

# B<sub>4</sub>C /Al KOMPOZİTLERİN TAKVİYE HACİM ORANINA BAĞLI OLARAK ABRASİF AŞINMA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

Hasan HASIRCI\*, Ferhat GÜL\*\*

## Özet

Bu çalışmada, toz metalurjisi yöntemi ile üretilen Al matrisli B<sub>4</sub>C parçacık takviyeli kompozitlerin kuru kayma koşullarındaki aşınma davranışları incelenmiştir. Kompozitlerin karakterizasyonu mikroyapı incelemeleri, sertlik ölçümleri ve abrasif aşınma deneyleri ile yapılmıştır. Abrasif aşınma testleri, 180 ve 400 Mesh Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> zımpara kullanılarak 10 N ve 20 N yük altında 0,2 m s<sup>-1</sup> kayma hızında gerçekleştirilmiştir. Sertlik B<sub>4</sub>C parçacık ilavesi ile birlikte artmıştır. % 20 B<sub>4</sub>C parçacık takviyeli kompozit en yüksek sertlik gösterirken, % 10 B<sub>4</sub>C parçacık takviyeli kompozit en yüksek aşınma direnci göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Abrasif aşınma, B<sub>4</sub>C, Al matris, mikroyapı, sertlik, kompozit.

## INVESTIGATION OF ABRASIVE WEAR BEHAVIOURS IN B<sub>4</sub>C /Al COMPOSITES DEPENDING ON REINFORCEMENT VOLUME FRACTION

### Abstract

In this study, wear behavior of B<sub>4</sub>C particle reinforced Al matrix composites produced by powder metallurgy technique has been investigated under dry sliding conditions. Characterization of composites were determined by microscopic examinations, hardness measurements and abrasive wear tests. Abrasive wear tests were conducted with 180 and 400 Mesh Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> paper under 10 N and 20 N load 0,2 m s<sup>-1</sup> sliding speed. Hardness increased by addition of B<sub>4</sub>C particles. While 20 % B<sub>4</sub>C particles reinforced composites have shown the highest hardness values, 10 % B<sub>4</sub>C particles reinforced composites have shown ultimate wear resistance.

**Key Words:** Abrasive wear, B<sub>4</sub>C, Al matrix, microstructure, hardness, composite

## 1. GİRİŞ

Kompozit malzemeler, farklı amaçlarla çok farklı kullanım alanlarına sahip malzemelerin başında gelmektedir. Bu nedenlerle farklı beklentilere sahip kompozitlerin üretimi gerekmektedir. Bu malzemeler sıvı karıştırma ve toz metalurjisi gibi bazı yöntemler ile üretilmekte ve gerektiğinde ısı ile daha üst beklentileri karşılayabilecek hale getirilebilmektedirler [1-4]. Metal matrisli kompozitler içinde düşük yoğunluk nedeniyle Al matrisli kompozitler genellikle tercih edilmektedir. Bu kompozitlere takviye elemanı olarak

\* E-posta: h55hasirci@hotmail.com

\*\* E-posta: fgul@gazi.edu.tr

SiC ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ilave edilerek yüksek mekanik özellikler sağlanabilmektedir. Bu bağlamda ülkemizde de bol miktarda bulunan bor türevlerinin (B<sub>4</sub>C gibi) Al matrisli kompozitlere ilave edilerek ifade edilen genel maksatlara ulaşılması hedeflenmektedir [2,3]. Al matrisli kompozitlerin üretimi döküm (ezme döküm, infiltrasyon v.b.) yada toz metalurjisi teknikleri ile gerçekleştirilmektedir. Ancak döküm yoluyla üretimde takviyenin ana matriste ya hiç yada homojen biçimde karışmama gibi bazı problemlerin bulunması nedeniyle toz metalurjisi üretim kolaylığı bakımından tercih edilmektedir [2,3].

Bu çalışmada toz metalurjisi yöntemiyle üretilen Al matrisli B<sub>4</sub>C parçacık takviyeli kompozitlerin yapı, mekanik ve abrasif aşınma özelliklerinin takviye hacim oranına bağlı olarak değişiminin incelenmesi amaçlanmıştır.

