

## Toz Metalurjisi Yöntemi ile Üretilen Al-Si/B<sub>4</sub>C Kompozit Malzemenin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması

Niyazi Yılmaz ÇOLAK<sup>1</sup>, Hüseyin TURHAN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Bitlis Eren Üniversitesi Teknik Bilimler M.Y.O. 13000 Bitlis/Türkiye.

<sup>2</sup>Fırat Üniversitesi Teknoloji Fak. Metalurji ve Malzeme Müh. Böl., 23117 Elazığ/Türkiye.

\*nycolak@beu.edu.tr

(Geliş/Received: 02.03.2016; Kabul/Accepted: 28.09.2016)

### Özet

Bu çalışmada, Al-Si/B<sub>4</sub>C metal matrisli kompozit malzeme, toz metalurjisi yöntemi kullanılarak üretilmiştir. Al-%7Si toz karışımı içerisine ağırlıkça %5, %10, %15 ve %20 oranında B<sub>4</sub>C ilave edilerek toz karışımları hazırlanmıştır. Hazırlanan toz karışımları, 450 MPa basınç altında soğuk presleme işlemine tabi tutulmuş ve argon gazı atmosferinde 590 °C' de 60 dakika bekletilerek sinterlenmiştir. Üretilen numunelerin mikroyapıları ve sertlik değerleri irdelenmiştir. Deneyler sonucunda, ilave edilen B<sub>4</sub>C'nin mikroyapıları farklı şekilde ortaya çıkmış ve sertlik değerlerinde etkilenme görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Al-Si, B<sub>4</sub>C, MMK, Toz Metalurjisi,

## The Investigation of Microstructure and Mechanical Properties of Al-Si/B<sub>4</sub>C Composites Produced by Using Powder Metallurgy Method

### Abstract

In this study, Al-Si/B<sub>4</sub>C metal matrix composite material was produced by using at powder metallurgy process. Powder samples were prepared in proportion as 5%, 10%, %15 and 20% B<sub>4</sub>C was added in to Al-%7Si powder mixture. The prepared powder mixtures, cold pressing under 450 MPa argon gas atmosphere 590 °C were finally processed and sintered for 60 minutes. Pressed specimens were investigated hardness and microstructure with microscopy. As a result of experimental studies, the B<sub>4</sub>C added at the different rates were affected the hardness and microstructure of the materials.

**Keywords:** Al-Si, B<sub>4</sub>C, MMC, Powder Metallurgy

### 1.Giriş

Toz metalurjisi imalat tekniğinin kullanımı gün geçtikçe mühendislik malzemelerinin üretiminde artmaktadır. Toz teknolojisindeki gelişmeler, farklı preslenme teknikleri ile kompleks şekilli makine parçalarının yüksek üretim hızında, yüksek kalitede, düşük boyutsal toleransta ve ekonomik olarak üretimine olanak sağlamaktadır [1]. Toz metalurjisi yöntemi ile üretilen parçaların performansına katkı sağlanması amacı ile metal matris içerisine alaşım elementleri veya çeşitli partiküller ilave edilerek, farklı yapılar ve arzu edilen özelliklere sahip yeni malzemeler elde edilebilmektedir. Böylece farklı uygulama alanlarına hitap eden yeni ürünlerin elde edilmesi mümkün olabilmektedir [2].

MMK(Metal Matrisli Kompozit) 'ler bilimsel, teknolojik ve ticari öneme sahiptirler.

Çeşitli takviye malzemeleriyle güçlendirilen alüminyum metal matrisli kompozitler düşük yoğunluk, yüksek mukavemet ve iyi aşınma direnci gibi birçok üstünlüğe sahiptirler.

Tüm bu özellikleri aynı anda elde etmek, her zaman mümkün olmamaktadır. Buradaki mekanik ve fiziksel özellikleri elde etmede uygun matris-takviye elemanı seçimi büyük rol oynar. Yükün, matristen takviye elemanına iletilmesi, ara yüzey bağı vasıtasıyla olmaktadır. Bu nedenle matris ile takviye elemanı arasındaki ara yüzey bağının güçlü olması gerekmektedir [3]. Takviye elemanlarının bir kompozit malzemede esas fonksiyonları; yükü taşıyarak matrisin rijitlik ve dayanımını artırmaktır. Teorik olarak malzemelerde aranan özellikler; yüksek dayanım ve düşük yoğunluk, kovalent veya kovalent-iyonik bağların karışımına sahip yapı olmasıdır [4]. Alüminyum ve alaşımları düşük yoğunlukları ve yüksek dayanım/ağırlık

özelliklerinden dolayı, birçok uygulama alanında başarı ile kullanılan vazgeçilmez bir malzeme haline gelmiştir. Alüminyum ve alaşımları, aşınma davranışını ve mekaniksel dayanımı geliştirmek için seramiklerle takviye edilirler. Alüminyum ve alaşımlarının, seramik partiküllerinin iyi mekanik ve fiziksel özellikleri ile birleştirilmesi ile elde edilen alüminyum matrisli kompozitlerin kullanımı, gösterdikleri üstün özelliklerinden dolayı hızla artmaktadır [5].

