

## BN İlavesinin Sıkıştırma Döküm Yöntemi ile Üretilen B<sub>4</sub>C/Al Hibrit Kompozitlerin Mekanik Özellikleri Üzerine Etkileri

Mehmet İPEKOĞLU<sup>\*1</sup>, Amin NEKOUYAN<sup>2</sup>, Önder ALBAYRAK<sup>3</sup>,  
Sabri ALTINTAŞ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Türk-Alman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul

<sup>2</sup>Boğaziçi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, İstanbul

<sup>3</sup>Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Mersin

Geliş tarihi: 12.05.2020

Kabul tarihi: 23.10.2020

### Öz

Yürütülen çalışma kapsamında, bor nitrid (BN) ilavesinin bor karbür (B<sub>4</sub>C) ile güçlendirilmiş alüminyum (Al) kompozitlerinin mekanik özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Ağırlıkça %5 B<sub>4</sub>C katkı olarak hazırlanan alüminyum matriks kompozit malzemelere ağırlıkça %3, %5 ve %10 BN ilave edilerek ve 75 MPa basınç altında sıkıştırma döküm yöntemi ile döküm işlemi gerçekleştirilerek BN-B<sub>4</sub>C/Al hibrit kompozit malzeme üretilmiştir. Kontrol ve karşılaştırma amacıyla, BN ve B<sub>4</sub>C ilavesi olmaksızın alüminyumdan elde edilen numuneler kullanılmış; BN ve B<sub>4</sub>C ilavesinin üretilen malzemelerin yoğunlukları üzerine etkileri ve ortalama talaş uzunlukları incelenmiştir. BN katkısının mekanik özellikler üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla, sertlik ölçümleri gerçekleştirilmiş; malzemelerin akma dayanımları, çekme dayanımları ve yüzde uzama miktarları çekme testi yardımıyla belirlenmiş ve karşılaştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Alüminyum, Bor nitrid, Bor karbür, Sıkıştırma döküm, Mekanik özellikler

### Effect of BN Addition on the Mechanical Properties of B<sub>4</sub>C/Al Hybrid Composites Produced via Squeeze Casting Method

### Abstract

In this study, effects of boron nitride (BN) addition on the mechanical properties of boron carbide reinforced (B<sub>4</sub>C) aluminum (Al) composites were investigated. 3, 5 and 10 wt. %BN were added to Al matrix composites reinforced with 5% B<sub>4</sub>C and melts were cast by squeeze casting technique under 75 MPa casting pressure to produce BN-B<sub>4</sub>C/Al hybrid composites. Control samples were prepared without any BN and B<sub>4</sub>C addition for comparison purposes and effect of BN and B<sub>4</sub>C addition on the density and chip lengths of the produced materials were obtained. In order to determine the effect of BN addition on the mechanical properties hardness measurements were conducted and the yield and ultimate tensile strengths and per cent elongation values were determined by tensile testing and results were compared.

**Keywords:** Aluminum, Boron nitride, Boron carbide, Squeeze casting, Mechanical properties

\*Sorumlu yazar (Corresponding author): Mehmet İPEKOĞLU, [ipekoglu@tau.edu.tr](mailto:ipekoglu@tau.edu.tr)

## 1. GİRİŞ

Metal bir malzemeye takviye amacıyla farklı malzemelerden oluşan parçacık veya fiberlerin eklenmesiyle üretilen metal matriks kompozitler, özellikle malzeme ağırlığının önem taşıdığı alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır [1-3]. Bu tür kompozitlerin üretiminde temel amaç; malzemenin sünekliği ve tokluğu korunurken akma ve çekme dayanımının artırılması ve malzemenin yorulma ve sürünme davranışının iyileştirilmesidir.