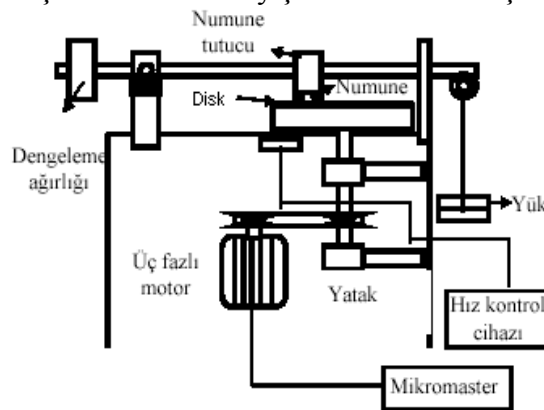
## 2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada toz metalurjisi ile kompozit üretimi için ortalama 25 µm boyuta sahip Al ve B<sub>4</sub>C tozları kullanılmıştır. Bu amaçla parçacıklar bir karıştırıcı içerisinde 2 saat süreyle karıştırılmıştır. Bu karışım daha sonra 700 MPa basınç altında preslemek suretiyle 10 mm çapında silindirik kompozit numuneler üretilmiştir. Preslenen numuneler 570 °C sıcaklıkta açık atmosferde 12 saat süreyle sinterlenmiştir. Yukarıda ifade edilen şartlar altında üretilen numuneler aşağıda Tablo 1’de takviye hacim oranına göre sırasıyla özetlenmiştir.

**Tablo1.** Deneylerde kullanılan numunelerin takviye oranı

Numune no	B <sub>4</sub> C Takviye Hacim Oranları
N1	Saf Al
N2	% 5 B <sub>4</sub> C-Al
N3	% 10 B <sub>4</sub> C-Al
N4	% 20 B <sub>4</sub> C-Al

Numuneler üretimlerinin ardından standart metalografik işlemlerden sonra optik mikroskop yöntemi kullanılarak mikro yapısal incelemeye tabi tutulmuştur. Diğer yandan aşınma sonuçlarının yorumlanmasında kullanılmak ve malzemeyi kısmen karakterize etmek amacıyla bütün numunelerin sertlikleri ölçülmüştür. Abrasif aşınma testleri, disk üzerinde pim aşınma test cihazında (Şekil 1) 180 ve 400 Mesh Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> zımparalar kullanılarak 10 ve 20 N yükler altında, 0.2 m s<sup>-1</sup> kayma hızında gerçekleştirilmiştir. Testler sırasında meydana gelen ağırlık kaybı değerleri ölçülerek tespit edilmiş ve aşınan yüzeyler görüntülenerek numuneler aşınma açısından karakterize edilmiştir. Her bir deney şartı ve numune için 3 adet ölçüm yapılmıştır.