Alüminyumun kolay elde edilebilir olması, düşük yoğunluklu olması ve uygun üretim şartları altında B<sub>4</sub>C ile tepkime oluşturması nedeniyle takviye elemanı olarak B<sub>4</sub>C tercih edilmektedir. Düşük yoğunluklu Al kompozit üretmek amacıyla, rijitliği yüksek ve sert B<sub>4</sub>C ile sünek alüminyum birleştirilir [6].

B<sub>4</sub>C, elmas ve kübik yapılu bor nitrürden sonra bilinen en sert (9,5+Mohs skalasında) üçüncü malzemedir. Nötron absorpsiyonu, sürünme direnci ve darbe dayanımı isteyen uygulamalar için farklı avantajlara sahip, kovalent bağlı seramik yapıdadır. Ayrıca seramiklerin en hafifidir. Bu yüzden kompozitin toplam ağırlığını arttırmadan mekanik özelliklerini geliştirmede kullanılabilir [7].

Bor karbür gelişmiş bir seramik olarak düşük gözenek içeriğine sahiptir. B<sub>4</sub>C - Al karma yapıların üretimi özellikle B<sub>4</sub>C'nin yüksek sertlik ve aşınma özelliklerinden yararlanmak, bunun yanı sıra B<sub>4</sub>C'nin düşük olan kırılma tokluğunu arttırmak amacıyla gerçekleştirilmiştir. B<sub>4</sub>C ile Al arasında meydana gelen kimyasal tepkimeler nedeniyle süreç koşullarına bağlı olarak çok sayıda farklı tepkime ürünleri oluşmaktadır. Oluşan tepkime ürünlerinin kimyasal bileşimleri konusunda farklı yayınlarda farklı bilgiler yer almaktadır. Bunun temel nedenleri ise çok şekilli (polimorfizm) ve Al' nin bu bileşiklerde sahip olduğu yüksek çözünürlüktür [8].

Kennedy [9], Al-Si matrisli B<sub>4</sub>C takviyeli kompozitleri incelemiş ve şu sonuçlara ulaşmıştır. Ergimiş Al içerisine B<sub>4</sub>C parçacıkları ilave etmiş ve Ti-B-C yüzeyde bir koruyucu katman oluşmasını sağlamıştır. Reaksiyon tabakası ısının etkisi ile bozulmadan kalmıştır ve bu tabaka diğer Al-B<sub>4</sub>C kompozitlere göre koruyucu bir etki sağladığı görülmüştür. Takviyenin etkisi ile önemli derecede sertlik artışları gözlenmiştir. Al-TiC benzer güçlü bir

ara yüzey bağı oluşmuştur. Kompozite 500 °C' deki katı hal reaksiyonunda mekanik özelliklerinde küçük değişiklikler oluşmuş ve 700 °C' de yapılan ısıl işlem sonucu olarak parçacık ve matris arasındaki reaksiyonla sertliğinde artış ve süneklikte azalma görmüştür.

Akın [10], yaptığı çalışmada; Al-B<sub>4</sub>C kompozitleri, toz metalurjisi yöntemiyle üretilmiş, aşınma ve korozyon dirençleri araştırılarak optimum üretim parametreleri saptanmaya çalışılmıştır. Yapılan deneylerin sonucunda, B<sub>4</sub>C takviye oranının artması ile aşınma direnci de artmıştır; fakat belirli bir takviye oranından sonra (%9 B<sub>4</sub>C) kompozitin sertliği artmasına rağmen aşınma direnci düşmüştür. %9 B<sub>4</sub>C içeren kompozite uygulanan ara deformasyon ile korozyon direnci artmıştır. B<sub>4</sub>C içeriğinin artmasıyla korozyon direnci azalmıştır. Sertlik kriter alınarak yapılan değerlendirmede; optimum üretim parametrelerine 570 °C' de atmosferik ortam koşullarında, 12 saat süre ile yapılan sinterleme neticesinde ulaşılmıştır.

Bu çalışmada; alüminyum-silisyum esaslı (ağırlıkça; Al %93, Si %7) matrise %5 B<sub>4</sub>C, %10 B<sub>4</sub>C, %15 B<sub>4</sub>C, %20 B<sub>4</sub>C takviyeli kompozitler üretilmesi ve özelliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Üretilen yeni B<sub>4</sub>C takviyeli Al-Si esaslı kompozitlerin özellikleri, taramalı elektron mikroskobu (SEM), X ışınları kırınımı (XRD) ve X ışını enerji dağılım spektrometresinden (EDS) faydalanılarak irdelenmiştir. Ayrıca numunelerin mikro sertlik değerleri de ölçülerek sonuçlar bunlarla beraber yorumlanmıştır.