Yakıt ekonomisi ve emisyon değerleri gibi nedenlerden ötürü, üretilen kompozit malzemelerin ağırlığının azaltılmasının önem taşıdığı başta havacılık ve otomotiv olmak üzere farklı sektörlerde kullanılan metal matriks kompozit malzemeler, yaygın olarak hafif metallerin matriks malzemesi olarak kullanıldığı kompozitler şeklinde üretilmektedir [4-6]. Bu noktada, demir ve demir alaşımlarına oranla hafif bir metal olması nedeniyle alüminyum, matriks malzemesi olarak özellikle ilgi çekmekte ve endüstride yaygın kullanım alanı bulmaktadır. Alüminyum metal matriks kompozitler, özellikle düşük yoğunlukları, yüksek mekanik mukavemetleri, korozyon dayanımları, sünek davranış göstermeleri ve iyi işlenebilirlik özellikleri nedeniyle metal matriks malzemeler arasında ön plana çıkmakta [7] ve motor bloğu, süspansiyon takımları, gövde paneli ve yapısal elemanların üretiminde sıklıkla tercih edilmektedir [8]. Alüminyum, dünyada yaygın olarak bulunan ve bu nedenle endüstriyel açıdan düşük maliyetli bir metaldir. Hafifliği, korozyon dayanımı, iyi ısı ve elektrik iletkenliği ve sünekliğinin yanı sıra geri dönüşüme uygun olması, alüminyumun endüstriyel açıdan yaygın olarak kullanılmasının önünü açan başlıca etkenlerdir [4,9]. Bu sayılan özellikler, alüminyumu metal matriks kompozitlerin üretiminde tercih edilen bir matriks malzemesi haline getirmektedir.

Metal matriks kompozitlerin üretiminde kullanılacak olan takviye malzemesinin; matriks malzemesi olan metal ile uyumu, mekanik özelliklere ve işlenebilirliğe sağlayacağı katkı, kolay tedarik edilebilir olması ve fiyatı katkı

malzemesinin seçiminde önemli etkenlerdir. Bu açılardan değerlendirildiğinde, başta alüminyum olmak üzere metal matriks kompozitlerin [10] üretiminde BN [11], B<sub>4</sub>C [12], SiC [13,14], TiC [15], TiB<sub>2</sub> [16], Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> [17], Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> [18], MgO [19] gibi farklı seramiklerin ve grafitin [20] takviye amaçlı olarak kullanımına sıklıkla rastlanmaktadır. Her ne kadar sürekli fiberlerden oluşan takviye malzemelerinin mekanik özellikler üzerinde daha iyi etki gösterdiği bilirse de parçacık formunda kullanılan takviye malzemeleri özellikle fiyat, uygulama kolaylığı ve izotropik özellikler ortaya koymaları nedeniyle tercih edilmektedir [21-23].

Farklı takviyelerin bir arada kullanımı ile birden fazla özelliğin iyileştirilmesi veya belirli bir amaçla kullanılan takviye malzemesinin neden olduğu bir olumsuzluğu gidermek amacıyla başka bir takviye malzemesinin ilave edilmesi ile üretilen alüminyum hibrit kompozitler, araştırma ve uygulamada giderek yaygınlaşmaktadır. Yürütülen çalışmalar B<sub>4</sub>C ilavesinin alüminyumun mekanik özelliklerini iyileştirdiğini ancak işlenebilirliğini olumsuz etkilediğini ortaya koymaktadır [24,25]. Benzer şekilde, alüminyum matriks kompozitlerde mekanik özelliklerin iyileştirilmesi amacıyla kullanılan SiC nedeniyle azalan işlenebilirliğinin iyileştirilmesinde BN parçacıklarının etkili olduğu literatürde rapor edilmiştir [26].

Bu nedenle; gerçekleştirilen çalışmada akma dayanımı, çekme dayanımı ve sertlik olmak üzere mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla B<sub>4</sub>C takviyeli olarak üretilen alüminyum metal matriks kompozitlere BN ilavesinin mekanik özellikler, talaş uzunluğu ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri araştırılmış, akma ve çekme dayanımı yüksek ve yüksek sertlik değerine sahip alüminyum matriks hibrit kompozitlerin eldesi amaçlanmıştır. Alüminyum matriks hibrit kompozitlerin üretiminde içerdiği avantajlar dolayısıyla sıkıştırma döküm tekniği kullanılmıştır.