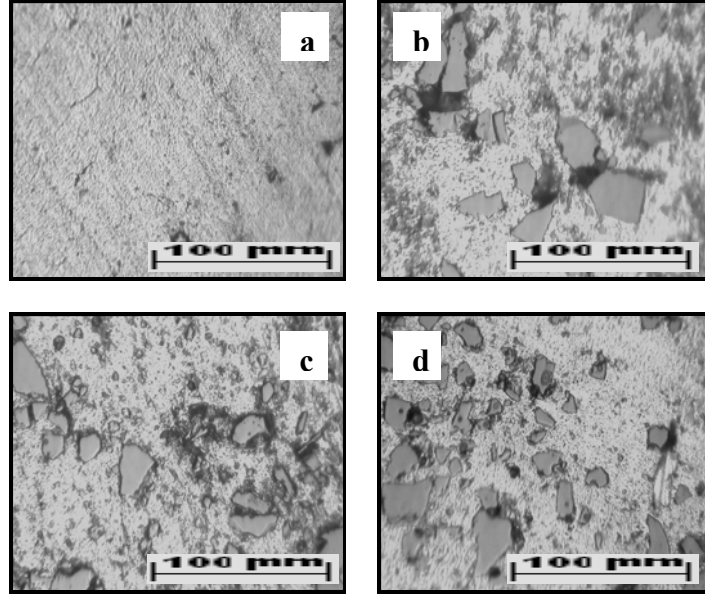


**Şekil 1.** Disk üzerinde pim aşınma cihazının şematik gösterimi

### 3. DENEYSEL SONUÇLAR

#### 3.1. Mikro Yapısal Özellikler

Farklı takviye hacim oranlarına sahip numunelerin mikro yapıları Şekil 2’de verilmiştir. Mikroyapı görüntülerine bakıldığında; saf Al malzemenin yapısı olağan TM ile üretim sonucu elde edilen bir yapı görünümüne sahiptir (Şekil 2.a). Diğer yandan Şekil 2.b, c ve d ise B<sub>4</sub>C takviyesi yapılmış numuneler görülmektedir. Görüntüler incelendiğinde takviye yapılan parçacıkların homojen bir şekilde yapı içerisinde dağıldığı açıkça görülmektedir. Takviye elemanları, mikroyapı görüntülerinde gri renkli parçacıklar şeklinde görülmektedir.

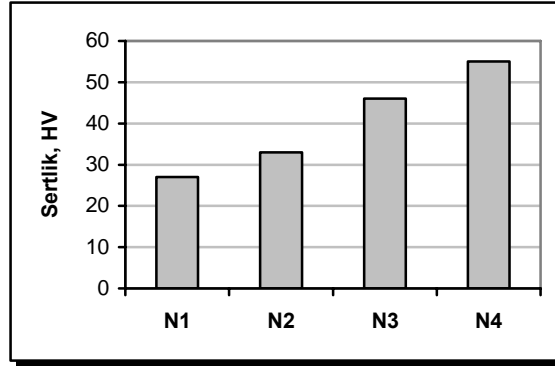


**Şekil 2.** Deneysel şartlara bağlı olarak kompozit malzemenin mikroyapısında meydana gelen değişimler; a) N1, b) N2, c) N3 ve d) N4,

Kompozit numunelerin mikro yapılarına bakıldığında takviye miktarının artmasına bağlı olarak kısmen parçacıklar belirli yerlerde toplanma izlenimi vermektedir. Ancak döküm yoluyla kompozit üretimde özellikle takviye elemanının dağılım problemi bu yöntemle göre çok daha fazla olmaktadır [1,2,4]. Bu açıdan bakıldığında oldukça başarılı bir kompozit üretimi gerçekleştirilmiştir.

#### 3.2. Sertlik ve Aşınma Test Sonuçları

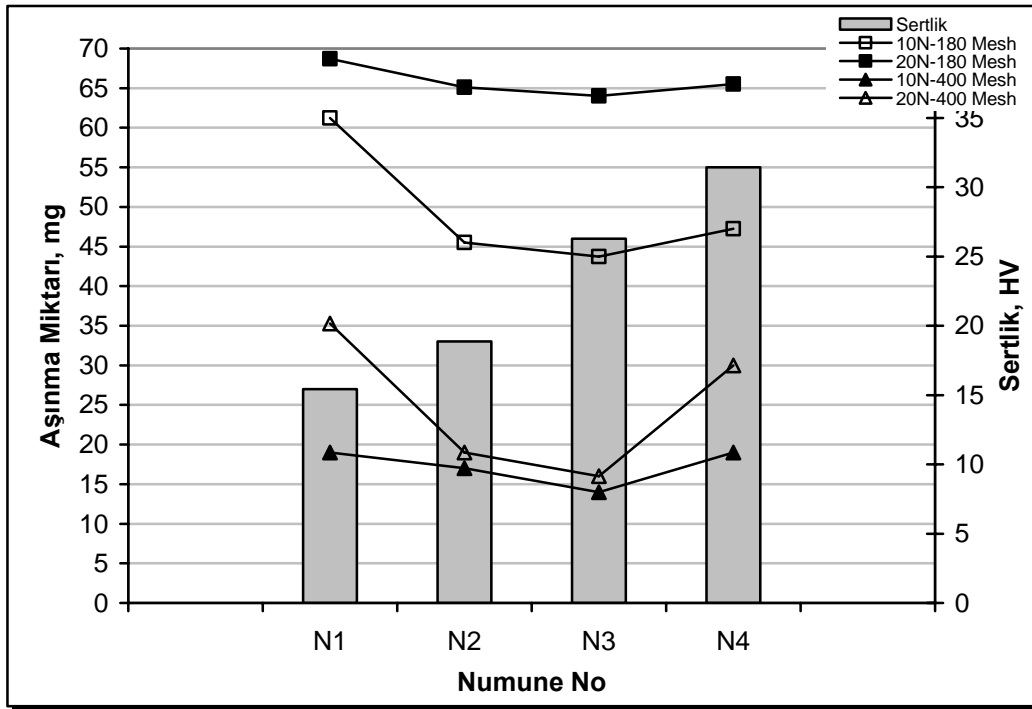
Üretilen numunelerde üretim şartları ve takviye miktarının sertliğe etkilerinin belirlenmesi amacıyla sertlikleri ölçülmüş ve sonuçlar Şekil 3’te verilmiştir. Sonuçlara bakıldığında N1 kodlu saf Al malzemesinin en düşük sertliğe sahip olduğu görülmektedir. Diğer yandan takviye elemanının etkileri incelendiğinde (N2, N3 ve N4 numuneleri) takviye miktarının artması ile birlikte sertliğin de sürekli şekilde arttığı görülmektedir. Bu sonuç kompozit malzemelerin üretim amaçlarından biri olan yeni malzemenin mekanik özelliklerinin geliştirilmesi açısından tutarlı bir sonuçtur. Bu doğrultuda en yüksek sertlik değeri % 20 B<sub>4</sub>C takviye edilmiş N4 kodlu numunede elde edilmiştir.



