

# MEKANOKİMYASAL YÖNTEMLE BOR KARBÜR SENTEZİ VE ALÜMİNYUM MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMEDE KULLANILABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

Duygu ARSLAN\*, Metin GÜRÜ\*\*

\*Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, İnönü Bulvarı No:42 Emek/ANKARA

\*\*Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, 06570 Maltepe/Ankara

[duzun@csgh.gov.tr](mailto:duzun@csgh.gov.tr), [mguru@gazi.edu.tr](mailto:mguru@gazi.edu.tr)

(Geliş/Received: 27.05.2013; Kabul/Accepted: 31.10.2013)

## ÖZET

Bu çalışmada, bor ve karbon reaktiflerinden çıkılarak mekanokimyasal yöntemle bor karbür sentezlenmiş ve bu malzemeden stratejik öneme sahip seramik metalik kompozit malzeme üretilerek dayanımı test edilmiştir. Çalışma 2 aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada, 4 farklı orandaki karbon ve bor elementlerinin inert atmosferde mekanokimyasal reaksiyonla oluşumu gerçekleştirilmiş, elde edilen ürünler 1550°C'de sinterlenerek bor karbür kristalleri oluşturulmuştur. İkinci aşamada, 5 farklı oranda hazırlanmış Al-B<sub>4</sub>C kompozitleri bilyalı değirmende öğütülerek 400 MPa basınçta plaka halinde preslenmiştir. Preslenen Al-B<sub>4</sub>C kompozitler 600°C'de atmosferik ortamda 1 saat süreyle sinterlendikten sonra sertlik ölçümleri yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda optimum parametrelere sahip numune argon atmosferinde 120 dakika boyunca sinterlenerek hazırlanmış, B/C oranı 4/1 olan, %50 takviye katkılı kompozit numunesi olarak belirlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Mekanokimyasal reaksiyon, bor karbür, kompozit malzeme

## PRODUCTION OF BORON CARBIDE BY MECHANOCHEMICAL METHOD AND INVESTIGATION OF USABILITY ON THE ALUMINIUM BASED COMPOSITE MATERIAL

### ABSTRACT

In this study, boron carbide has been synthesized using boron and carbon elements. Ceramic-metallic composite material produced and tested from this material. The study established two phases. At the first stage, carbon and boron elements, which 4 different ratio, are produced in inert atmosphere with mechanochemical reaction. Products are sintered at 1550° C for the formation of boron carbide crystals. At the second stage, 5 different rates of Al-B<sub>4</sub>C composites prepared by making a uniform ball mill, pressed into the plate 400 MPa pressure. After Al-B<sub>4</sub>C composites pressed at 600 ° C for 1 hour at atmospheric environment, their hardness measurements were carried out. At the end of the study, the sample which was sintered during 120 min in argon atmosphere, B/C ratio is 4/1 and 50% reinforced composite are chosen optimum parameters.

**Keywords:** Mechanochemical reaction, boron carbide, composite material

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Yirminci yüzyılın ikinci yarısında dünya ekonomisine önemli ölçekte pazar payıyla giren ileri teknoloji seramikleri, polimer, metal ve kompozitler olarak yüksek safiyette, yüksek teknik performansa ve ileri bilgi içeriğine sahip, çeşitliliği olan yüksek katma değerli malzemeler, ileri teknoloji malzemeleri olarak tarif edilebilir [1]. Alumina, silisyum nitür, silisyum

karbür, elmas gibi pek çok sert ileri teknolojik seramik malzemeler içerisinde bor karbür bileşiğinin özel bir yeri vardır. Bor karbür elmas ve kübik bor nitürden sonra gelen en sert malzemedir. Bu özelliğinin yanı sıra, birçok kimyasal reaksiyona karşı dayanımı ve düşük yoğunluğu önemli özelliklerindedir. İçerik bakımından yaklaşık % 80 bor ihtiva eden bor karbür yüksek ergime noktası, iyi kimyasal ve fiziksel kararlılığından dolayı nötronların

absorbe edilmesinde etkin ve ekonomik kullanıma sahiptir. Bu özellikleri ile bor karbür, kesici alet yapımında özel uç oluşturmada, zırh malzemesi yapımında, kompozit malzeme üretiminde, nükleer reaktörlerde, sondaj makinelerinde önemli kullanım alanlarına sahiptir. Ayrıca, bor karbür takviyeli kompozit malzemeler yüksek özgül mukavemetleri nedeniyle kullanılmakta ve kompozitin toplam ağırlığı artırılmaksızın mekanik özellikleri geliştirilebilmektedir [2]. Son yıllarda, alüminyum matrisli kompozitler yaygın olarak araştırılmakta ve endüstriyel uygulamalarda kullanılmaktadır. Alüminyumun yaygın kullanımı, düşük yoğunluğu ve maliyetinin ucuz olması nedeniyle artmaktadır. Ayrıca, korozyon direnci, düşük elektriksel direnç ve mükemmel mekanik özelliklerinden dolayı metal matrisleri kompozitlerin üretimi için cazip bir malzemedir [3,4]. Bu özelliklere ilaveten hafifliği, sinterlenmiş alüminyum ürünlerinin düşük presleme basıncı ve sinterleme sıcaklığından kaynaklanan enerji tasarrufu, alüminyum matrisli kompozitlerin tercih edilmesine sebep olmuştur [5,6].

Bu çalışmanın birinci aşamasında elementel bor ve karbondan yola çıkılarak mekanokimyasal yöntemle bor karbür üretilmiştir. İkinci aşamasında ise üretilen bor karbür takviye eleman olarak kullanılarak alüminyum matrisli kompozit malzeme üretilmiş ve optimum üretim parametreleri belirlenerek karakterizasyon çalışmaları yapılmıştır.

## 2.MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

Yapılan deneysel çalışmada, mekanokimyasal yöntemle elementel bor ve karbondan bor karbür üretilmiştir. Bor karbür üretiminde Alfa Aesar marka, %98 saflıkta bor ve Eti Maden İşletmeleri'nden temin edilen karbon kullanılmıştır.