## 2. Deneysel Yöntemler

Bu çalışmada kullanılan parçalar toz metalurjisi yöntemi ile üretilmiştir. Deneylerde kullanılan numunelerin üretimi için Tablo 1' de B<sub>4</sub>C tozunun ve Tablo 2' de Al tozunun kimyasal ve fiziksel özellikleri verilmiştir.

Bu üretimi gerçekleştirmek için Tablo 3' deki ağırlık oranlarına göre hazırlanan tozları karıştırma işlemi için 88-tipi, kapalı toz hazneli, iki kg toz kapasiteli, üç boyutlu dönebilen bir karıştırıcı kullanılmıştır. 88-tipi karıştırıcının toz haznesi 360 ° lik turlarla her yöne dönebilmektedir ve böylece tozların birbiriyle iyice karışması sağlanmaktadır. Yaklaşık 45 dakika boyunca, 20 dev/dak hızda tozlar

karıştırılmıştır. Al-Si/B<sub>4</sub>C kompozit tozları soğuk presleme ile ön şekillendirilmesinde takım çeliğinden yapılmış bir metal kalıp kullanılmıştır. Tozların kolay şekillendirilebilmesi ve kalıp içerisinde şekillendirilen toz kütlelerinin kolay çıkarılabilmesi için kalıp iç yüzeyleri ve zımbalar çinko stearat yağlayıcı ile sıvanmıştır. Tozların ön şekillendirilmesi işlemlerinde 450 MPa yük kullanılmıştır. Şekil 1’ de Al-Si/B<sub>4</sub>C kompozit tozların soğuk presleme işleminde kullanılan metal kalıbın şematik görüntüsü verilmiştir.

Preslenen numune tozlarının sinterlenmesi işlemi, “PROTHERM” marka, boru tipi atmosfer kontrollü fırında yapılmıştır. Sinterleme işlemleri tüp fırında, argon gazı ortamında yapılmıştır. Şekil 2’ de tüp fırında yapılan sinterleme işleminin şematik gösterimi verilmiştir. Sinterleme işlemi, şekil 3’ de sinterleme sıcaklık-zaman grafiğinde görüldüğü gibi numuneler 590 °C’ ye 30 dk. çıkma süresi 590 °C’ de 60 dk. bekleme süresi ile yapılmıştır. Daha sonra fırın ortamında numunelerin soğuması beklenmiştir.

Üretilen numuneler sırasıyla 400-600-800-1000-1200-2500 ve 3000 mesh’ lik zımparalar ile zımparalama yapılmıştır. Daha sonra 3 µm, 1 µm’ lik elmas süspansiyon ve elmas yağlayıcı yardımı ile çuha üzerinde parlatma işlemi yapılmıştır. Çuha ile parlatma kademesinde alkol kullanılmış ve ayrıca tüm parlatma işlemlerinden sonra da numuneler alkolle yıkanmıştır. Daha sonra dağlama işlemine geçilmiştir. Dağlama işlemi için KELLER (1 ml HF, 1,5 ml HCl, 2,5 ml HNO<sub>3</sub>, 95 ml H<sub>2</sub>O) dağlayıcısı seçilmiş ve numuneler 30 sn sürede dağlanmıştır.

Hazırlanan numunelerin mikroyapı larının tespiti, JEOL JSM 7001F FE-SEM marka Scanning Electron Microscope (SEM) cihazı ve buna bağlı Enerji Dispersive spektocraph (EDS) elementel analiz cihazı kullanılmıştır. Farklı bileşimde üretilen numunelerin sinterlenmeleri sonucunda numunelerde meydana gelebilecek faz ve bileşikler tespit etmek amacıyla SHIMADSU marka XRD-6000 kullanılarak X-ray diffraction (XRD) analizleri yapılmıştır.

Mikrosertlik ölçümleri; LEICA MHF-10 marka mikrosertlik test cihazında HV sertlik skalası ile 200 gr’ lık yük altında gerçekleştirilmiştir. Sertliğin tam olarak

belirlenmesi için numunelerin orta, uç ve ara bölgelerinden sertlik değerleri ölçülmüş ve her bir numuneden toplam 5 adet sertlik değeri alınmıştır. Daha sonra bu değerlerin ortalaması alınarak numunelerin ortalama sertlik değerleri bulunmuştur. Daha sonra bu değerler, bilgisayar ortamına aktarılarak mikrosertlik grafikleri çizilmiştir.