Şekil 3. Takviye hacim oranına bağlı olarak sertliğin değişimi

Bu sonuçların kompozit malzemeler konusunda yapılan çalışmalarla [1-5] paralel olduğu görülmektedir. Metal matrisli ve parçacık takviye edilen kompozitler incelendiğinde, genellikle yapılan ilavenin kompozit yapmanın amacına uygun bir şekilde takviye hacim oranındaki artışa bağlı olarak sertlikte artışa neden olduğu görülmektedir. Çünkü genellikle takviye elemanı katılmasının amacı, ana matris malzemenin dayanım ve sertliğini artırmaktır. Bu bağlamda üretilen numunelerin amaca uygun olduğu görülmektedir.

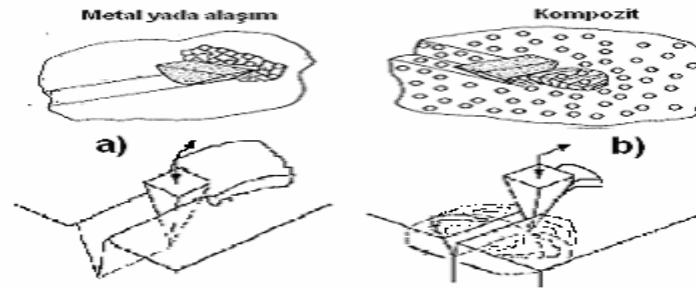
Üretilen numunelerinin mikroyapı ve sertlik özelliklerinin incelenmesinin ardından üretilen bu numuneler disk üzerinde pim aşınma test cihazında abrasif aşınma testine tabi tutulmuş ve sonuçlar Şekil 4'te verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, genel olarak takviye miktarındaki artışa bağlı olarak saf Al malzemeye kıyasla kompozit malzemelerde aşınma miktarlarının genel olarak azaldığı görülmüştür. Öte yandan uygulanan yükün artması ve aşındırıcı parçacık boyutunun büyümesiyle birlikte aşınma miktarı artmıştır.