İlk aşamada, 4 farklı orandaki (4/1, 5/1, 6/1 ve 7/1) karbon ve bor elementlerinin inert atmosferde mekanokimyasal reaksiyonla oluşumu gerçekleştirilmiştir. Elde edilen ürünler 1550°C'de 1 saat sinterlenerek bor karbür kristalleri oluşturulmuştur. Elde edilen ürünlere FT-IR ve XRD analizi yapılarak kullanılması gereken B/C oranı belirlenmiştir.

Deneysel çalışmanın ikinci aşamasında matris malzemesi olarak Merck'den temin edilen ve kimyasal kompozisyonu Çizelge 1'de verilen alüminyum tozu kullanılmıştır.

**Çizelge 1.** Matris malzemesi olarak kullanılan alüminyum tozlarının kimyasal kompozisyonu (%) (Chemical rate of aluminium dust which are using with based material)

Element	Al	Pb	As	Fe
Kütlece	90	0,03	0,0005	1

Bu aşamada takviye eleman olarak üretilen ve optimum şartlara sahip olan bor karbür kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda, 5 farklı oranda hazırlanmış (%0, %20, %30, %40, %50) Al-B<sub>4</sub>C kompozitleri bilyalı değirmende mekanik öğütülerek, 400 MPa basınçta plaka şeklinde preslenmiştir. Preslenen alüminyum kompozitler 600°C'de 1 saat sinterlendikten sonra sertlik ölçümleri yapılmıştır. Takviye fazına karar verildikten sonra, sinterleme süresinin ve ortamının alüminyum kompozit malzemenin sertliği üzerindeki etkisi incelenmiş ve yoğunlukları ölçülmüştür. Son olarak SEM ve EDS incelemeleri yapılarak parçacıkların matris içindeki dağılımları incelenmiştir.

## 3. SONUÇLAR ve TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

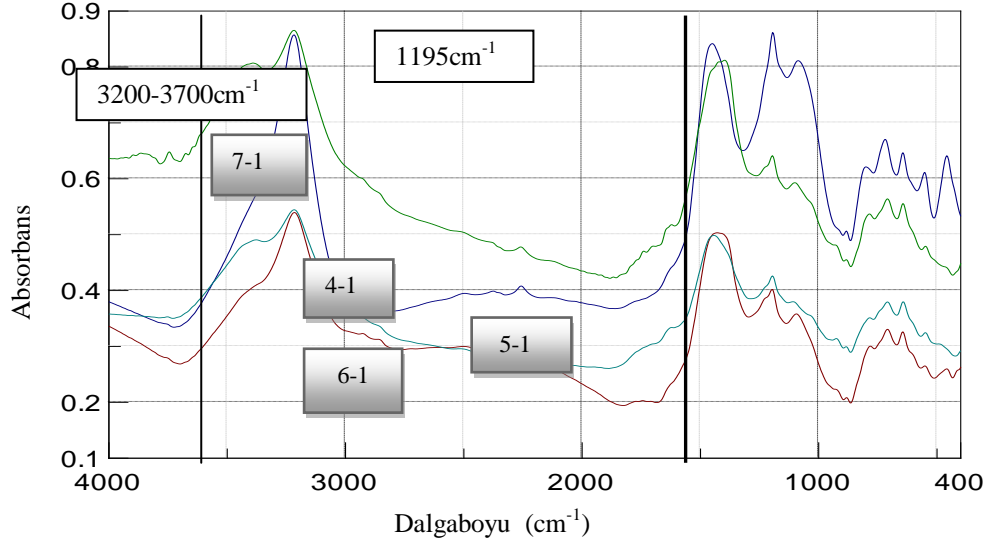
### 3.1. Fourier transform infrared spektrumu (FT-IR) sonuçlarının incelenmesi (Examination of FT-IR results)

Deneysel çalışmada belirtilen oranlarda hazırlanan numuneler bilyalı değirmende 800 dakika öğütülmüş, ardından 1550°C'de argon atmosferinde 1 saat sinterlenmiş ve FT-IR analizi yapılarak pik şiddetleri incelenmiştir. En kuvvetli pike literatürü destekler biçimde reaktant oranı 4/1 olan numunede rastlanmıştır. Hazırlanmış B<sub>4</sub>C numunelerinin toplu haldeki FT-IR spektrumları Şekil 1'de verilmiştir.

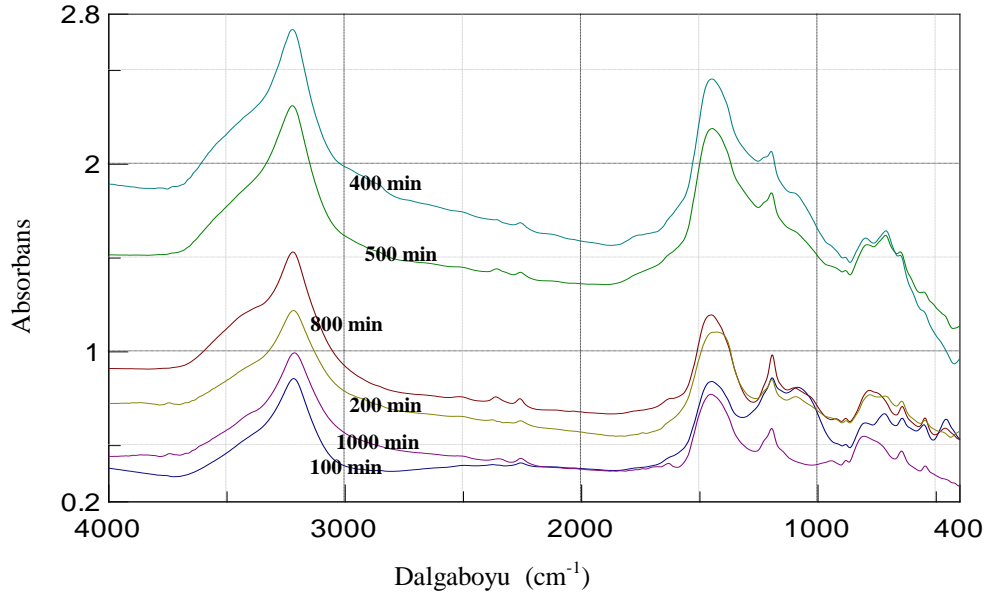
**Çizelge 2.** Farklı reaktant oranlarındaki bor karbür numunelerinin pik boyları ve alanları (Pic sizes and areas of Boron carbide samples which are different rates)

B/C oranları	Pik Boyları(P <sub>1</sub> /P <sub>2</sub> ) (br)	Pik Alanları (br <sup>2</sup> )
4/1	0,119	7,16
5/1	0,055	3,56
6/1	0,046	2,54
7/1	0,044	1,24

Çizelge 2'den görüldüğü gibi, en şiddetli pik B/C mol oranı 4/1 olan numunede elde edilmiştir. Bu sebeple süre optimizasyonunda bu numune baz alınmıştır. B/C mol oranı 4/1 olarak belirlendikten sonra hazırlanan bor ve karbon karışımı 100, 200, 400, 500, 800 ve 1000 dakika boyunca bilyalı değirmende mekanik öğütülerek, süre optimizasyonu yapılmıştır. Yapılan çalışmanın sonucunda elde edilen FT-IR spektrumları Şekil 2'de, boy ve alanları ise Çizelge 3'de verilmiştir.