**Tablo 1.** Deney numunelerinin üretiminde kullanılan Bor karbür tozunun kimyasal ve fiziksel özellikleri

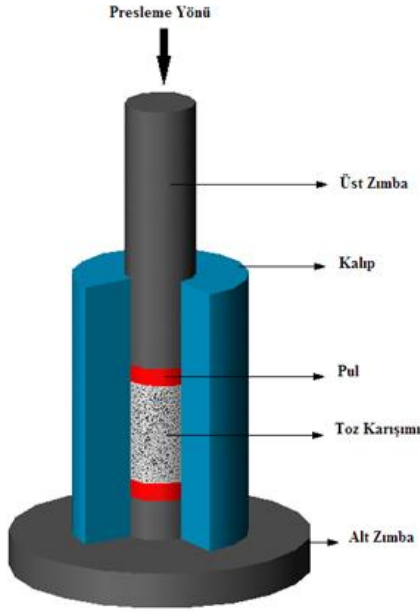
<b>B: C Oranı</b>	3,85
<b>C</b>	% 21,8
<b>N</b>	% 0,7
<b>O</b>	% 1
<b>Fe</b>	% 0,05
<b>Si</b>	% 0,15
<b>Al</b>	% 0,05
<b>Diğer</b>	% 0,5
<b>Spesifik Yüzey Alanı</b>	6 - 9 m <sup>2</sup> /g
<b>Ham Yoğunluk</b>	1,5 - 1,7 g/cm <sup>3</sup>
<b>Boyut Dağılımı:</b>	
<b>% 90</b>	6,5 µm
<b>% 50</b>	2,5 µm
<b>% 10</b>	0,4 µm

**Tablo 2.** Deney numunelerinin üretiminde kullanılan alüminyum tozunun kimyasal ve fiziksel özellikleri

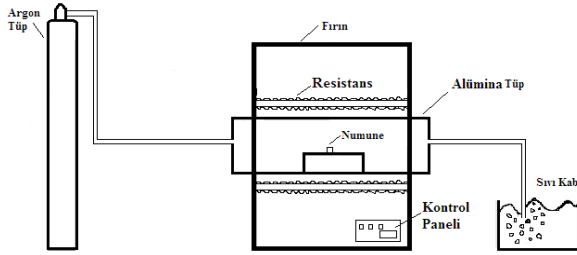
<b>Al</b>	≥%97.0
<b>Pb</b>	≤% 0.03
<b>As</b>	≤ %0.0005
<b>Fe</b>	≤% 1.0
<b>Tutuşma Sıcaklığı</b>	400 ° C
<b>Çözünürlük</b>	(20 °C) (reaksiyon)
<b>Ergime Noktası</b>	660 °C
<b>Molar Kütle</b>	26,98 g / mol
<b>Yoğunluk</b>	2.70 g / cm <sup>3</sup> (20 °C)
<b>Kaynama Noktası</b>	2467 °C

**Tablo 3.** Üretilen deney numunelerinin toz bileşimleri

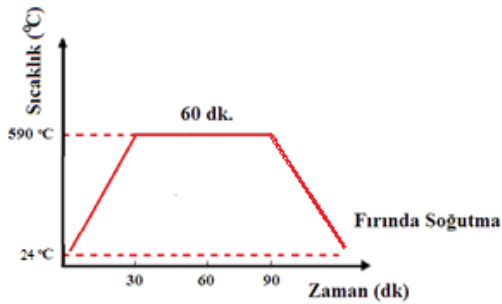
<b>Numune Kodu</b>	<b>% Al (Ağırlıkça)</b>	<b>% Si (Ağırlıkça)</b>	<b>% B<sub>4</sub>C (Ağırlıkça)</b>
<b>N1</b>	93	7	-
<b>N2</b>	88.35	6.65	5
<b>N3</b>	83.7	6.3	10
<b>N4</b>	79.05	5.95	15
<b>N5</b>	74.4	5.6	20



Şekil 1. Kompozit tozların soğuk presleme işleminde kullanılan metal kalıbın şematik görüntüsü



Şekil 2. Sinterleme fırınının şematik gösterimi.



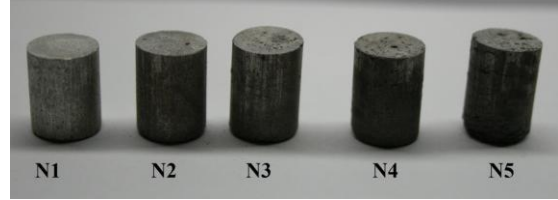
Şekil 3. Sinterleme parametresi grafiği

### 3. Sonuçlar ve Tartışma

#### 3.1. Makro yapı incelemesi

Toz metalurjisi yöntemi ile üretilen Al-Si matrisli B<sub>4</sub>C takviyeli kompozitlerin makro yüzey fotoğrafı şekil 4' de verilmiştir. N1, N2,

N3, N4, N5 numunelerine ait makroyüzey fotoğrafları incelendiğinde; Al-Si den üretilen N1 numunesinin diğer numunelere kıyasla daha açık renkte olduğu ve yüzeyinde gözle görülür boşluk ve çatlakların olmadığı tespit edilmiştir.