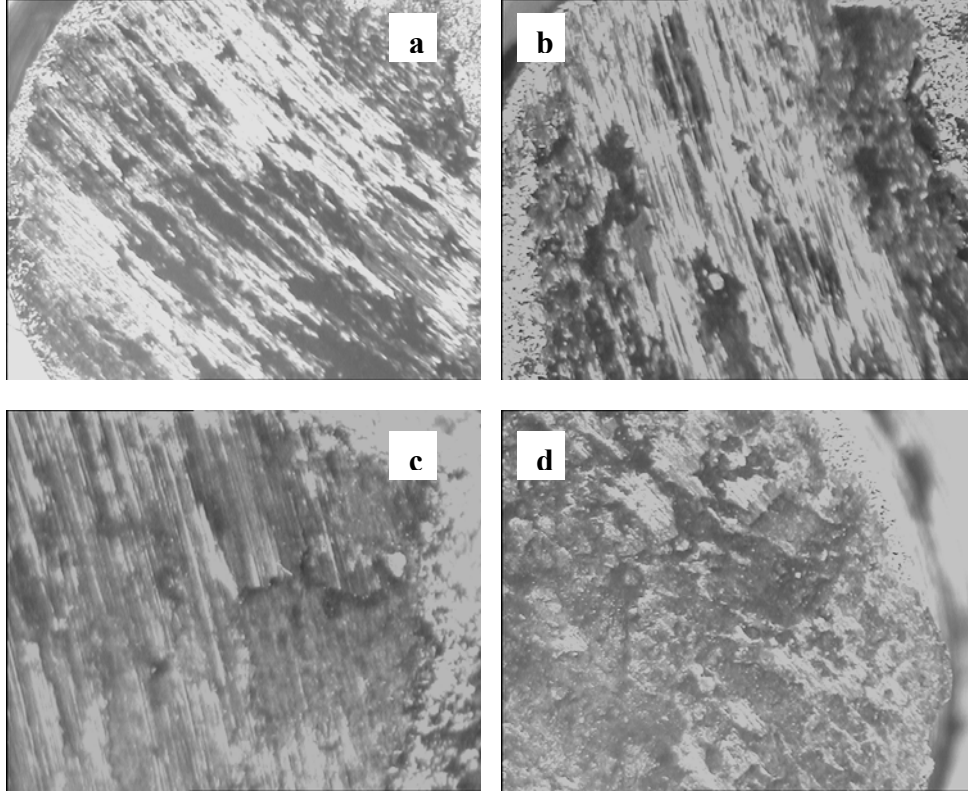
Şekil 4. Uygulanan yük ve kullanılan zımpara boyutuna bağlı olarak aşınma miktarının değişimi

Metal matrisli kompozitler üretilirken, matris içerisine sertlik ve dayanım gibi özellikleri artırmak amacıyla daha yüksek sertlik ve dayanıma sahip farklı biçimlerde (kısa ve uzun fiber ya da parçacık) takviye elemanları ilave edilmektedir. Bu nedenle kompozit malzemeler ana malzemeye kıyasla daha üstün özelliklere sahip olmaktadır. Bu nedenle burada olduğu gibi genellikle takviye miktarıyla bilinen mekanik özelliklerin artması sonucunda ilk bakışta aşınma özelliğinin de olumlu yönde gelişeceği düşünülmektedir. Ancak N4 numunesinin takviye oranı en fazla ve en sert kompozit malzeme olmasına rağmen aşınma miktarının yine de arttığı tespit edilmiştir. Öyle ise aşınma özelliklerinin sadece sertlikle doğrudan ilişkilendirilmesinin doğru olmayacağı açıktır.

Bu durumda aşınmanın farklı yönlerden ele alınması gerekmektedir. Çünkü sert malzemelerin daha az aşınacağı düşünülebilir. Ancak yapılan diğer çalışmalar [1-6], aşınma sırasında meydana gelen olaylar ve mekanizmalar incelendiğinde bu ilk yargının tam olarak doğru olmadığı açıkça görülmektedir. Aşınma sadece sertliğe doğrudan bağlı değildir. Aynı zamanda; malzeme yapısı içerisinde meydana gelen fazların şekil, dağılımı ve varsa takviye elemanının durumu ile ilgili olduğu bazı çalışmalarda ortaya konulmuştur [6-12]. Aşınma işlemi aşındırıcı yüzey ile temas eden malzemenin uygulanan yük ve ilerleme (hareket) kuvveti nedeniyle çizilmeye (aşınma) zorlanması sonucunda aşındırılacak malzeme yüzeyinde meydana gelen deformasyon ile başlamaktadır [13]. Yumuşak malzemelerde, sert malzemelere kıyasla daha kolay deformasyon meydana geldiği görülmektedir. Bunun sonucunda, malzeme şekil değişimine uğramaktadır. Bu sırada mekanik etkiler (sürüklenme ve çizik oluşumu) nedeniyle daha yumuşak ve deforme olan malzeme yüzeyinde aşınma kolayca başlamaktadır. Doğal olarak numune sertliğinin artması ile aşındırıcının yüzeye batarak deformasyon oluşturması ve çiziklerin (aşınma) başlaması güçleşecektir (Şekil 5). Bu durum saf Al malzeme ile kompozit malzemeler birlikte incelendiğinde açıkça görülmektedir. Bu amaçla, aşınma yüzeylerinin incelenmesi faydalı olacaktır (Şekil 6). Aşınan numune yüzeyine bakıldığında (Şekil 6.a) kompozitlere oranla saf Al numunesinde mikro kesme mekanizması nedeniyle sürekli çizikler bulunan bir yüzeyin olduğu tespit edilmiştir. Sürekli çiziklerin varlığı saf Al malzemenin kolayca aşındığını göstermekte ve böylece en fazla aşınmanın bu malzemede meydana geldiği görülmektedir. Yumuşak malzemelerde genellikle abrasif aşınmada mikro kesmenin yanında yüksek deformasyon nedeniyle takozlama (sürüklenme) mekanizmasıyla aşınma meydana gelmekte ve bunun sonucunda sürekli ve geniş çizikler oluşmaktadır (Şekil 5.a).