Şekil 1. Bor karbür numunelerinin FT-IR spektrumları (FT-IR spectrums of boron carbides)



Şekil 2. Farklı öğütme sürelerinde (100,200,400,500,800 ve 1000 dakika) elde edilen FTIR spektrumları (FT-IR spectrums of different grinding time (100,200,400,500,800 and 1000 min))

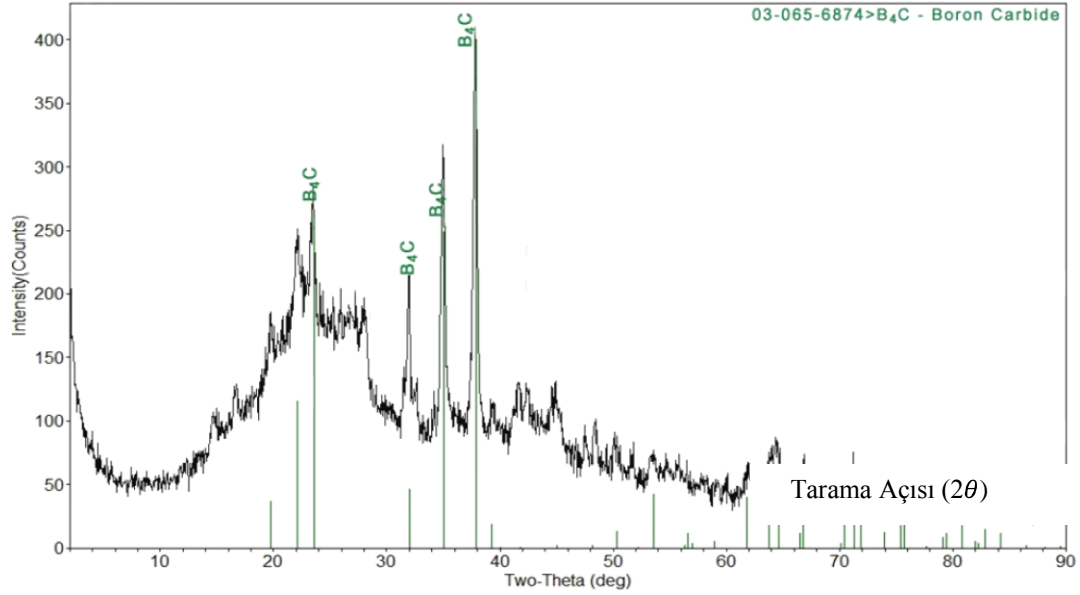
**Çizelge 3.** Farklı öğütme sürelerinde elde edilen FTIR spektrumlarının pik boyları ve alanları (Pic sizes and areas of FT-IR spectrums obtained different grinding time)

Öğütme Süresi(dakika)	Pik Boyları( $P_1/P_2$ )	Pik Alanları
100	0,968	5,87
200	0,763	6,01
400	0,982	6,19
500	0,997	6,77
800	0,119	7,16
1000	0,109	7,01

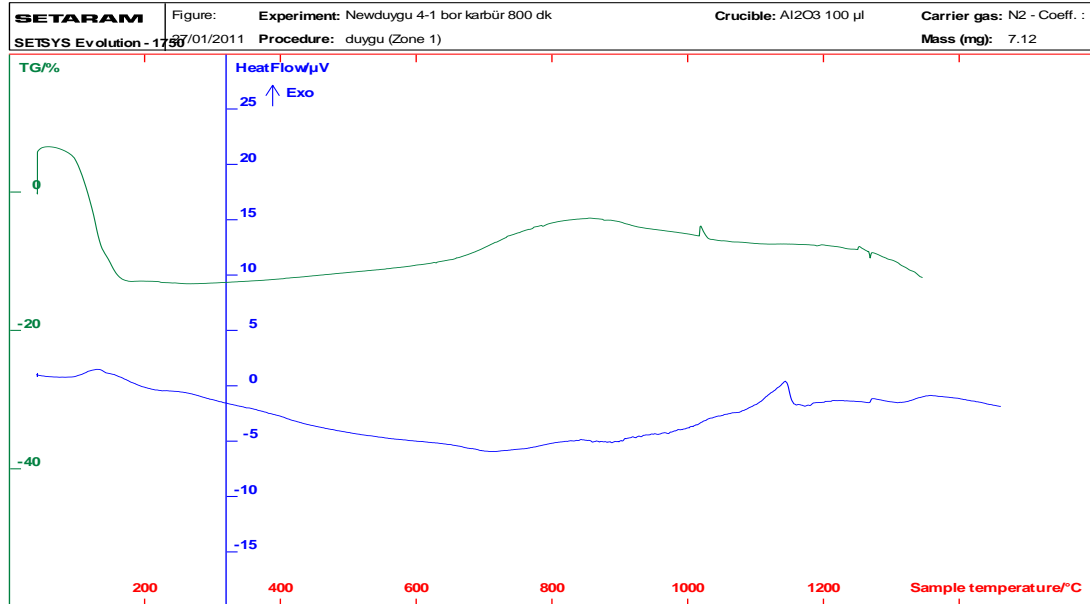
Çizelge 3'den de görüldüğü gibi süre optimizasyonu çalışması sonucunda en şiddetli pik 800 dakika mekanik öğütülen numunede elde edilmiştir.