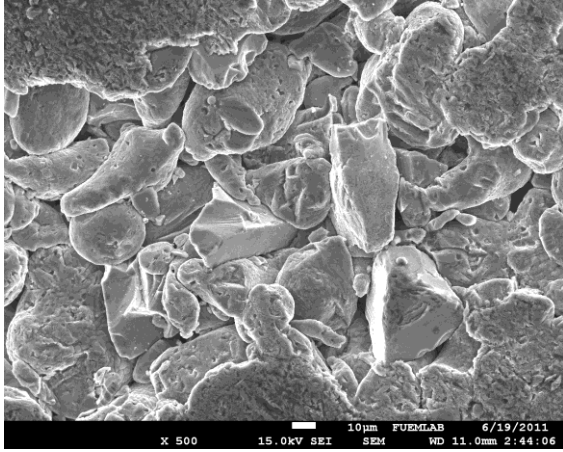


Şekil 4. Sinterleme sonrası elde edilen numunelerin fotoğrafı

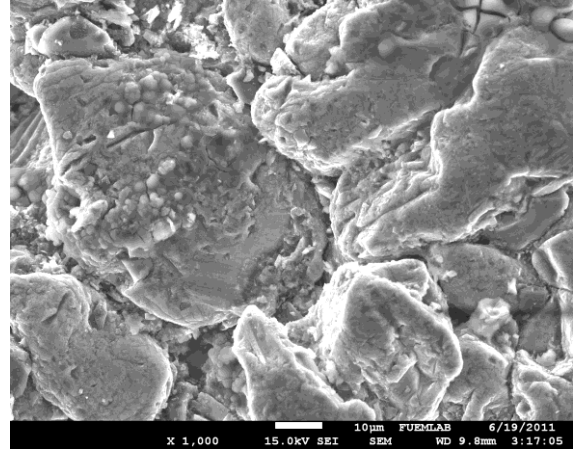
Al- Si matrisli ağırlıkça %5, %10, %15, %20 B<sub>4</sub>C takviyeli üretilen N2, N3, N4, N5 nolu kompozit malzemelerde ise yer yer gözle görülür boşlukların olduğu fakat malzeme yüzeylerinde herhangi bir çatlakın olmadığı tespit edildi. Bor karbür takviyeli olarak üretilen numunelerin renklerinin karbür oranı ile orantılı olarak daha koyu renkte olduğu ve en koyu görünüme %20 takviye oranına sahip N5 numunesinde olduğu tespit edilmiştir.

#### 3.2. Mikro yapı incelemesi

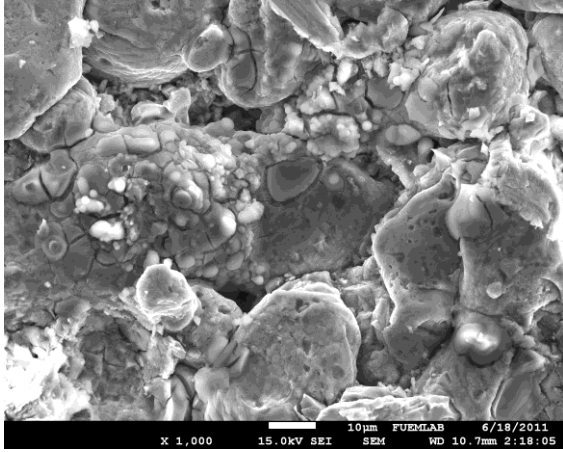
Toz metalurjisi yöntemi ile üretilen Al esaslı Al-Si/B<sub>4</sub>C kompozitlerinin mikroyapı resimleri Şekil 5-9' da verilmiştir. Bu resimler incelendiğinde Al matris içerisine ilave edilen Si ve B<sub>4</sub>C tozlarının homojen bir dağılım sergilediği görülmektedir. Şekil 5' de verilen N1 numunesine ait SEM fotoğrafında sinterleme sonrası Al matrise ilave edilen Si toz tanelerinin birbiri ile birleştiği görülmektedir. N1 numunesi karbür takviyeli numunelere referans numune olarak kabul edilebilir. Numunedeki toz taneciklerinin sıcaklık etkisi ile yapısının bozulduğu, taneciklerin birbirleriyle etkileşiminin arttığı ve bu sebepten tanecik yapısının değiştiği tam anlamıyla görülmektedir. Üretilen numunelere ait SEM fotoğraflarında düşük parçacık oranlarında parçacıkların içyapıda homojen bir şekilde dağıldıkları görüldü. Malzeme yüzeyi incelendiğinde gözenek ve boşlukların bulunduğu; ancak sinterlemenin iyi ve oldukça homojen olarak gerçekleştiği görülmektedir.