## 2. MATERYAL VE METOT

### 2.1. Kullanılan Malzemeler

Üretilen kompozitlerde matriks malzemesi olarak ticari saf alüminyum (Şahinler Metal Tic. Ltd. Şti,

Türkiye), flaks olarak 75 µm boyutlarında ve 3,01 g/cm<sup>3</sup> yoğunluğa sahip potasyum florotitanat (K<sub>2</sub>TiF<sub>6</sub>) (Hongwu International Group Ltd., Çin Halk Cumhuriyeti) kullanılmıştır. Tedarik edilen alüminyuma ait kimyasal analiz sonuçları yazarların daha önceki bir çalışmasında [27], BN taneciklerinin ıslanabilirliğinin artırılması amacıyla kullanılan K<sub>2</sub>TiF<sub>6</sub>'a ait kimyasal analiz sonuçları ise Çizelge 1'de sunulmuştur.

**Çizelge 1.** Kullanılan flaksın kimyasal analizi (ağ. %)

Cl	SO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> O	Mg	Pb
0,050	0,010	0,050	0,001	0,010

SiO <sub>2</sub>	Fe	Ca	K <sub>2</sub> TiF <sub>6</sub>
0,200	0,020	0,010	>98,000

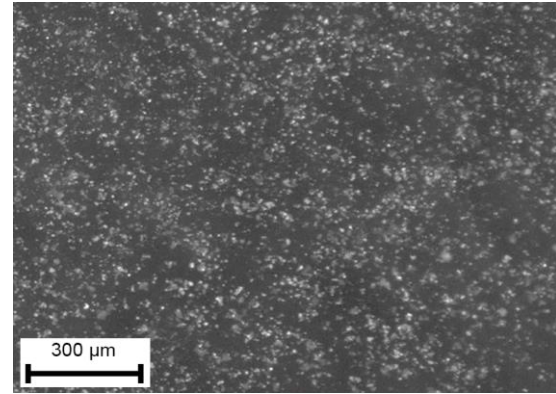
Kompozitlerin hazırlanmasında 65 µm tanecik boyutuna sahip B<sub>4</sub>C (Hongwu International Group Ltd., Çin Halk Cumhuriyeti) ve 5 µm tanecik boyutuna sahip BN (Hongwu International Group Ltd., Çin Halk Cumhuriyeti) tozlardan yararlanılmıştır. Çalışma dahilinde B<sub>4</sub>C:flaks oranı 1:1 olacak şekilde ayarlanmıştır. Bu tozlara ait mikroyapı görüntüleri Şekil 1'de sunulmuştur.

## 2.2. Numunelerin Hazırlanması

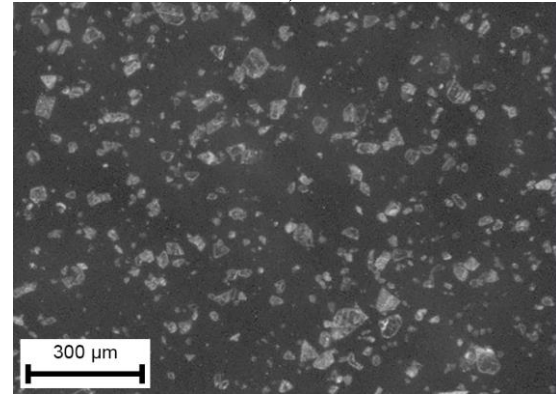
Katkılı kompozit malzemelerin hazırlanması aşamasında BN taneciklerinin ıslanabilirliğinin artırılmasına yönelik olarak TiC ve TiB<sub>2</sub> fazlarının oluşumunun sağlanması amacıyla, BN tanecikleri ve flaks; bilyeli bir karıştırıcıda destile su içerisinde 10 mm çapa sahip alumina öğütme bilyeleri kullanılarak 85 dev/dk hızında 7 saat boyunca karıştırılmıştır. Elde edilen karışım atmosferik bir etüde 110 °C'de 2 saat süresince kurutulmuş, ardından agat bir havan içerisinde el ile öğütülmüştür. Hazırlanan karışım ağırlıkça %5 B<sub>4</sub>C içeren 850 °C'deki alüminyum eriyik içerisine ağırlıkça %3, 5 ve 10 oranlarında BN ihtiva edecek şekilde ilave edilmiş (Çizelge 2) ve bir karıştırıcı yardımıyla 15 dk boyunca 250 dev/dk hızında karıştırılmıştır (Şekil 2).