#### 4.2. X ışını kırınımı (XRD) sonuçlarının incelenmesi (Examination of XRD results)

B/C oranı 4/1 olan, 800 dakika öğütülerek hazırlanan  $B_4C$  numunesinin XRD sonucu Şekil 3' de verilmiştir. XRD analizi sonucunda farklı teta açılarında meydana gelen piklerin rombohedral yapıdaki  $B_4C$  numunesine ait olduğu belirlenmiştir [1].



Şekil 3. B/C oranı 4/1 olan  $B_4C$  numunesinin XRD grafiği (XRD graph of  $B_4C$  which B/C ratio is 4/1)



Şekil 4. B/C oranı 4/1 olan  $B_4C$  numunesinin TGA-DTA analiz grafiği (TGA-DTA graph of  $B_4C$  which B/C ratio is 4/1)

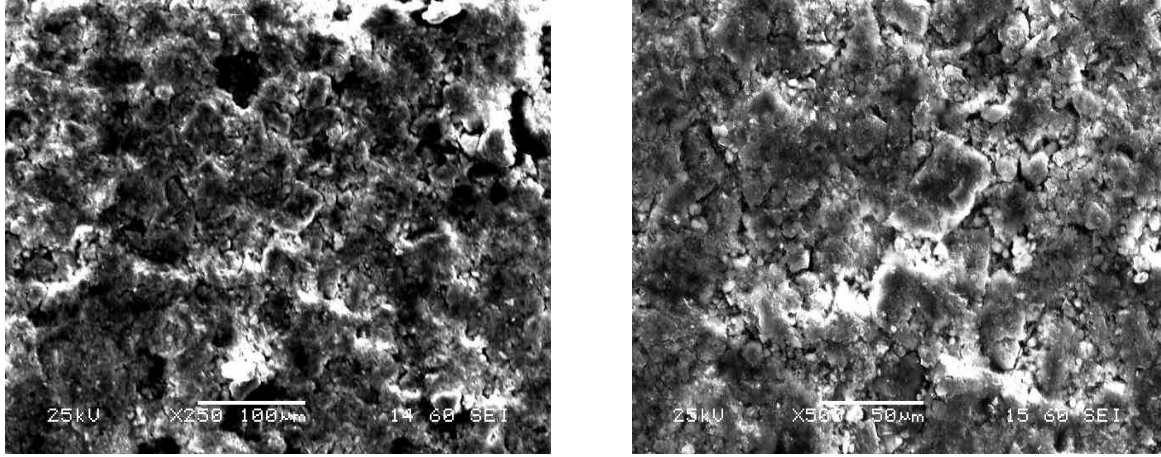
#### 4.3. Termal analiz (TGA-DTA) sonuçlarının incelenmesi (Examination of TGA- DTA results)

Şekil 4’den de görüldüğü gibi malzeme kütleinde ilk 200°C de yaklaşık %15’lik bir azalma meydana gelmiştir. Bu kütle kaybının sebebi ise malzemenin yapısındaki bağıl nemin ısı ile uzaklaşmasından kaynaklanmaktadır. Çalışılan en yüksek sıcaklığa kadar bor karbürün kararlı yapıya sahip olduğu ve bu sıcaklıkta herhangi bir bozunuma uğramadığı gözlenmiştir.

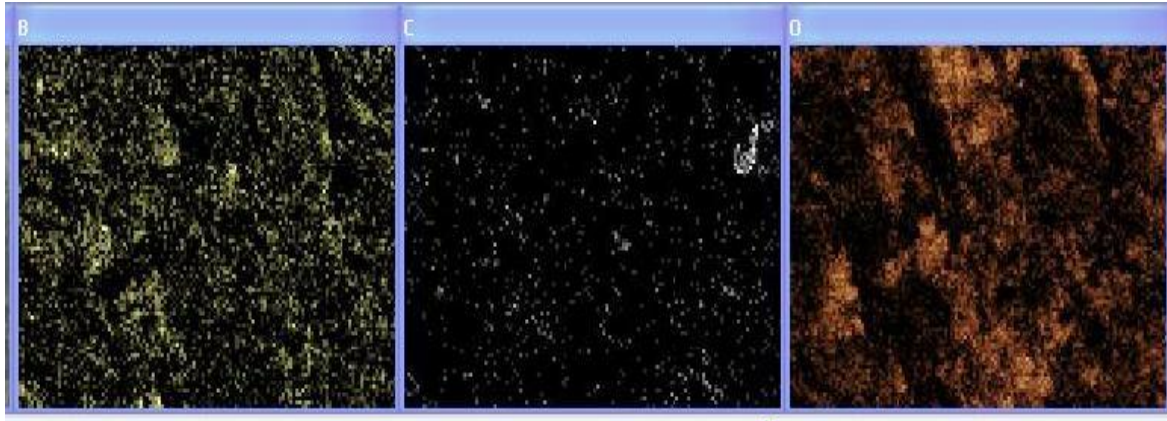
#### 4.4. Mikroyapı İncelemeleri (Examination of micro structure)

Optimum parametrelere sahip (B/C mol oranı 4/1) ve 1550°C’de sinterlenmiş bor karbür numunesine ait SEM görüntüsü Şekil 5’de, EDS analizi de Şekil 6’da verilmiştir.

Şekil 5’de verilen SEM görüntüsünde, bor karbür parçacıklarının homojen dağılım gösterdikleri, tane büyümesi ve topaklanma olmadığı görülmüştür.



**Şekil 5.** B/C oranı 4/1 olan B<sub>4</sub>C numunesinin SEM görüntüsü (SEM picture of B<sub>4</sub>C which B/C ratio is 4/1 )  
a.250 kat b.500 kat



**Şekil 6.** B/C oranı 4/1 olan B<sub>4</sub>C numunesinin EDS analiz haritası (EDS analysis maps of B<sub>4</sub>C which B/C ratio is 4/1)

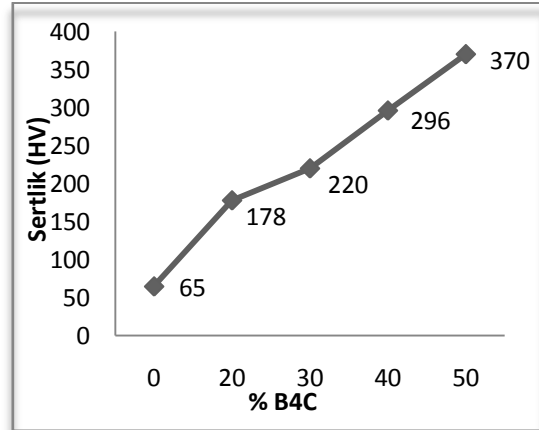
Şekil 6’da verilen EDS sonuçları incelendiğinde, sinterlenmiş bor karbür numune içerisinde bor, karbon ve oksijen bulunduğu ve bu elementlerin dağılımının da homojen olduğu gözlenmiştir. Malzeme kolay oksitlenebildiğinden dolayı önemli derecede oksijen kirlenmesine rastlanmıştır.

