

# AA 2014 Al Matrisli B<sub>4</sub>C Parçacık Takviyeli Kompozitlerin Mikro Yapı ve Aşınma Davranışının İncelenmesi

Ufuk TAŞCI<sup>1</sup>, Hakan GÖKMEŞE<sup>2,\*</sup>, Bülent BOSTAN<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Gazi Üniversitesi Gazi Meslek Yüksek Okulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Çubuk, Ankara

<sup>2</sup>Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Bölümü, Beşevler-Ankara

<sup>3</sup>Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Beşevler-Ankara

Received: 04.11.2013.Revised: 27.11.2013 Accepted:00.12.2013

---

## ÖZET

Bu çalışma kapsamında toz metalürjisi (TM) yöntemi kullanılarak, gaz atomize AA2014 toz metal alaşımına, ağırlıkça %1, 2, 4 ve 8 oranlarında B<sub>4</sub>C parçacık takviyesi yapılarak, kompozit numuneler üretilmiştir. Hazırlanan matris/takviye toz karışımları 700 MPa basınç altında preslenerek, atmosfer kontrollü fırında 560 °C sıcaklıkta 1 saat sinterleme işlemi sonrasında kompozit numuneler üretilmiştir. Üretilen kompozit numunelerin yoğunluk, gözeneklilik, sertlik değişimleri ve aşınma özellikleri incelenmiştir. Artan takviye oranına bağlı olarak sertlik değerinde artış olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca yapılan deneyler sonucunda en yüksek sertlik değeri olarak, %8 takviye hacim oranında 90 HV olarak ölçülmüştür. Kompozit numunelerdeki aşınma direncinin ise, takviye fazının artan hacim oranında arttığı gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** AA 2014, Bor karbür, Aşınma

## ABSTRACT

In his study, the composite samples were produced by powder metallurgy method with varying volume fraction (1,2,4 and 8 %) of B<sub>4</sub>C particles reinforced AA 2014 powder metal alloy. The composite samples were produced with the matrix/reinforcement powder mixes prepared pressing under 700 MPa pressure after sintering process for 1 h at 560°C. The density changes, porosity, hardness changes and wear properties of composite samples produced were investigated. It was the hardness of the composites increased with increasing particle volume fraction and measured the highest hardness value in %8 particle volume fraction as 90 HV. It was observed that increased with increasing volume fraction of reinforcement phase the wear resistance of composite samples.

**Key words:** AA 2014, Boron carbide, wear.

---

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Malzeme bilimi alanındaki bilimsel araştırmalar devamlı olarak malzeme özelliklerinin gelişimi ve malzemelerin performanslarını artırmak içindir. Bu anlamda mekanik, fiziksel ve kimyasal özellikler açısından, malzeme üretim işlem metotlarını geliştirmeye yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Gelişmeler daima geleneksel malzeme tasarımından “daha yüksek sıcaklıklara dayanabilen, daha güçlü, daha katı ve daha hafif” olarak tasarlanma yönünde istenmektedir ve malzemelerin özelliklerini geliştirme yönündedir.

Malzemelerin gelişimini ve özelliklerini artırmak veya diğer metotlar ile üretilmeyen malzeme türlerini elde edebilmek için, yeni üretim metotlarından toz metalürjisi yöntemi, günümüz endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır[1–3]. Alüminyum, magnezyum, silisyum ve alaşımları metal matrislikompozit (MMK) üretiminde, hafif ve sünek olmalarından dolayı en çok kullanılan matris malzemeleridir.

Doğada çok bulunan, işleme kolaylığı olan, hafif, yüksek korozyon direnci ve takviye edilebilirlik gibi özelliklere sahip alüminyum gibi malzemeler genel tercih sebebinin oluşturmaktadır. Matris malzemelerin bu özellikleri, takviye elamanı sayesinde daha da geliştirilerek, çekme mukavemeti, ergime sıcaklığı, ısıl kararlılık, kolay üretilebilirlik gibi özelliklerinin artırılması söz konusudur. Alüminyum matrisli

kompozitlerin üretilmesinde SiC, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, C, SiO<sub>2</sub>, MgO, TiC ve B<sub>4</sub>C gibi farklı takviye elemanları kullanılmaktadır [4-7].

