artış göstermiştir.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Lai, S-W., Chung, D.D.L., "Phase distribution and associated mechanical property distribution in silicon carbide particle-reinforced aluminium fabricated by liquid metal infiltration" *Journal of Materials Science*, Cilt 29, 2998-3016, 1994.

2. Kurnaz, S.C., Akbulut, H., Durman, M., "Saffil ( $\delta$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) fiber takviyeli çinko-alüminyum alaşımı (ZA.12) metal matriksli kompozitlerin infiltrasyon yöntemi ile üretimi ve özelliklerinin incelenmesi" **7. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi**, Ankara, 1155-1164, 4-8 May 1993.
3. Fletcher, T.R., Cornie, J.A., "A Capacitance technique for studying pressure infiltration" **Materials Science And Engineering**, A144, 159-163, 1991.
4. Cook, A.J., Werner, P.S., "Pressure infiltration casting of metal matrix composites" **Materials Science And Engineering**, A144, 189-206, 1991.
5. Assar, E. M., "Fabrication of metal matrix composite by infiltration process-part 2: experimental study" **Journal of Materials Processing Technology**, Cilt 86, 152-158, 1999.
6. Chong, Y., Atkinson, H.V., Jones, H., "Effect of ceramic particle size, melt superheat, impurities and alloy conditions on threshold pressure for infiltration of SiC powder compacts by aluminium-based melts" **Materials Science And Engineering**, A173, 233-237, 1993.
7. Candan, E., Atkinson, H.V., Jones, H., "Effect of magnesium alloying additions on infiltration threshold pressure and structure of SiC powder compacts infiltrate by aluminium-based melts" **Journal of Materials Science**, Cilt 32, 289-294, 1997.
8. Henriksen, B.R., "The effect of Mg on the interface in an Al/SiC<sub>w</sub> composite" **Interfacial Phenomena in Composite Materials '89**, 242-245, 1989.
9. Acılar, M., Gül, F., "Basınçlı infiltrasyon yöntemi ile Al-SiC<sub>p</sub> kompozitlerin üretimi ve geliştirilmesi" **11. Uluslar arası Metalurji ve Malzeme Kongresi**, İstanbul, Bildiriler E-Kitabı, 3.8, 5-8 Haziran 2002.
10. Narciso, J., Alonso, A., Pamies, A., Garcia-Cordovilla, C., Louis, E., "Factors affecting pressure infiltration of packed SiC particulates by liquid aluminum" **Metallurgical and Materials Transactions A**, 26A, 983-990, 1995.
11. Laurent, V., Chatain, D., Eustathopoulos, N., "Wettability of SiO<sub>2</sub> and oxidizes SiC aluminium" **Materials Science And Engineering**, A135, 89-94, 1991.
12. Shi, Z., Ochia, S., Hojo, M., Lee, J., Gu, M., Lee, H., Wu, R., "The oxidation of SiC particles and its interfacial characteristics in Al-matrix composite" **Journal of Materials Science**, Cilt 36, 2441-2449, 2001.
13. Skolianos, S., Kattamis, T.Z., "Tribological properties of SiC<sub>p</sub>-reinforced Al-4.5% Cu-1.5% Mg alloy composites" **Materials Science and Engineering**, A163, 107-113, 1993.
14. Candan, E., Ahlatcı, H., Çimenoğlu, H., "Abrasive wear behaviour of Al-SiC composites produced by pressure infiltration technique" **Wear**, Cilt 247, 133-138, 2001.
15. Sheu, C.Y., Lin, S.J., "Particle size effects on the abrasive wear of 20 vol% SiC<sub>p</sub>/7075Al composites" **Scripta Materialia**, Cilt 35, No 11, 1271-1276, 1996.
16. Alpas, A.T., Zhang, J., "Effect of microstructure (particulate size and volume fraction) and counterface material on the sliding wear resistance of particulate-reinforced aluminum matrix composites" **Metallurgical and Materials Transactions A**, 25A, 969-983, 1994.
17. Roy, M. Venkataraman, B., Bhanuprasad, V.V., Mahajan, Y.R., Sundarajan, G., "The effect of particulate reinforcement on the sliding wear behavior of aluminum" **Metallurgical Transactions-A**, Cilt 23, 2833-2847, 1992.