#### 4.5. Sertlik sonuçlarının incelenmesi (Reserch of hardness results)

Farklı oranlarda hazırlanan Al-B<sub>4</sub>C kompozitler, 600° C’de 1 saat atmosferik ortamda sinterlendikten sonra sertlik ölçümleri yapılmıştır. Sinterlenen numunelerin sertlik ölçüm sonuçları Şekil 7’ de verilmiştir.

Şekil 7’de verilen sertlik sonuçlarına göre, takviye fazı arttıkça MMK malzemelerin sertliğinin arttığı görülmektedir. Üretilen Al-B<sub>4</sub>C kompozit malzemelerinin sertliğinin 178 HV (%20 B<sub>4</sub>C) ile 370 HV (%50 B<sub>4</sub>C) arasında değiştiği belirlenmiştir.

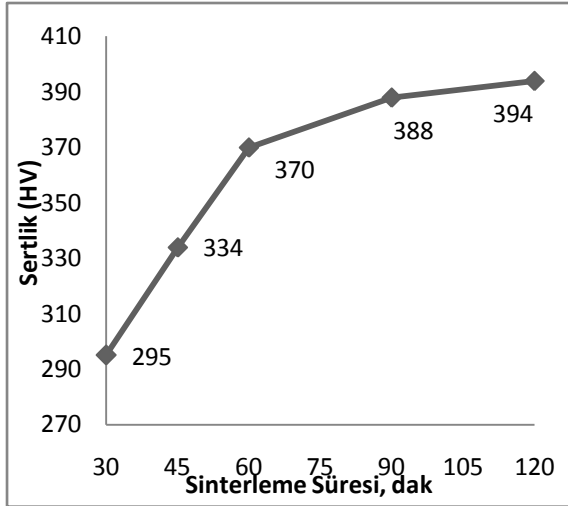
Takviye tozu kullanılmayan saf Al’nin sertlik değeri ise 65 HV olarak ölçülmüştür. Sünnek bir matrisle çevrili olan B<sub>4</sub>C parçacıklarının yüksek sertliğinden dolayı, kompozit malzemelerin sertliğini arttırmaktadır [7].



**Şekil 7.** Takviye fazındaki artışa bağlı sertlik değerleri (changing hardness values according to growing reinforcement rates)

Sinterleme süresinin kompozit sertliği üzerindeki etkisinin incelenmesi amacıyla numuneler 600°C de 30, 45, 60, 90 ve 120 dakika sinterlendikten sonra sertlikleri ölçülmüştür. Takviye oranı %50 olan alüminyum kompozit malzemelerin farklı sinterleme sürelerinden sonra elde edilen sertlik değerleri Şekil 8’de verilmiştir.

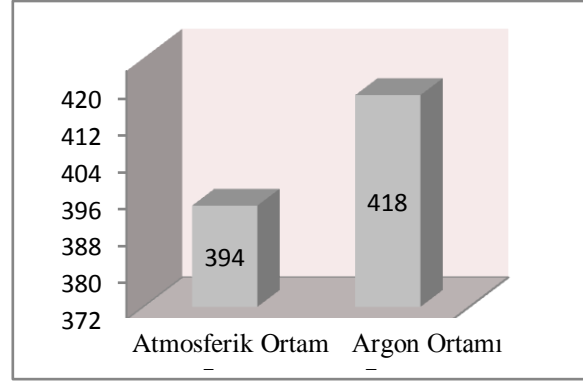




**Şekil 8.** Sinterleme süresinin artmasına bağlı olarak değişen sertlik değerleri (changing hardness values according to sintering time)

Şekil 8’de verilen sertlik değerleri incelendiğinde, ağırlık olarak %50 B<sub>4</sub>C takviye fazı ilave edilen alüminyum kompozit için sinterleme süresi arttıkça sertliğin de arttığı görülmüştür. Sertlikteki artışın nedeni ise sinterlemenin hala devam etmesi ve mekanik olarak birbirini kitleyen toz taneleri arasındaki gözeneklerin, sinterleme süresi arttıkça daha da azalmasından kaynaklanmaktadır. Kompozitlerin sinterleme süresi 60 dakikaya yaklaştıkça sertlikte meydana gelen belirgin artış, süredeki artışa rağmen (120 dakika) daha yatay bir davranış sergilemektedir. 60 dakikalık sinterleme sırasında 370 HV sertlik elde edilirken, 120 dakikalık sinterleme sonrasında sertliğin 394 HV’ye ulaştığı belirlenmiştir. Ayrıca deneysel çalışmalarda sinterleme ortamının alüminyum kompozit malzemelerin sertliği üzerindeki etkisi de incelenmiştir. Bunun için %50 takviye katkılı kompozit 2 saat süreyle hem atmosferik ortamda hem de argon ortamında sinterlenmiştir. Farklı ortamlar kullanılarak sinterlenen numunelerden elde edilen sertlik değerleri Şekil 9’da verilmiştir.