Bu takviye malzemeleri arasında en çok kullanılanlar SiC, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve B<sub>4</sub>C olmakla birlikte, B<sub>4</sub>C tozlarının yüksek maliyete sahip olmasından dolayı B<sub>4</sub>C takviyeli kompozitler üzerine yapılan çalışmalar diğer takviye elemanlarına göre sınırlı sayıda kalmıştır[8-11].

Yapılan bu çalışma kapsamında, Al-B<sub>4</sub>C kompozitinin toz metalürjisi yöntemi ile üretimi gerçekleştirilmiştir. AA 2014 toz metal alaşım matris yapısında, farklı oranlardaki B<sub>4</sub>C parçacık takviyesinin; (a) gözenek-mikro yapı etkileşimi, (b) aşınma davranışı, (c) kompozit malzeme sertlik değeri üzerindeki etkilerini tespit etmeye yönelik çalışmalar yürütülmüştür.

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR (EXPERIMENTAL STUDIES)

Metal matrisli kompozit numunelerinin üretimine yönelik olarak, çalışmada kullanılan AA 2014 matris malzemesinin kimyasal bileşimi Çizelge 1’ de, B<sub>4</sub>C takviye malzemesinin fiziksel ve mekanik özellikleri ise Çizelge 2’ de gösterilmiştir.

Ortalama toz boyutları 90,66µm ve 3µm olan, düşey gaz atomizasyon yöntemi kullanılarak üretilen AA 2014 matris malzemesi ve ticari olarak temin edilen B<sub>4</sub>C parçacık takviyesi, toz metalürjisi yöntemiyle parça üretimi açısından, deneysel çalışmada kullanılmıştır.

Çizelge 1. AA2014 alaşımının kimyasal kompozisyonu (Chemical composition of AA2014 alloy)

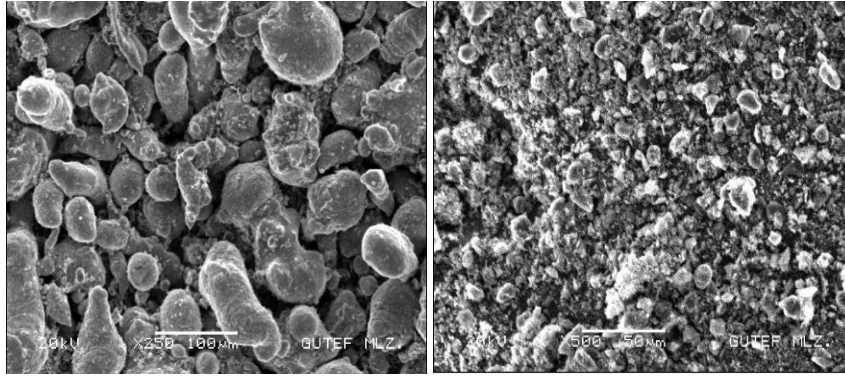
İÇERİK	Al	Cu	Si	Mn	Mg	Fe	Zn	Cr	Ti
Ağırlıkça %	93,5	4,06	0,6	0,57	0,56	0,47	0,106	0,03	0,01

Çizelge 2. B<sub>4</sub>C tozunun özellikleri ( Properties of B<sub>4</sub>C powder)

Takviye Malzemesi	Yoğunluk (x10 <sup>3</sup> kgm <sup>-3</sup> )	Isıl Genleşme Katsayısı (10 <sup>-6</sup> C <sup>-1</sup> )	Ergime Sıcaklığı (°C)	Mukavemet (MPa)	Elastiklik Modülü (GPa)
B <sub>4</sub> C	2,52	6,08	2420	2759 (24 <sup>0</sup> C)	448 (24 <sup>0</sup> C)

Matris/takviye malzemesi olarak çalışmada kullanılan gaz atomize AA 2014 toz metal alaşımı ve B<sub>4</sub>C parçacıklarına ait SEM görüntüsü Şekil 1’ de gösterilmiştir. Toz şekil ve morfolojisi açısından değerlendirildiğinde, gaz atomize Al alaşımının çoğunlukta küresel ve küresel’ e yakın toz şekillerinden oluştuğu, ancak kullanılan B<sub>4</sub>C takviyenin ise düzensiz şekle sahip olduğu SEM görüntüsü ile anlaşılmaktadır. B<sub>4</sub>C parçacıklarına ait olan XRD analizi Şekil 2’ de

gösterilmiştir. Ticari olarak kullanılan B<sub>4</sub>C takviyenin XRD analizi incelendiğinde, 2θ mesafesine bağlı olarak alınan pik değerlerinin B<sub>4</sub>C takviye malzemesini tanımladığı ve herhangi bir kirliliğin olmadığı tespit edilmiştir. Bundan sonraki süreç toz metal parça üretimi ve karakterizasyonu şeklinde olmuştur.