Sıkıştırma döküm tekniği kullanılarak katkılı kompozitlerin üretilmesi amacıyla

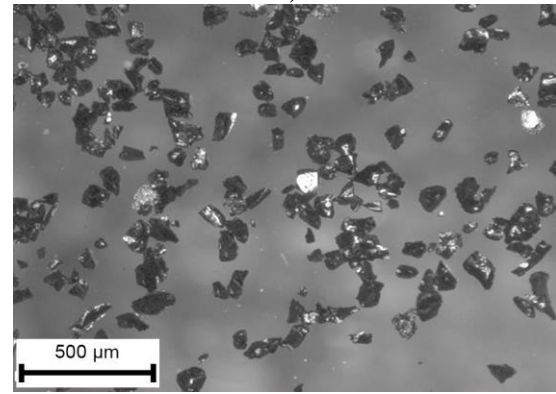
laboratuvarımızda hazırlanan, 200 mm stroka sahip sıkıştırma döküm düzeneği kullanılmış olup (Şekil 3a); kalıp ve zımba (Şekil 3b) döküm işlemi öncesinde 350 °C'ye ısıtılmıştır.



a)



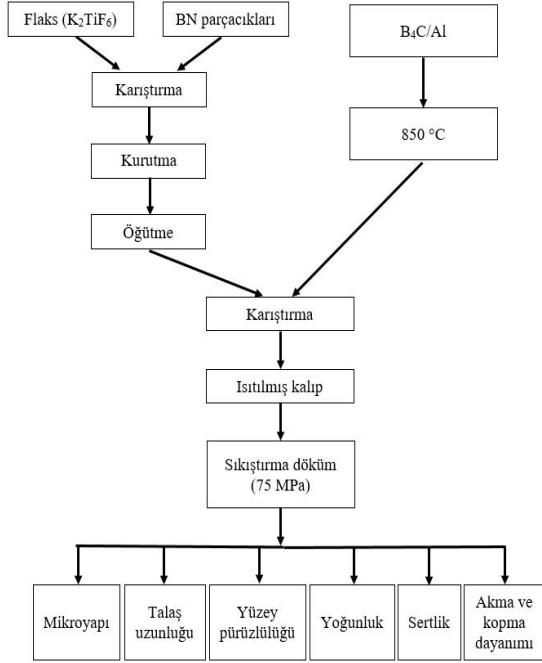
b)



c)

**Şekil 1.** Üretilen kompozitlerde kullanılan katkı malzemelerinin mikroyapı görüntüleri; a) BN, b) K<sub>2</sub>TiF<sub>6</sub>, c) B<sub>4</sub>C

*BN İlavesinin Sıkıştırma Döküm Yöntemi ile Üretilen B<sub>4</sub>C/Al Hibrit Kompozitlerin Mekanik Özellikleri Üzerine Etkileri*



**Şekil 2.** Sıkıştırma döküm tekniği ile BN katkılı B<sub>4</sub>C ile güçlendirilmiş alüminyum matris hibrit kompozitlerin üretimi ve karakterizasyonuna ait akış diyagramı