Argon ortamında sinterlenen numunelerin sertliğinin atmosferik ortamda sinterlenen numunelerden daha fazla sertlik artışı sağladığı belirlenmiştir. Şekil 9’da



**Şekil 9.** %50 B<sub>4</sub>C takviyeli alüminyum kompozitin için farklı ortamlarda sinterlenmesi sonucu ölçülen sertlik değerleri (Hardness values different sintering times for 50% B<sub>4</sub>C composite)

bu durum açıkça görülmektedir. Atmosferik ortamda sinterlenen %50 B<sub>4</sub>C takviyeli alüminyum kompozit malzemelerin sertlik değeri 394 HV olarak ölçülürken, argon ortamında sinterlenen B<sub>4</sub>C takviyeli alüminyum kompozitlerin sertlikleri 418 HV olarak ölçülmüştür. Farklı ortamlarda sinterlenen aynı kimyasal bileşime sahip numunelerin sertlikleri arasındaki bu farkın, atmosferik ortamda sinterleme esnasında alüminyumun oksitlenmeden dolayı Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>’e dönüşmesinden kaynaklanmaktadır. Yapıda oluşan bu fazın malzeme içerisindeki toz taneleri arasındaki bağlanma kabiliyetini azaltması, sertlikte azalmanın meydana gelmesine sebep olmaktadır.

#### 4.6. Yoğunluk sonuçlarının incelenmesi (Research of density results)

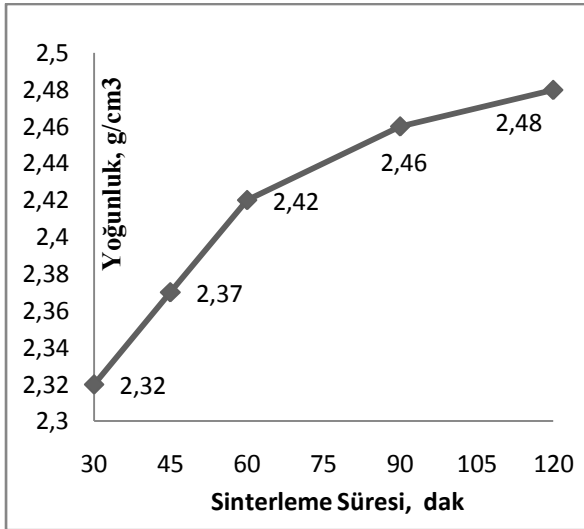
Soğuk preslenmiş ve sinterlenmiş numunelerin yoğunluğu, hazırlanan alüminyum kompozit parçaların kütle ve hacimleri hesaplanarak belirlenmiştir. Gerçek ve teorik yoğunluk değerleri Çizelge 4’de verilmiştir.

Çizelge 4’den de görüldüğü gibi kompozit içerisinde artan B<sub>4</sub>C takviye fazı oranına paralel olarak gerçek yoğunluk değerlerinde artış gözlenmiştir.

Al-B<sub>4</sub>C kompozit malzeme üretiminde (%50 B<sub>4</sub>C) değişen sinterleme sürelerinin ölçülen yoğunluk değerleri üzerine etkisi Şekil 10’da gösterilmiştir.

**Çizelge 4.** Artan B<sub>4</sub>C takviye fazı oranına göre değişen teorik ve gerçek yoğunluk değerleri (Theoric and real density values according to growing B<sub>4</sub>C reinforcement rate)

Takviye Oranı %	Teorik Yoğunluk g/cm <sup>3</sup>	Gerçek Yoğunluk g/cm <sup>3</sup>	Gerçek Yoğunluk/ Teorik Yoğunluk
20	2,66	2,15	0,807
30	2,65	2,22	0,839
40	2,62	2,34	0,893
50	2,60	2,42	0,930



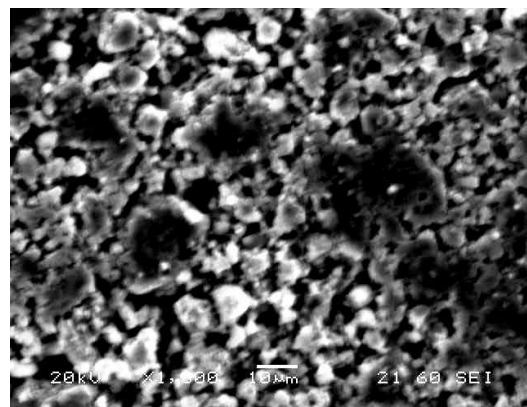
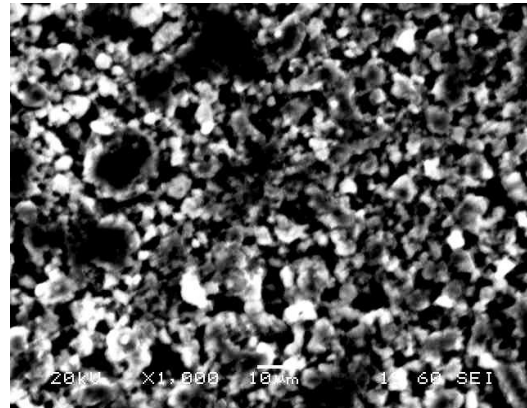
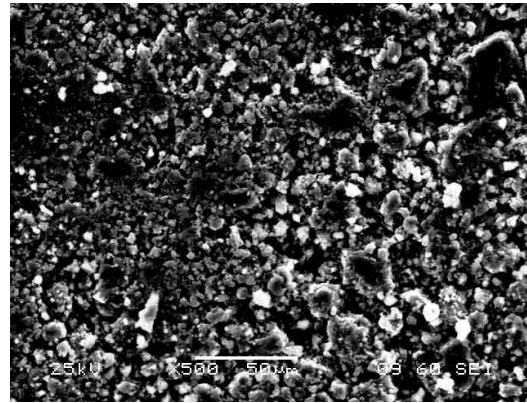
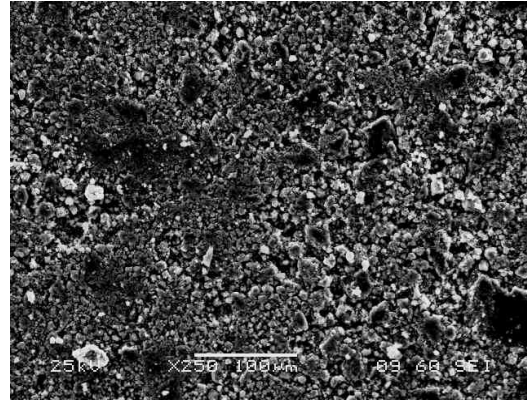
**Şekil 10.** %50 B<sub>4</sub>C takviye katkılı kompozit için değişen sinterleme sürelerinde ölçülen yoğunluk değerleri (density values measured changing sintering time for %50 B<sub>4</sub>C composite)

Şekil 10'dan da görüldüğü gibi, sinterleme süresinin artmasına paralel olarak yoğunlukta da bir artış meydana gelmektedir. Bu artışın sebebi, sinterleme sırasında tozların spesifik yüzey alanının küçülmesi, parçacık temas noktalarının büyümesi ve buna bağlı olarak gözenek hacminde küçülmenin meydana gelmesidir. Bu nedenle sinterleme süresi arttırıldığında, yüksek sıcaklıkta tozlar birbirine daha iyi bağlandığından dolayı, gözenekler azalarak daha yoğun malzeme elde edilmektedir [8,9].