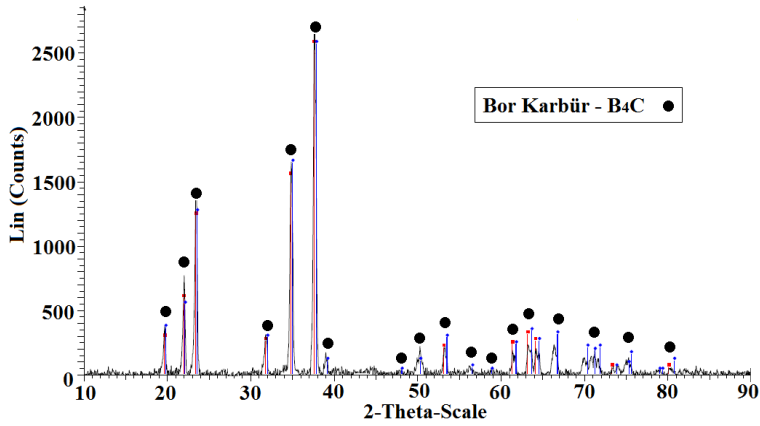
(a)

(b)

Şekil 1. Matris/takviye tozlarının SEM görüntüleri; a) AA 2014 alaşımı, b) B4C  
(SEM images of Matrix/reinforcement powders; a) AA 2014 alloy, b) B4C )

Bu anlamda, özellikle parçacık takviyesinin homojen dağılımını sağlamak amacıyla matris/takviye toz karışımları, Turbola cihazında 1 saat süre ile karıştırma işlemine tabii tutulmuştur. AA 2014 matris yapısında,

B<sub>4</sub>C parçacık takviyesinin farklı oranları (%1, 2, 4 ve 8) ile bütün farklı takviye oranları ile oluşturulan numuneler için bu işlem yerine getirilmiştir.



Şekil 2. B4C parçacıklarının XRD analizi (XRD analysis of B4C particles)

Matris/takviye toz karıştırma işleminin hemen akabinde ise, sırasıyla presleme ve sinterleme aşamasına geçilmiştir. Hazırlanan toz karışımlarına tek yönlü preste farklı presleme basınçlarında ön testler uygulanmış, optimum presleme basıncı 700 MPa olarak belirlenmiş ve deney numuneleri bu basınç altında preslenerek üretilmiştir. Toz metalürjisi yöntemiyle parça üretiminde bilindiği üzere gözeneklilik bilinen bir sonuçtur. Dolayısıyla presleme sonrasında elde edilen numunelerdeki bu gözenekliliğin minimuma indirilebilmesi açısından, kompozit malzeme üretimi son aşaması olarak sinterleme işlemi yapılmıştır. Bunun için argon atmosferi kullanılarak, 10°C/dak ısıtma hızında 560°C sıcaklık değerinde 1 saat süre ile sinterleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Sinterleme öncesi ve sonrasındaki numune yoğunluklarının tespiti, hacim hesabı üzerinden yapılmıştır. Numunelerin metalografik olarak incelenebilmesi için sırasıyla zımparalama,

parlatma ve dağlama işlemleri uygulanmıştır. Bu işlem sürecinin hemen akabinde ise, malzeme karakterizasyonu amacıyla, Optik mikroskop, SEM incelemeleri ve EDS analizleri yapılmıştır. Çalışmanın son kısmında ise parçacık takviyesinin, kompozit malzeme sertlik değeri ve aşınma davranışı üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla çalışmalar yapılmıştır. Sertlik değerlerinin belirlenmesi aşamasında mikro sertlik cihazında HV 0,1 kg yük altında ölçümler yapılmıştır. Kompozit aşınma davranışı açısından ise, pin-on disk üzerinde kayma hızı 1 m/sn, 30 N yük ve 1500 m kaydırma mesafesinde ölçümler yapılmıştır.