**Çizelge 2.** Numunelerin adlandırılması

Numune adı	BN içeriği (ağ. %)	B <sub>4</sub> C içeriği (ağ. %)
Al	-	-
B <sub>4</sub> C/Al	-	5
3BN-B <sub>4</sub> C/Al	3	5
5BN-B <sub>4</sub> C/Al	5	5
10BN-B <sub>4</sub> C/Al	10	5

Isıl çift ile takip edilen eriyik sıcaklığı 730 °C'ye düşünce döküm işlemi gerçekleştirilmiş olup 60 saniye süresince 75 MPa sıkıştırma basıncı uygulanmıştır. Bu şekilde sıkıştırma döküm tekniği ile BN katkısız ve ağırlıkça %3, 5 ve 10 BN katkılı B<sub>4</sub>C/Al kompozit malzemelerin üretimi gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan her bir numune seti; 13 mm çapında ve 7'şer adet silindirik numuneden oluşmakta olup; hazırlanan numunelerden örnek bir görüntü Şekil 3.c'de sunulmuştur.



a)



b)



c)

**Şekil 3.** Deneylere ait görüntüler; a) sıkıştırma döküm düzeneği, b) sıkıştırma döküm kalıbı, c) sıkıştırma döküm yöntemiyle üretilen numune

### 2.3. Mekanik Özelliklerin Karakterizasyonu ve Mikroyapı İncelemesi

Yapılan çalışmada, BN ilavesinin, B<sub>4</sub>C/Al matris kompozitlerin yapısal ve mekanik özellikleri üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla, elde edilen numunelerin mikroyapıları incelenmiş; yoğunluk, talaş uzunluğu, akma ve çekme dayanımları, yüzde uzaması ve sertlikleri belirlenmiştir (Şekil 2). Talaş uzunluğu ve yüzey pürüzlülüğünün belirlenmesi amacıyla, dökümü yapılan numunelerin baş kısımları bir testere yardımıyla kesilmiş, elde edilen silindirik numunelerin boyları 60 mm, çapları 10 mm olacak şekilde, seramik torna kalemleri (Sumitomo DNGA432, Japonya) ile 860 dev/dk dönüş, 0,7 ve 2,68 mm/s ilerleme hızı kullanılarak tornalanmıştır. Her bir numunenin tornalanması



sırasında oluşan talaşların boyları, yazarların daha önceki bir çalışmada yapmış olduklarına benzer şekilde ölçülmüş ve bu talaşların en uzun 3 adedinin ortalaması alınmıştır [27]. Elde edilen numunelerin yüzey pürüzlülükleri profilometre (Bruker Dektak XT, ABD) yardımıyla belirlenmiştir. Tornalanan numunelerin tartım işleminin ardından yoğunlukları hesaplanmıştır.