#### 4.7. Mikroyapı İncelemeleri (Research of micro structure)

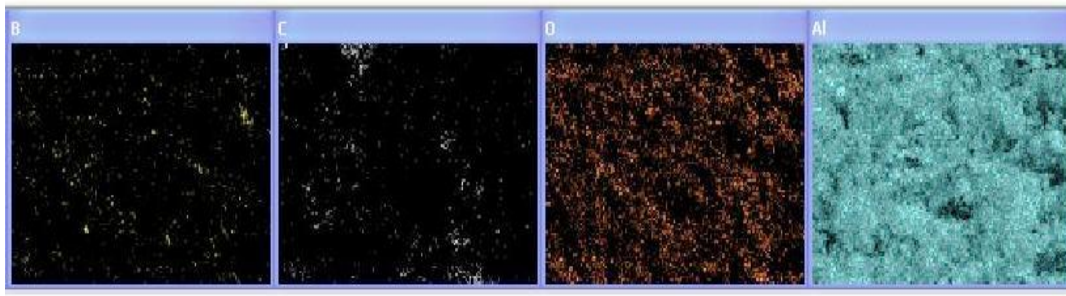
Optimum parametrelere sahip olan ağırlık bazında %50 takviye fazı katkılı, argon atmosferinde sinterlenmiş, Al-B<sub>4</sub>C kompozit malzemenin sırasıyla SEM görüntüleri Şekil 11'de, EDS sonuçları ise Şekil 12'de verilmiştir.

Şekil 11'de verilen SEM görüntülerinde B<sub>4</sub>C parçacıklarının matris içinde uniform dağılım gösterdikleri görülmektedir [10]. Matris fazı olan alüminyumun bor karbür parçacıklarının etrafını sardığı için kompozit malzemenin mukavemetini arttırmaktadır[11].

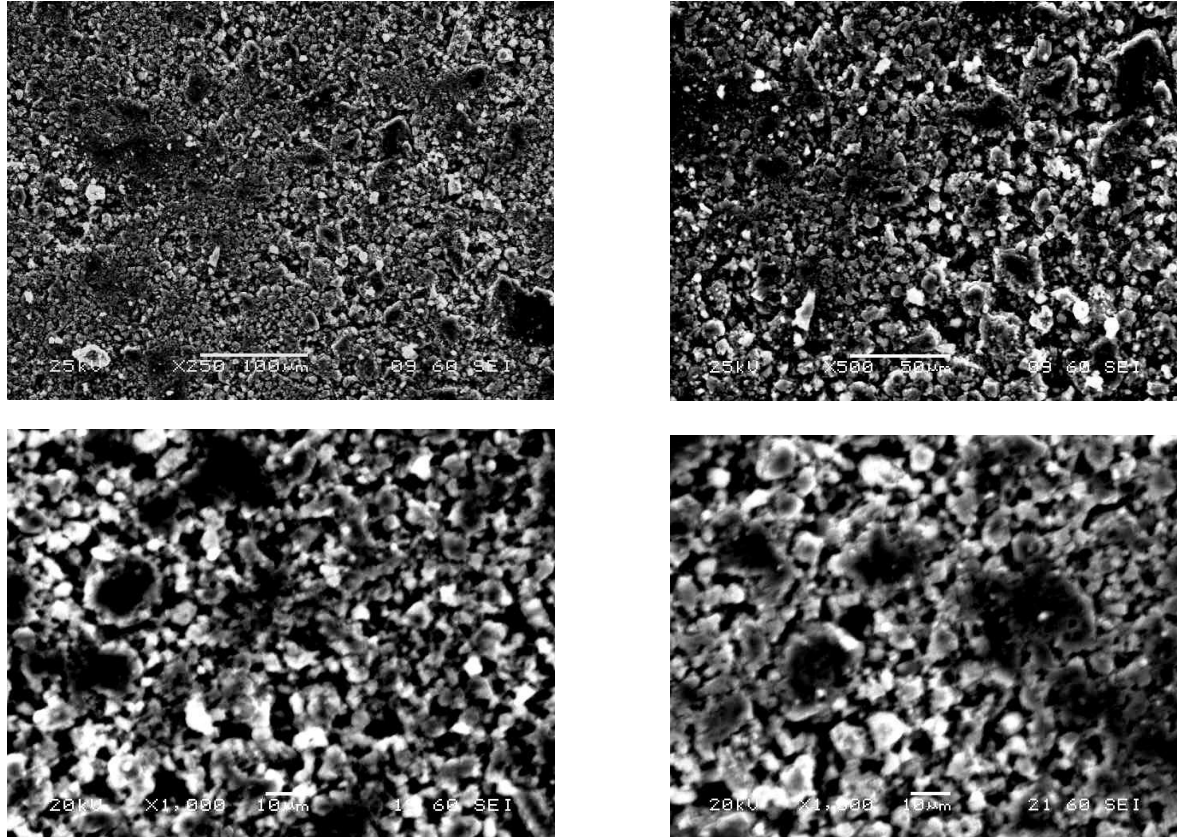


**Şekil 11.** %50 takviye katkılı Al-B<sub>4</sub>C kompozitinin SEM görüntüleri(SEM images of Al-B<sub>4</sub>C composites %50 composite)

a. 250 kat b. 500 kat c. 1000 kat d. 2000 kat



**Şekil 12.** %50 takviye katkılı Al-B<sub>4</sub>C kompozitinin EDS analiz haritası (EDS anlysis maps for %50 Al-B<sub>4</sub>C composites)



**Şekil 13.** %50 takviye katkılı Al-B<sub>4</sub>C kompoziti için 4 farklı sinterleme süresinde elde edilen SEM görüntüleri a.45 dakika b. 60 dakika c. 90 dakika d. 120 dakika (SEM images for Al-B<sub>4</sub>C four different sintering time a. 45 min b. 60 min c. 60 min d. 90 min)

Şekil 13'de sinterleme süresinin artmasına paralel olarak kompozit malzemenin mikroskop görüntülerinde meydana gelen değişim görülmektedir. Şekilde sinterleme süresi arttıkça tozların spesifik yüzey alanının küçülmesine bağlı olarak, parçacık temas noktalarının büyüdüğü görülmektedir. Bu durum gözeneklerin azalmasına ve dolayısıyla da alüminyum kompozit malzemenin mukavemetinde artışa sebep olmaktadır [12].