### 3. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Deney numunelerinin sinterleme öncesi ve sonrasındaki yoğunluk değişimleri Çizelge 3' de gösterilmiştir. AA 2014 malzemesinin yoğunluğu yaklaşık 2,70 g/cm<sup>3</sup> olarak düşünüldüğünde, presleme ve sinterleme işlemi sonrasında yoğunluk değerleri açısından bu değere

ulaşılmaya çalışılmıştır. Farklı takviye oranları ile hazırlanan kompozit numunelerde, presleme işlemine bağlı olarak toz tanelerindeki temas yüzeyinin artışı ve sinterleme işlemi ile birlikte artan takviye oranı açısından değerlendirildiğinde, az bir miktarda olsa

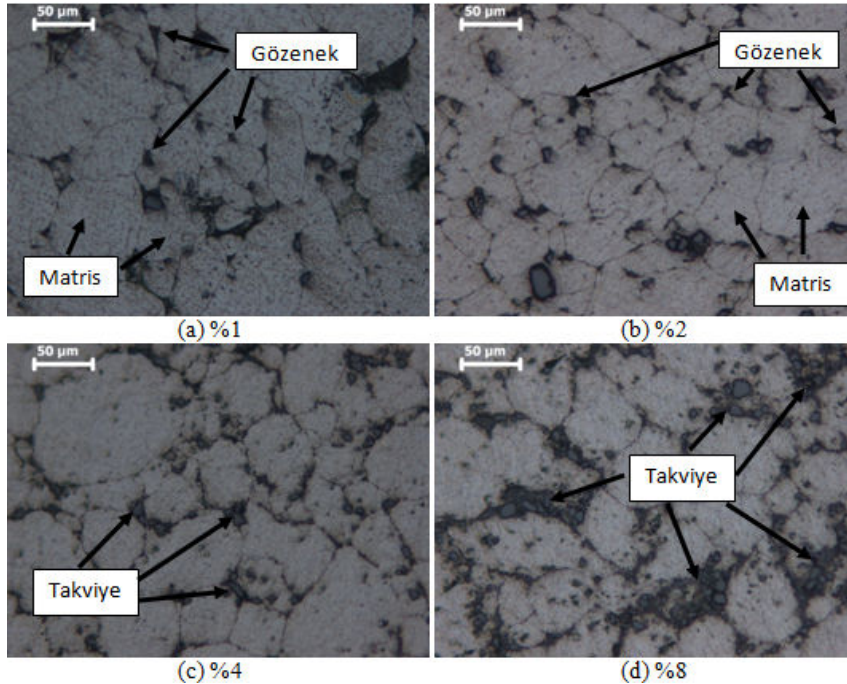
yoğunluk değerlerinde artış sağlanmıştır. Tanelerin birleşerek büyümeye başladığı, gözenekliliğin azaldığı ve sonrasındaki yoğunluk değerlerinin kısmi artışıyla sonuçlanan bu etkiyi belirtilen sinterleme sıcaklığı ve süresi açısından değerlendirmek mümkündür.

Çizelge 3. Üretilen kompozit numunelerin, interleme öncesi ve sonrası yoğunluk değişimleri (the change of density of compositesamplesproduced)

Sinterleme öncesi yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )			Sinterleme sonrası yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )		
<b>Takviye Malzemesi Oranı</b>	%1	2,68	<b>Takviye Malzemesi Oranı</b>	%1	2,69
	%2	2,67		%2	2,69
	%4	2,67		%4	2,68
	%8	2,67		%8	2,69

Farklı takviye oranları kullanılarak üretilen metal matrisli kompozit numunelerinin, takviye hacim oranındaki artışa bağlı olarak takviye fazının matris yapısındaki dağılımı, matris ile oluşturduğu ara yüzeyi, kompozit bütünündeki gözenek-yapı etkileşiminin tespit edilmesi anlamında, mikro yapısal incelemeler

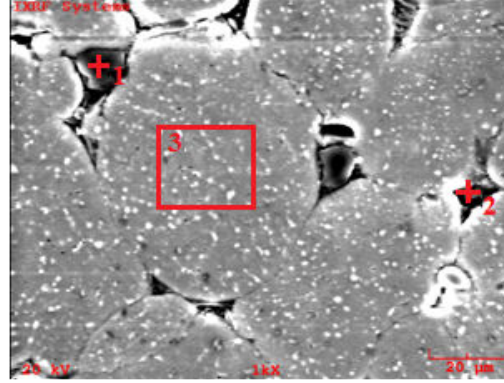
yapılmıştır (Şekil 3). Şekil 3' de verilen mikro yapı görüntüleri incelendiğinde, sinterleme mekanizmasının işleyişi açısından, gözeneklerin tane sınırlarında daha yoğun, kapalı küresel şekilde bulunduğu ve aynı zamanda tane içlerine doğru ilerlediği de görülmektedir.