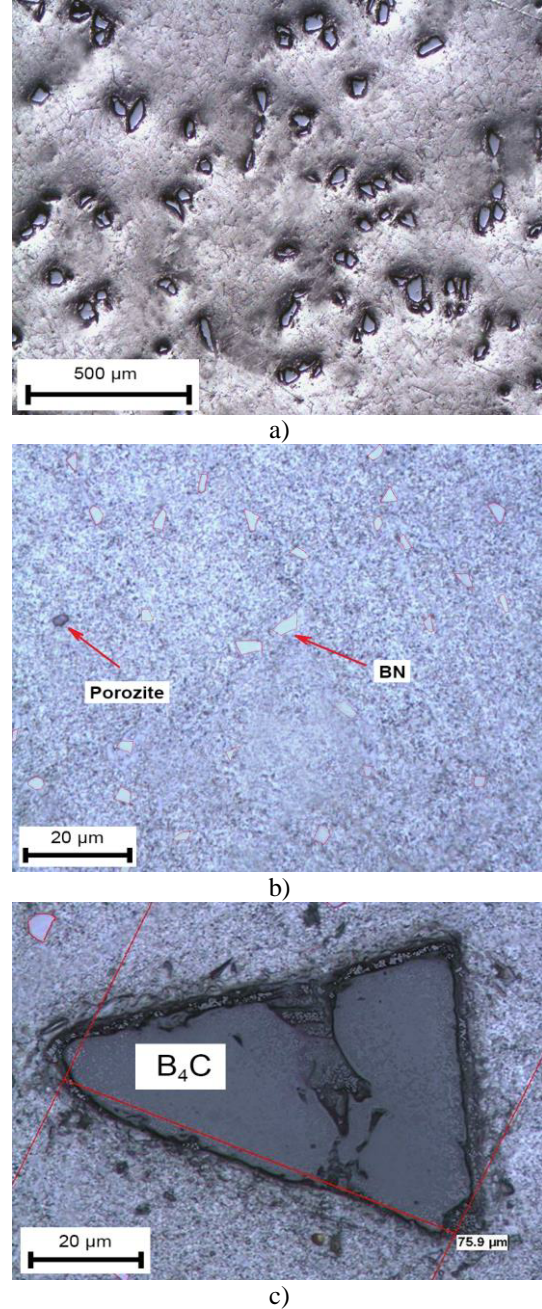
Numunelerin Brinell sertlik tayini, 2,5 mm çapında çelik bilye kullanılarak 10 s süresince uygulanan 187,5 kgf yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Farklı oranlarda BN ilavesinin alüminyum matris kompozitlerin mekanik özelliklerine etkisinin belirlenmesi amacıyla, farklı BN oranlarına sahip numune gruplarından 5'er adet numune ASTM E8 standardına uygun olarak hazırlanmıştır. Hazırlanan çekme numuneleri 10 kN yük hücresi kullanılarak universal test cihazında (Zwick/Roell Z10, Almanya) çekme testine tabi tutulmuş; elde edilen değerlerin ortalamaları ve standart sapmaları hesaplanmıştır.

Mikroyapı incelemesi öncesinde, numuneler kesilerek bakalite alınmış, parlatılmış (Struers LaboPol-5, Almanya) ve Marble çözeltisi (50 ml HCl/50 ml destile su içerisinde 10 g CuSO<sub>4</sub>) kullanılarak dağlanmışlardır. Ardından numuneler optik mikroskop (Clemex LV 150, Kanada) ve taramalı elektron mikroskobu altında (Philips SEM XL30, Hollanda) incelenmiştir.

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 3.1. Mikroyapı İncelemesi

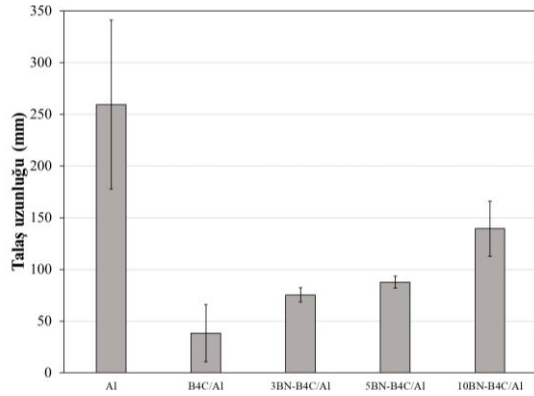
Üretilen BN-B<sub>4</sub>C/Al kompozit malzemeler üzerinde gerçekleştirilen mikroskop incelemelerinde B<sub>4</sub>C (Şekil 4a) ve BN (Şekil 4b) parçacıklarının, matris malzemesi olan Al içerisinde homojen bir dağılım gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 4c). Ayrıca; üretilen kompozit malzemelerde basınç altında uygulanan sıkıştırma döküm yöntemine rağmen az miktarda gözenek oluştuğu görülmektedir (Şekil 4b).



Şekil 4. BN-B<sub>4</sub>C/Al hibrit kompozitlerine ait mikroskop görüntüleri. a) 5BN-B<sub>4</sub>C/Al içerisinde bulunan B<sub>4</sub>C parçacıklarının dağılımı, b) 3BN-B<sub>4</sub>C içerisinde BN parçacıklarının dağılımı, c) 3BN-B<sub>4</sub>C/Al içerisindeki B<sub>4</sub>C ve BN parçacıkları.