**Şekil 5.** Metal ve kompozit malzemelerin abrasif aşınma sırasındaki davranışının değişimi [8]



**Şekil 6.** Deneysel şartlara bağlı olarak saf Al ve farklı oranlarda B<sub>4</sub>C ilave edilmiş kompozit malzemelerinin 400 Mesh zımpara ile 20 N yük altında aşındırılmış yüzeylerinin görüntüleri; a) N1, b) N2, c) N3 ve d) N4, (X 10)

Kompozit malzemeler kendi aralarında incelendiğinde ise, saf Al malzemeye kıyasla artan takviye miktarına bağlı olarak artan sertliğin de etkisiyle aşınma miktarı azalmıştır. Ancak % 20 B<sub>4</sub>C takviye edilmiş numunede sertlik en yüksek değerde olmasına karşın, aşınmanın da arttığı görülmektedir. Bu sonuç elde edilen aşınma yüzeyleri (Şekil 6.c) ile birlikte değerlendirildiğinde % 20 B<sub>4</sub>C takviye edilmiş numunede aşınma sırasında kompozit üretimindeki en önemli problemlerden birisi olan kısmen takviye elemanlarının topaklanma eğiliminde olması nedeniyle ve numune yüzeyinde takviyenin çevrelendiği matris hacminin azalmasına bağlı olarak kolayca aşındırılabilmesi, bir başka deyişle yerinden sökülüp çıkarılması nedeniyle oldukça fazla çizik ve büyük oyuklaşmaların bulunduğu görülmüştür. Kompozit malzemeler saf malzemeye kıyasla daha dayanıklı ve sert olduklarından aşınmaya dirençleri oldukça fazladır. Ancak abrasif aşınma sırasında gevrek ve kırılğan bir davranış sergilemektedirler. Numune yüzeyine batan aşındırıcı malzeme bu gevreklik nedeniyle hem önündeki alanı hem de yan kısımlardaki alanları zorlamaktadır (Şekil 5.b). Bu zorlama sırasında takviye miktarı yüksek olduğunda azalan matris alınının uygulanan zorlamaya karşı koyamaması ve gevrek davranış nedeniyle aşınmada artış meydana gelmektedir. Aşınan yüzeyde çizikler daha ince ve derinliği az, ancak çevredeki zorlamalara bağlı olarak kütleli kopmaların meydana geldiği açıkça görülmektedir (Şekil 6.c). İşte bu nedenlerle bu çalışmada % 20 B<sub>4</sub>C ilave edilen kompozit malzeme bu çalışmadaki en yüksek sertliğe sahip olmasına karşın, aşınma direnci azalmış ve neredeyse saf Al malzeme kadar aşınma direnci gösterebilmiştir. Bu çalışma şartları içerisinde % 10'a kadar B<sub>4</sub>C parçacık ilavesinin üretilen yeni malzemenin sertliğini % 41 ve aşınma direncini % 55 geliştirdiği tespit edilmiştir. Öte yandan % 5 B<sub>4</sub>C ilavesinin kompozit malzemede yeterli oranda sertlik ve aşınma direnci sağlanması açısından yetersiz kaldığı çalışma sonucunda açıkça görülmüştür. Diğer taraftan,

yük miktarının 10N'dan 20N'a artışı sonucunda aşınma miktarı oransal olarak; 180 Mesh zımparada % 135, 400 Mesh de ise % 47 oranında artmıştır.