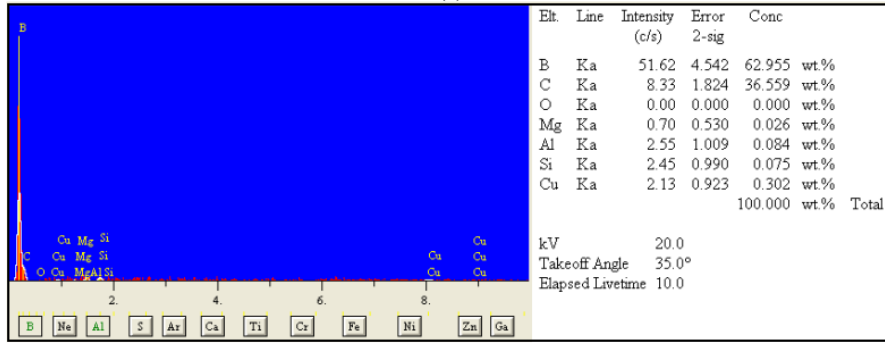
Şekil 3. Farklı takviye hacim oranları ile üretilen kompozit numunelerin mikro yapıları; (The microstructure of compositesamplesproducedwithdifferentparticlevolumefraction)

Kompozit malzemelerin üretimindeki bilinen en önemli faktör takviye fazının homojen dağılımıdır. Çok küçük kristalize boyutu ile AA 2014 metal matris yapısında

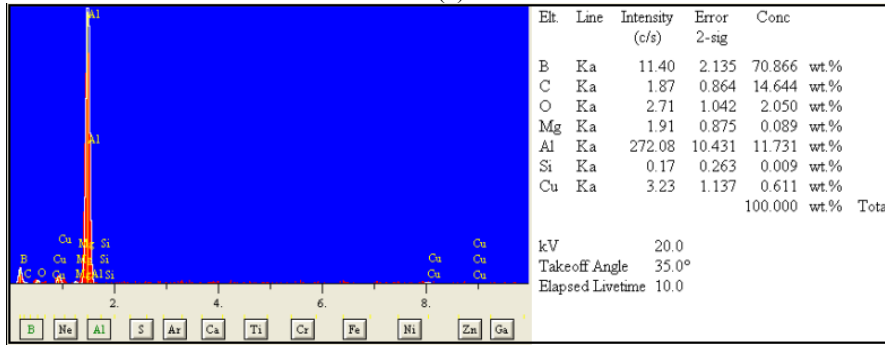
yer alan  $B_4C$  parçacıklarının %8 gibi bir artan parçacık takviye oranına bağlı olarak, matris yapısı boyunca dağılım gösterdiği tespit edilmiştir.



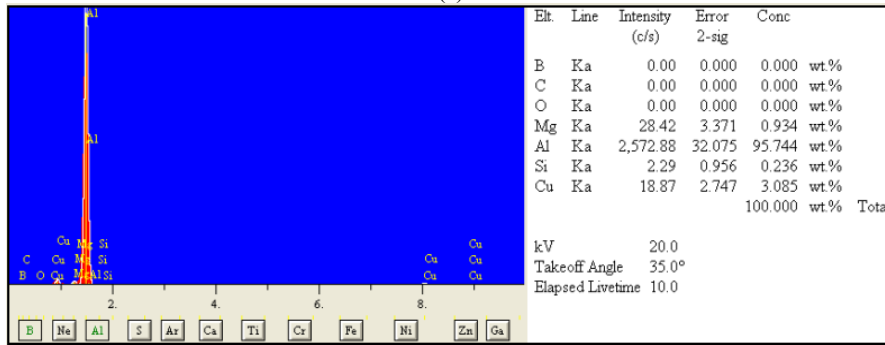
(a)



(b)



(c)