### 3.2. Talaş Uzunluğunun İncelenmesi

BN miktarının, sıkıştırma döküm tekniği ile üretilen BN-B<sub>4</sub>C/Al kompozitlerinin işlenmesi esnasında oluşan talaş uzunluğu üzerindeki etkilerinin belirlenmesinde; hazırlanan numuneler, tornalama sırasında oluşturdukları talaş uzunlukları karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Yazarların daha önce gerçekleştirmiş oldukları bir çalışmada; B<sub>4</sub>C katkısının talaş uzunluğunu büyük ölçüde düşürdüğü belirlenmiştir [27]. Bunun, B<sub>4</sub>C'in gevrek doğasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Talaş uzunluğunda meydana gelen bu düşüşü telafi etmek amacıyla ilave edilen BN'nin talaş uzunluklarının artmasını sağladığı gözlemlenmiştir. B<sub>4</sub>C/Al numunelere % 3, 5 ve 10 oranında ilave edilen BN katkısının, tornalama esnasında meydana gelen talaş uzunluklarını arttırdığı belirlenmiştir (Şekil 5). İlave edilen BN miktarı arttıkça, talaş uzunluğu artmaktadır. Bu sayede, B<sub>4</sub>C ilavesinden kaynaklanan düşüncün, BN ilavesiyle önemli ölçüde telafi edilebileceği sonucuna ulaşılmıştır. BN ilavesi ile B<sub>4</sub>C/Al kompozitlerinin talaş uzunluklarının artması mümkün olmaktadır.



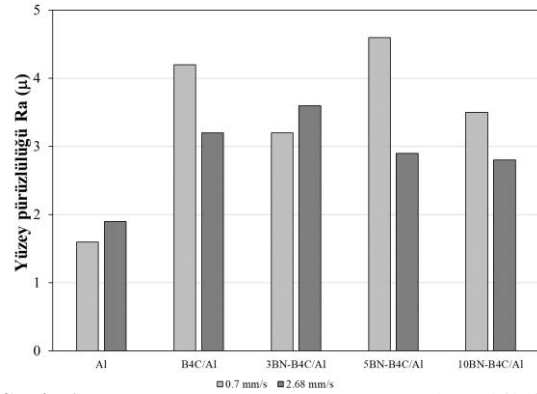
Şekil 5. BN oranının BN-B<sub>4</sub>C/Al hibrit kompozitlerinin talaş uzunluğuna etkisi

### 3.3. Yüzey Pürüzlülüğünün Belirlenmesi

BN ilavesinin B<sub>4</sub>C/Al hibrit kompozitlerinin yüzey pürüzlülüğüne etkilerinin belirlenmesi amacıyla işlenen numunelerin yüzey pürüzlülükleri profilometre aracılığıyla ölçülmüştür. Gerek düşük gerekse orta ilerleme hızlarında yapılan işleme

neticesinde BN ilavesinin numunelerin yüzey pürüzlülüğüne etkileri incelenmiştir (Şekil 6). Buna göre; düşük ilerleme hızı (0,7 mm/s) seçeneğinde düşük oranda yapılan BN ilavesinin (%3) olumlu etki gösterdiği, orta ilerleme hızında ise (2,68 mm/s) ilave edilen BN miktarının artırılmasının (%5 ve %10) avantaj sağladığı görülmüştür.

Elde edilen bulgular, düşük miktarda BN ilavesinin numunelerin yüzey pürüzlülüğüne olumlu etki ettiği şeklinde yorumlanmıştır.