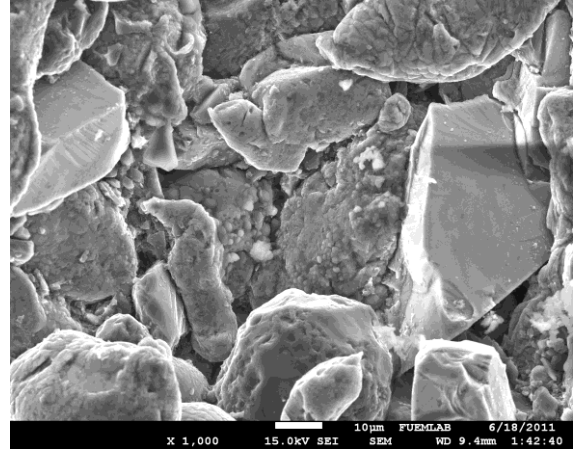
Şekil 5. N1 Numunesine ait SEM fotoğrafı ( X 500)



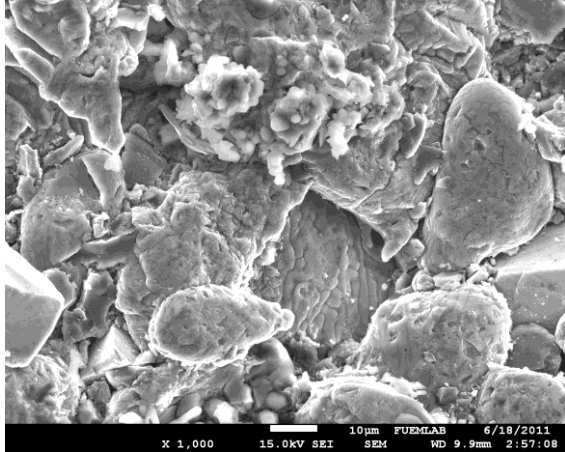
Şekil 8. N4 Numunesine ait SEM fotoğrafı ( X 1000)



Şekil 6. N2 Numunesine ait SEM fotoğrafı (X 1000)

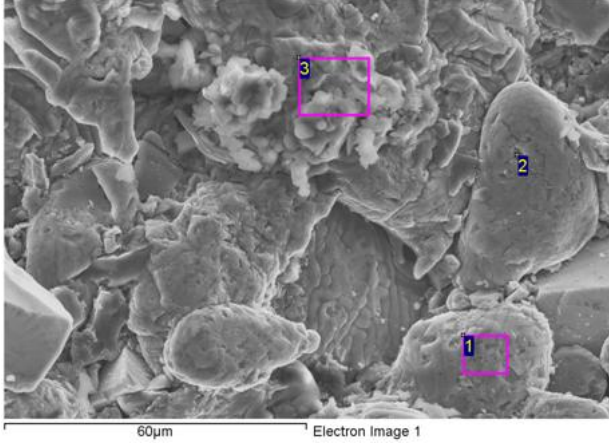


Şekil 9. N5 Numunesine ait SEM fotoğrafı ( X 1000)

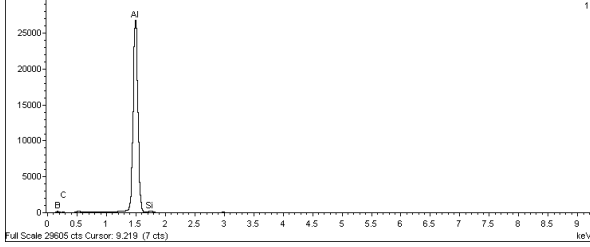


Şekil 7. N3 Numunesine ait SEM fotoğrafı (X 1000)

Numunelere ait mikroyapılar incelendiğinde gözenek ve boşlukların parçacık oranına göre arttığı söylenebilir. Al ve Si dan oluşan N1 numunesinde porozite en düşüktür. Matris içerisindeki  $B_4C$  takviye oranı arttıkça, parçacıkların daha fazla topaklanmalarının olduğu görülmüştür. Takviye elemanı boyutunun matrisi oluşturan tozlardan küçük olması parçacık topaklanmalarını oluşturmuş ve böylece porozite oranın artmasını sağlamıştır. Çünkü topaklanmalar sonucu, matris malzemesi ile  $B_4C$  parçacıklarını arasında yeterli yüzey bağı oluşamamış ve bu bölümlerde poroziteler oluşmuştur. Takviye oranının artması ve takviye parçacık boyutunun küçük olması sonucu porozite değerleri artış göstermiştir.  $B_4C$  takviye oranına bağlı olarak N1 numunesinden N5 numunesine gidildikçe gözenek miktarı kısmen artmıştır. En düşük gözenek miktarı  $B_4C$  ilavesiz olan N1 numunesinde görülmüştür.