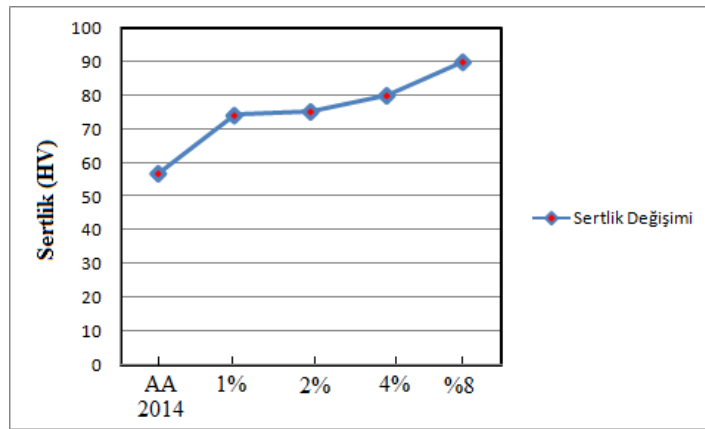


(d)

**Şekil 4.** Üretilen kompozit numunenin; (a) EDS analizi için SEM görüntüsü, (b) 1nolu bölge EDS analizi, (c) 2nolu bölge EDS analizi, (d) 3 nolu bölge EDS analizi (Forcompositesamples; (a) SEM image, (b) 1. EDS, (b) 1. point (c) 2.point (d) 3. region EDS analysis)

B<sub>4</sub>C parçacıklarının özellikle tane sınırlarında daha yoğun bir şekilde yer aldığı, dolayısıyla ortaya çıkan bu durumun ise, gerek malzeme mukavemeti (akma dayanımı) gerekse malzeme özellikleri (sertlik) açısından etkin olabileceği şeklinde düşünülmüştür. Belirtilen mikro yapı görüntüleri incelendiğinde, matris yapısındaki takviye fazının artış oranıyla birlikte, özellikle %8 B<sub>4</sub>C parçacık takviyesi ile oluşturulan numunelerde, parçacıkların tane sınırlarında kümelenme ve topaklanma eğiliminde olduğu görülmüştür. Metal matris ve takviye fazının ara yüzeyinde istenmeyen bir reaksiyon ürünü veya ara yüzeydeki ayrılmaya rastlanmamıştır. Parçacık takviyesi ile oluşturulan metal matrisli kompozit numunelerde, matris ve takviye fazındaki sırasıyla Al, Cu, Mg, Si ve B elementleri gözetilerek, elementel düzeyde EDS analizleri

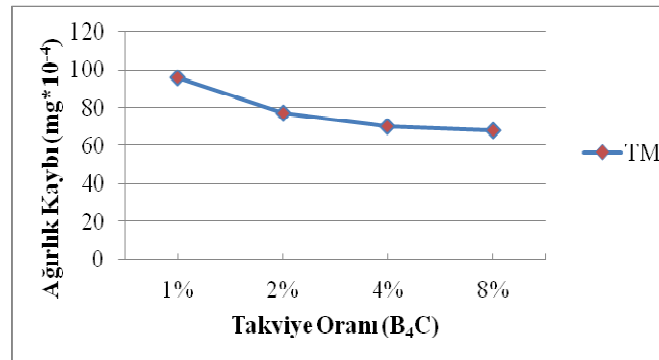
yapılmıştır (Şekil 4-a). Şekil 4-a' da belirtilen SEM görüntüsü üzerinden yapılan nokta ve bölgesel analizleri incelendiğinde, gerek matris yapısındaki gerekse takviye fazındaki elementlerin yüzde olarak alınan analiz değerleri sonrasında, uyumlu olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4-b-c-d). AA 2014 metal matrisi yapısında B<sub>4</sub>C parçacık takviyesi ile oluşturulan numunelerde, sinterleme işlemi devamındaki yapılan sertlik ölçümleri ile malzeme özelliklerinin iyileştirildiği, parçacık hacim oranındaki artışa bağlı kompozit bütünündeki sertlik değerleri gösterilmiştir (Şekil 5). Bu bağlamda kompozit numunelerde ki takviye oranındaki artışa bağlı olarak, sertlik değerinin arttığı ve %8 takviye oranında 90HV sertlik değerine ulaştığı belirlenmiştir.