#### 4. SONUÇLAR

- Öncelikle üretilen numuneler incelendiğinde, Al matris içerisine ilave edilen B<sub>4</sub>C parçacıklarının iyi bir şekilde dağıldığı görülmüştür. Bu dağılım düzeni takviye miktarındaki artışla birlikte bir miktar azaldığı yapısal incelemelerden gözlenmiştir.
- Al malzemeye ilave edilen B<sub>4</sub>C parçacıkları nedeniyle üretilen yeni malzemenin sertliği artmıştır. Aynı zamanda takviye miktarının artmasıyla sertliğin de sürekli bir artış gösterdiği görülmüştür.
- Genel olarak, en iyi aşınma direnci % 10 B<sub>4</sub>C parçacık takviye edilmiş kompozit malzemede elde edilmiştir.
- Yük miktarının 10N'dan 20N'a artışı sonucunda aşınma miktarı oransal olarak; 180 Mesh zımparada % 135, 400 Mesh de ise % 47 oranında artmıştır.

#### Kaynaklar

1. Toptan, F. ve Kerti, I., “B<sub>4</sub>C ile takviye edilen Alüminyum matrisli kompozitlerin döküm yöntemi ile üretimi”, **12. Uluslar arası Metalurji-Malzeme Kongresi**, 808-812, İstanbul, Kasım-2006.
2. Akın, G., Mindivan, H., Çimenoglu, H. ve Kayalı, E. S., “Toz metalurjisi yöntemiyle üretilen Alüminyum matrisli bor karbür takviyeli kompozitlerin aşınma davranışının incelenmesi”, **12. Uluslar arası Metalurji-Malzeme Kongresi**, 735-740, İstanbul, Kasım-2006.
3. Abenojar, J., Velasco, F. and Martinez, M. A., “Optimization of processing parameters for the Al + 10 % B<sub>4</sub>C system obtained by mechanical alloying”, **Journal of Materials Processing Technology**, 18, 441-446, 2007.
4. Kennedy, A. R. and Brampton, B., “The reactive wetting and incorporation of B<sub>4</sub>C particles into molten aluminum”, **Scripta Materialia**, 44, 1077-1082, 2001.
5. Yılmaz, O. and Buytoz, S., “Abrasive wear of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – reinforced aluminum – based MMCs”, **Composites Science and Technology**, 61: 2381-2392, 2001.
6. Saheb, N., Laoui, T., Daud, A.R., Harun, M., Radiman, S., “Yahaya, R., “Influence of Ti addition on wear properties of Al–Si eutectic alloys”, **Wear**, 249, 656–662, 2001.
7. Prasada, A.K., Das, K., Murty, B.S., Chakraborty, M., “Effect of grain refinement on wear properties of Al and Al–7Si alloy”, **Wear**, 257, 148-153, 2004.
8. ZumGahr, K.-H., “Wear by hard particles”, **Tribology International**, Vol. 31, No. 10, pp. 587–596, 1998.
9. Sawla, S. and Das, S., “Combinet effect of reinforcement and heat treatment on the two body abrasive wear of aluminum alloy and aluminum particle composites”, **Wear**, 257: 555-561, 2004.
10. Lasa, L. and Rodriguez-Ibabe, J.M., “Effect of composition and processing route on the wear behaviour of Al-Si alloys”, **Scripta Materialia**, 46: 477-481, 2002.
11. Sun, Y., Baydoğan, M. and Çimenoglu, H., “The effect of deformation before ageing on the wear resistance of an aluminum alloy”, **Materials Letters**, 38: 221-226, 1999.
12. Jiang, Q.C., Xu, C.L., Lu M. and Wang, H.Y., “Effect of new Al-P-Ti-TiC-Y modifier on primary silicon in hypereutectic Al-Si alloys”, **Materials Letters**, 59, p: 624-628, 2005.
13. Berger, M., Wiklund, U., Eriksson, M., Engqvist, H., Jacobson, S., “The multilayer effect in abrasion— optimising the combination of hard and tough phases”, **Surface and Coatings Technology**, 116–119, 1138–1144, 1999.