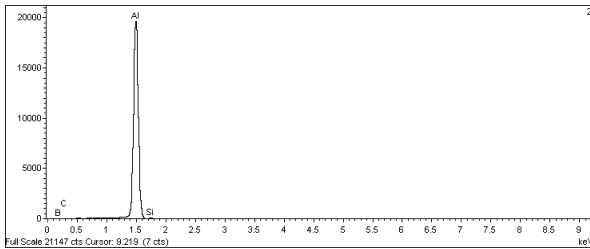
Şekil 10. N3 numunesinin EDS analiz noktalarını gösteren SEM fotoğrafı.



Şekil 11. N3 numunesine ait 1 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.

Tablo 4. N3 numunesine ait 1 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları

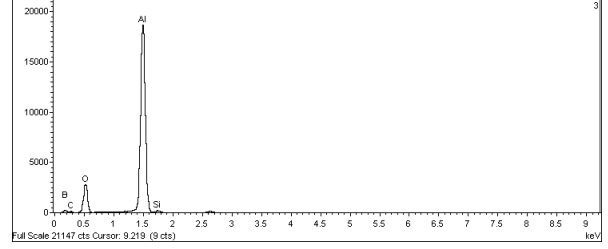
Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
B	4.74	0.0644	43.32	2.54	62.62
C	1.48	0.1378	6.33	0.80	8.24
Al	105.89	1.2562	49.59	2.24	28.72
Si	0.98	0.7603	0.76	0.06	0.42
Totals			100.00		



Şekil 12. N3 numunesine ait 2 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.

Tablo 5. N3 numunesine ait 2 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
B	0.94	0.0472	23.77	6.17	41.99
C	0.62	0.1590	4.62	0.99	7.34
Al	77.68	1.2980	71.15	5.80	50.35
Si	0.26	0.6666	0.46	0.07	0.32
Totals			100.00		

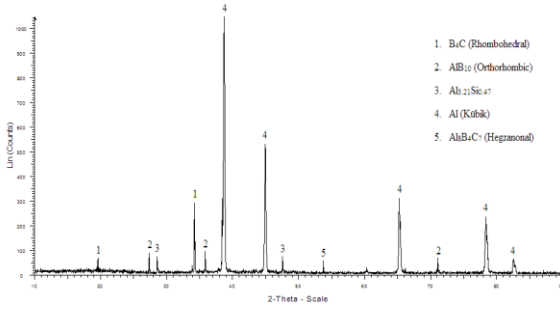


Şekil 13. N3 numunesine ait 3 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.

Tablo 6. N3 numunesine ait 3 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
B	5.17	0.0803	34.48	2.23	49.04
C	1.98	0.1776	5.98	0.62	7.65
O	40.98	0.9144	23.99	0.86	23.06
Al	73.53	1.1235	35.04	1.22	19.97
Si	0.77	0.8050	0.51	0.04	0.28
Totals			100.00		

N3 numunesinin EDS analiz noktalarını gösteren SEM fotoğrafı Şekil 10' da verilmiştir. EDS analizleri numune üzerindeki üç farklı noktadan alınmış ve bu noktaların matris ve karbürlere denk gelmesi sağlanmıştır. N3 numunesine ait EDS analiz grafiği Şekil 11-13' de ve sonuçları Tablo 4-6' da verilmiştir. Bu numuneye ait EDS analiz sonuçları incelendiğinde; 1. Bölgede B, C, Al, Si, elementleri, 2. Bölgede B, C, Al, Si elementleri, 3. bölgede B, C, O, Al, Si, elementleri saptanmıştır. Matris ve takviye üzerinden farklı noktalardan alınan EDS analizlerine baktığımızda; yapı içerisinde bor, alüminyum, silisyum, karbon ve oksijen elementleri tespit edilmiştir. Saf bor karbür kristallerinin hafif parlaksı bir yapıda olduğu gözlemlenmiştir.

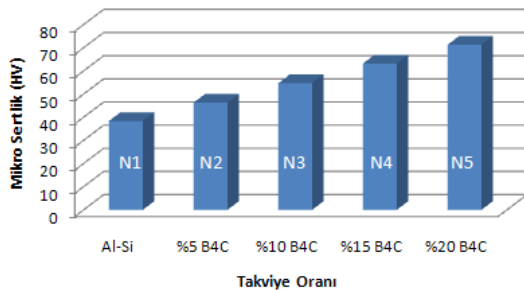


Şekil 14. N2 numunesine ait XRD analiz grafiği

Numunelerden alınan XRD analizi sonuçlarında oluşan faz ve bileşikleri gösteren grafik Şekil 14’ de verilmiştir. Numunelere ait XRD grafikleri incelendiğinde Al (Kübik),  $Al_{3,21}Si_{0,47}$ ,  $B_4C$  (Rhombohedral),  $AlB_{10}$  (Rhombohedral),  $Al_8B_4C_7$  (Hegzanonal), faz ve bileşiklerinin oluştuğu tespit edilmiştir.