Şekil 5. Takviye oranına bağlı kompozit numunelerin sertlik değişimi (The change of hardness value of composite samples with reinforcement fraction)

Kompozit numunelerin kuru sürtünmeli aşınma davranışları açısından, aşınma oranları tüm numunelerde ağırlık kaybı olarak belirlenmiştir. 1500 metre kaydırma mesafesi sonrasında ortaya çıkan ağırlık kayıpları takviye fazının oranına bağlı olarak gösterilmiştir (Şekil 6). Kompozit bütünündeki parçacık hacim oranındaki artışa bağlı olarak, ağırlık kayıplarında bir azalma olduğu tespit edilmiştir. Bu durumun aksine parçacık hacim oranındaki artışla birlikte kompozit sertliğinde artışın, aşınmaya olan

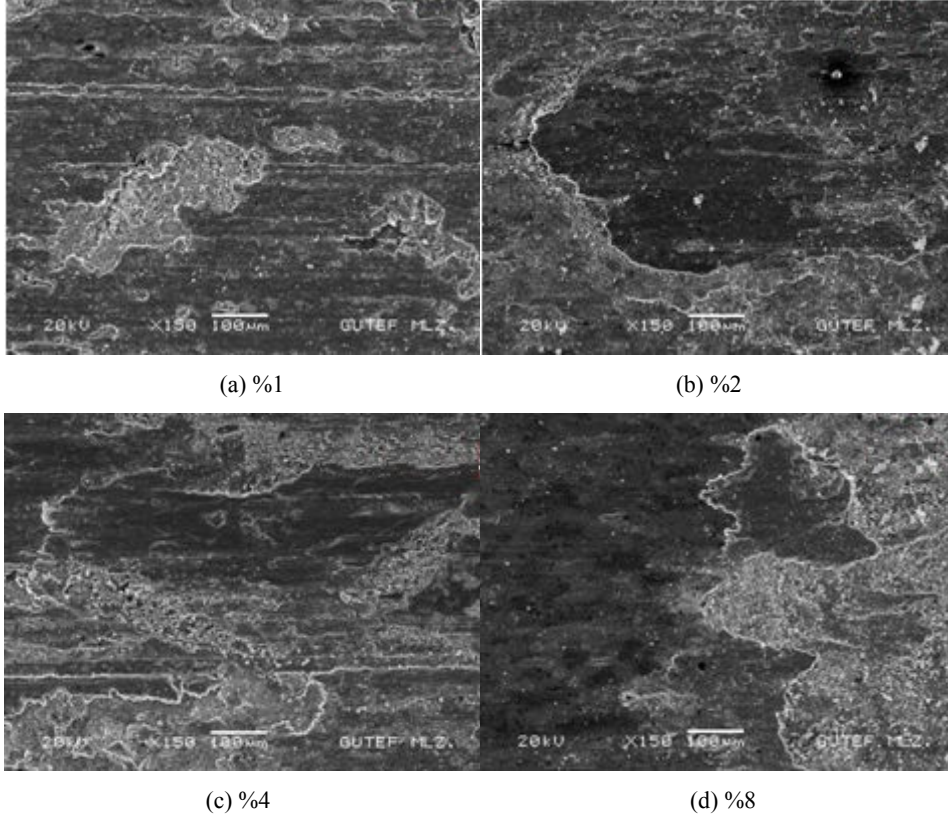
direnci giderek artırması sonucunda ise aşınma kaybının az olmasına sebep olmuştur. Ayrıca kuru sürtünmeli aşınma esnasında da dinamik sürtünme etkisinden yararlanarak ve/veya darbeli kırılarak kütle kaybı daha az olabileceği şeklinde yorumlanmıştır. Toz metalürjisi yöntemi kullanılarak hazırlanan kompozit numunelerdeki aşınma özelliklerinin, parçacık hacim oranındaki artışla önemli ölçüde etkilendiği belirgin bir şekilde ortaya çıkmıştır.



Şekil 6. Takviye oranına bağlı kompozit numunelerin ağırlık kayıp değerleri (The values of wear loss of composite samples with reinforcement fraction)

Üretilen kompozit numunelerindeki aşınma yüzey incelemelerinin yapılabilmesi için, %1, 2, 4 ve 8 B<sub>4</sub>C parçacık takviyesi ile oluşturulan kompozit numunelerin, SEM görüntüleri Şekil 7’ de gösterilmiştir. SEM görüntüleri üzerinden yapılan incelemeler ile birlikte, numunelerin aşınma yüzeylerinde çizikler, sıvama tabakaları ve pulcuklaşma, kavlamalar, yırtılmalar gibi aşınmaya

neden olan hasarların bulunduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada toz metalürjisi yöntemi kullanılarak B<sub>4</sub>C parçacık takviyesi ile AA 2014 matris yapısında üretilen kompozit numunelerinde, B<sub>4</sub>C parçacıklarının koparak hem kütle kaybına neden olması hem de sert olan bu parçacıkların yüzeyi kazıyarak aşınmayı hızlandırdığı şeklinde düşünülmüştür.