## 5. SONUÇLAR (CONCLUSION)

Çalışmanın birinci aşamasında stokiometrik oranın belirlenmesi için yapılan FTIR analizi sonucunda en şiddetli pik, B/C oranı 4/1, 5/1 ,6/1 ve 7/1 olan numuneler arasında, reaktant oranı 4/1 olan B<sub>4</sub>C

numunesinde kaydedilmiştir. Stokiometrik oranda hazırlanan bor ve karbon karışımı 100, 200, 400, 500, 800 ve 1000 dakika bilyalı değirmende öğütülerek yapılan süre optimizasyonu çalışması sonucunda yapılan FTIR analizine göre en kuvvetli pik öğütme süresi 800 dakika olan B<sub>4</sub>C numunesinde elde edilmiştir. 800 dakikaya kadar pik boy ve alanlarında artış gözlenirken, 800 dakikadan sonra düşüş gözlenmiştir.

Çalışmanın ikinci aşamasında farklı oranlarda hazırlanmış Al-B<sub>4</sub>C kompozitleri 600° C'de atmosferik ortamda 1 saat süreyle sinterlendikten sonra yapılan sertlik ölçümlerinde, takviye fazı arttırdıkça MMK malzemelerin sertliğinin arttığı görülmüştür. En



yüksek sertlik değeri (%50 takviye katkılı kompozitte) 370 HV olarak ölçülmüştür.

Farklı oranlarda hazırlanan Al-B<sub>4</sub>C kompozitleri için yapılan yoğunluk ölçüm sonuçlarında kompozit içerisinde artan takviye oranına paralel olarak gerçek yoğunluk değerlerinde artış gözlenmiştir. %50 takviye katkılı kompozit için teorik yoğunluk değeri 2,60 g/cm<sup>3</sup> iken, gerçek yoğunluk değeri 2,42 g/cm<sup>3</sup> olarak ölçülerek teorik yoğunluk değerine %93 oranında yaklaşılmıştır.

Farklı oranlarda hazırlanan kompozit malzemeler için yapılan SEM ve EDS incelemeleri sonucunda parçacıkların matris içinde uniform dağılım gösterdikleri görülmüştür. Matriste, bor karbürde ve ara yüzeyde herhangi bir çatlak, topaklanma gözlenmemiştir. Fakat EDS analiz sonucunda malzemede önemli derecede oksijen kirlenmesi olduğu tespit edilmiştir.

B/C oranı 4/1 olan, %50 oranında argon atmosferinde 120 dakika boyunca sinterlenerek hazırlanmış sertlik değeri 418 Hv, yoğunluk değeri 2,48 g/cm<sup>3</sup> olan numune olarak tespit edilmiştir.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Karaçay, E., Alp, E., Cabbar H.C., "Boron Carbide Production by Sol-Gel Method and Its Characterization", **Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University**, 27(2), 417-428, 2012.
2. Pul, M., Calin, R., Citak, R., "An Investigation of Surface Quality of Turning in Al matrix MgO Reinforced Composite Materials" , **Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University**, 26(1), 81-88, 2011.
3. Tosun, N., Kuru, C., Altintas, E., " Investigation Of Surface Roughness In Milling With Air And Conventional Cooling Method" ,**Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University**, 25(1), 141-146, 2010.
4. Tuncer, N., Tasdelen, B., Arslan, G., "Effect of Passivation And Precipitation Hardening On Processing And Mechanical Properties Of B<sub>4</sub>C-Al Composites", **Ceramics International**, 37(7), 2861-2867, 2011.
5. Arslan, G., Kalemtaş, A., "Processing Of Silicon Carbide-Boron Carbide-Aluminium Composites", **Journal Of The European Ceramic Society**, 29(3), 473-480, 2009.
6. Ayas, E., Kalemtaş, A., Arslan, G., "Spark Plasma Sintering of Silicon Nitride-Boron Carbide Composites", **Key Engineering Materials**, 403:225-226, 2009.
7. Mohanty, R., Balasubramanian, K., Seshadri, S., "Boron carbide-reinforced aluminum 1100 matrix composites: Fabrication and properties", **Materials Science and Engineering**, 498:42-52, 2008.
8. Yue, X., Wang, J., Yu, S., " Microstructure And Mechanical Properties Of A Three-Layer B<sub>4</sub>C/Al-B<sub>4</sub>C/TiB<sub>2</sub>- B<sub>4</sub>C Composite", **Materials & Design**, 46:285-290, 2013.
9. Yue, X., Wang, J., Li, X., "Microstructures and mechanical properties of a two-layer B<sub>4</sub>C/Al-B<sub>4</sub>C/TiB<sub>2</sub> composite", **Materials Science and Engineering A-Structural Materials Properties Microstructure and Processing**, 559:719-724, 2013.
10. Bilen M., Mergen A., Gürü M., Alıcılar A., "Infiltration of Al Alloys into MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> under Different Atmospheres", **Key Engineering Materials**, Vols 264-268, 1795-1798, 2004.
11. Alp, E., Karacay, E., Cabbar, H.C., "Low Temperature Production of Boron Carbide And Its Characterization", **Journal Of The Faculty Of Engineering And Architecture Of Gazi University**, 28(2), 293-302, 2013.
12. Kovalchenko, M. S., Tkachenko, Yu. G., Yurchenko, D. Z., "Kinetics Of Nonisothermal Hot Pressing Of Boron Carbide Powder And Its Mixtures With Alumina And Additions Of Metallic Aluminum", **Powder Metallurgy And Metal Ceramics**, 50:677-682, 2012.