### 3.3. Mikrosertlik

Al matris içerisine ilave edilen  $B_4C$  oranına bağlı olarak sertlik değişimini gösteren grafik Şekil 15’ te verilmiştir. Grafikte de görüldüğü gibi en yüksek sertlik değeri %20  $B_4C$  içeren N5 numunesinde 71.3 HV olarak tespit edilmiştir. Grafiğin incelenmesi ile partikül ilave edilmeden sıcak preslenen N1 numunesinde en düşük sertlik değerinin 38.4 HV ölçüldüğü görülmektedir. Matris içerisine  $B_4C$  partikül takviyesi ile numunenin sertlik değeri artmıştır. %5  $B_4C$  partikül takviyeli N2 numunesinden %20  $B_4C$  takviyeli N5 numunesine gidildikçe, partikül takviyesinin artmasıyla sertlik değerinin arttığı görülmüştür.



Şekil 15.  $B_4C$  takviye oranının sertliğe etkisi

## 4. Sonuçlar

1. Al-Si matrisli ve ağırlıkça %5, 10, 15 ve 20  $B_4C$  takviye katkılı kompozitler, 450 MPa basınçta soğuk preslenmiş 590 °C’ de argon atmosferi altında sinterlenerek üretilebilmiştir.
2. SEM incelemelerinde tüm numunelerde matris içindeki takviye dağılımının iyi olduğu görülmüştür.
3. Takviye oranının artması ve takviye parçacık boyutunun küçük olması sonucu porozite değerleri artış göstermiştir.
4. Al-Si üretilen takviyesiz numunenin sertliği ile kıyaslandığında artan  $B_4C$  takviye oranı ile sertlik değerlerinde artış olmuştur.
5. Üretilen numunelerde en yüksek sertlik %20  $B_4C$  takviyeli N5 numunesinde elde edilmiştir.
6. X ışınları kırınımı (XRD) tayini ile numunelerde  $B_4C$ ,  $Al_{3,21}Si_{0,47}$ ,  $AlB_{10}$ ,  $Al_8B_4C_7$  bileşikleri tespit edilmiştir.

## 5. Teşekkür

Bu çalışma FÜBAP tarafından 2093 nolu araştırma projesi kapsamında desteklenmiştir.

## 6. Kaynaklar

1. Özel, S. Çelik, E. ve Turhan, H. (2009). The Investigation of microstructure and mechanical properties of Cu-Al/ $B_4C$  composites produced by using hot pres. e-Journal of New World Sciences Academy Engineering Sciences, 1A0012, 4, (1), 106-112.
2. Yılmaz, R. ve Gökçe, A. (2006). Toz Metalurjisi ile Üretilen düşük alaşımlı çeliklerde Ferro-Titanyum ilavesinin darbe ve kırılma tokluğuna etkisi. 13. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi. İstanbul, ss:903-909.
3. Bostan, B. (2003). Alüminyum-Karbon Tozlarından Mekanik Alaşımlama ve Sonrası İşlemlerle  $Al_4C_3$  Sentezlenmesi. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-10.
4. Şahin, Y. (2006). Kompozit Malzemelere Giriş. Seçkin Kitabevi, Ankara, 28, 61-78
5. Çolak, N. Y. (2011).  $B_4C$  Takviyeli Al-Si Alaşımlarının Yarı Katı-Sıvı Aralığında Şekillendirilmesi ve Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

6. Yetgin, S.H., Köken, A., Aydın, M., Ünal, R. (2005). Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretilmiş Al-B<sub>4</sub>C MMK' lerde Karıştırıcı Tipi ve Takviye Oranının Mekanik ve Mikro yapı Özelliklerine Etkisi, 4. Ulusal Toz Metalurjisi Konferansı, 18-22 Mayıs, Sakarya, 622-631.
7. Lee, B.-S., Kang, S. (2001). Low-temperature Processing of B<sub>4</sub>C-Al Composites Via Infiltration Technique, *Materials Chemistry and Physics*, 67:249-255.
8. Zyang, F. (2002). Multi-Layer Graded Boron Carbide-Aluminum Composites, Doktora Tezi, Purdue Üniversitesi.
9. Kennedy, A. (2002). The microstructure and mechanical properties of Al-Si-B<sub>4</sub>C metal matrix composites. *Manufacturing Engineering and Management*, University of Nottingham, NG7 2RD, UK
10. Akın, G. (2006). Toz Metalurjisi Yöntemiyle Alüminyum Matrisli Bor Karbür Takviyeli Kompozitlerin Üretilmesi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.