Şekil 7. Kompozit numunelerin aşınma yüzeyleri (The wear surfaces of composite samples)

#### 4. SONUÇLAR(CONCLUSIONS)

Yapılan çalışmada AA 2014 metal matris yapısında B<sub>4</sub>C parçacık takviyesi ile üretilen kompozit numunelerinin, mikro yapı, aşınma ve sertlik özelliklerinin belirlenmesi üzerine yapılan deneysel çalışmalar sonrasında aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır;

- ❖ Toz metalürji yöntemi kullanılarak üretilen kompozit numuneler, optimum 700MPa presleme basıncı ve 560°C sıcaklıkta 1 saat süre sinterleme ile elde edilmiştir.
- ❖ %1,2,4,8 oranlarındaki takviye fazının matris yapısı boyunca dağılımının uygunluğu mikro yapı görüntüleri ile ortaya çıkarılmıştır.

❖ Matris/takviye malzemesi ara yüzey birleşiminin, gözeneklilik ve yoğunluk etkileşiminin, presleme öncesi ve sonrasındaki işlemlerde etkin olduğu belirtilmiştir.

❖ B<sub>4</sub>C parçacık takviye oranının artışına bağlı olarak, sertlik değerinde bir artış meydana getirdiği görülmüştür.

❖ Aşınma testleri sonrasındaki ağırlık kayıplarının, artan parçacık hacim oranı ile birlikte azalma gösterdiği tespit edilmiştir.

#### TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi, 41/2012 – 10 nolu proje kapsamında yapılan çalışmalara desteklerinden dolayı, Gazi Üniversitesine teşekkür ederiz.

**KAYNAKLAR (REFERENCES)**

- [1] Sarıtaş S., “Engineering Metallurgy And Materials”, Ankara, 5-30 (1995).
- [2] German R.M., editörler Sarıtaş S., Türker M., Durlu N., “Toz Metalurjisi ve Parçacıklı Malzeme İşlemleri”, Türk Toz Metalurjisi Derneği , Ankara, (2007).
- [3] Bostan B., “Examination of Al4C3 Formation After Mechanically Alloying and Extrusion” Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 23(2):343-348, (2008).
- [4] Toptan, F., “Alüminyum Matrisli B4C Takviyeli Kompozitlerin Döküm Yöntemi ile Üretimi”, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü (2006).
- [5] Kumdalı, F., “Alüminyum matrisli B4C takviyeli kompozitlerin toz metalurjisi yöntemi ile üretimi”, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 11-17 (2008).
- [6] Abenojar, J., Valesco, F. and Martinez, M. A., “Optimization of processing parameters for the Al + 10 % B4C system obtained by mechanical alloying”, Journal of Materials Processing Technology, 18, 441-446, (2007).
- [7] Zhang, H., Ramesh, K. T., Chin, E.S.C., "High Strain Rate Response of Aluminium 6092/B4C Composites", Materials Science and Engineering, A 384: 26-34, (2004).
- [8] Jung, J., Kang, S., "Advances in Manufacturing Boron Carbide-Aluminum Composites", J. Am. Ceram. Soc., 87: 47-54 (2004).
- [9] Aizenshtein, M., Froumin, N., Shapiro-Tsoref, E., Dariel, M.P., Frage, N., "Wetting and interface phenomena in the B4C/(Cu-B-Si) system", Scripta Materialia 53: 1231-1235, (2005).
- [10] Zhu, X., Dong, H., Lu, K., "Coating different thickness nickel-boron nanolayers on boron carbide particles", Surface & Coatings Technology, 202: 2927-2934, (2008).
- [11] Shrestha, N.K., Kawai, M., Saji, T., Co-deposition of B4C particles and nickel under the influence of aredox-active surfactant and anti-wear property of the coatings, Surface & Coatings Technology, 200: 2414-2419, (2005).