Şekil 6. BN oranının BN-B<sub>4</sub>C/Al hibrit kompozitlerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi

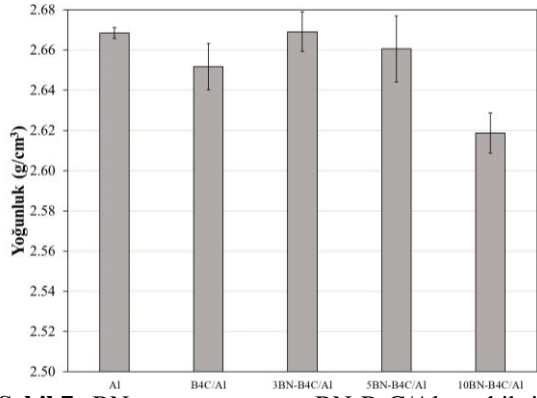
### 3.4. Yoğunluk Ölçümleri

Aluminyuma %5 B<sub>4</sub>C katkısı, elde edilen numunelerin yoğunluğunu azaltmıştır. B<sub>4</sub>C/Al'a ilave edilen BN, katkı oranına göre yoğunluk üzerinde bir miktar değişime neden olmuştur. Ağırılıkça %3 oranında ilave edilen BN ile numunelerin yoğunluk değerlerinde bir miktar artış gözlemlenmiş olup, yüksek BN oranlarında yoğunluk değerlerinin tekrar azalma eğilimi gösterdikleri belirlenmiştir (Şekil 7).

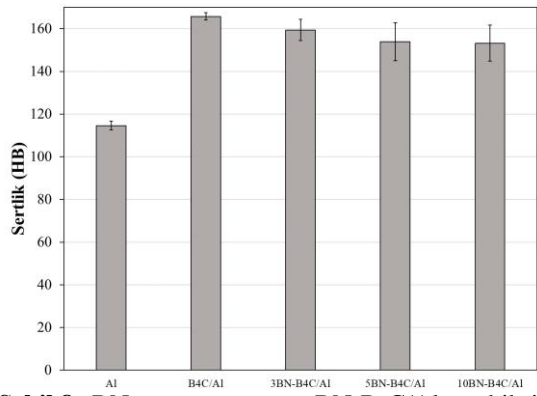
### 3.5. Sertlik Ölçümleri

B<sub>4</sub>C'in yüksek sertliğe sahip olması nedeniyle, %5 B<sub>4</sub>C içeren numunelerin saf Al numunelere göre daha yüksek sertlik değerine sahip olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, ilave edilen BN'nin B<sub>4</sub>C'den daha düşük sertlikte olması

nedeniyle, üretilen kompozitlerin sertlik değerlerinde bir miktar düşüşe neden olduğu ve BN oranı arttıkça bu düşüşün arttığı belirlenmiştir. Ancak söz konusu düşüş oldukça kısıtlı olup, BN ihtiva eden B<sub>4</sub>C/Al numunelerin sertlik değerleri, katkısız Al numunelerin sertlik değerlerinden yüksektir (Şekil 8).



Şekil 7. BN oranının BN-B<sub>4</sub>C/Al hibrit kompozitlerinin yoğunluğuna etkisi

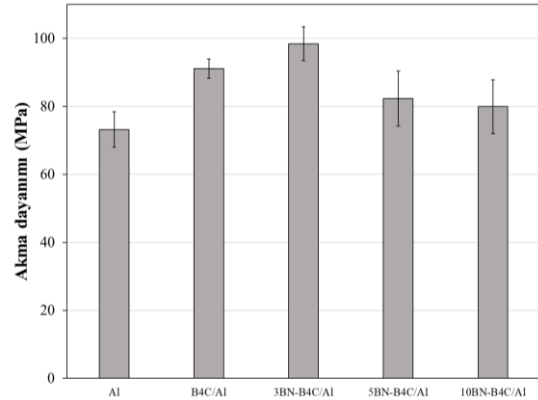


Şekil 8. BN oranının BN-B<sub>4</sub>C/Al hibrit kompozitlerinin sertliğine etkisi

### 3.6. Akma ve Çekme Dayanımlarının ve Yüzde Uzamanın Belirlenmesi

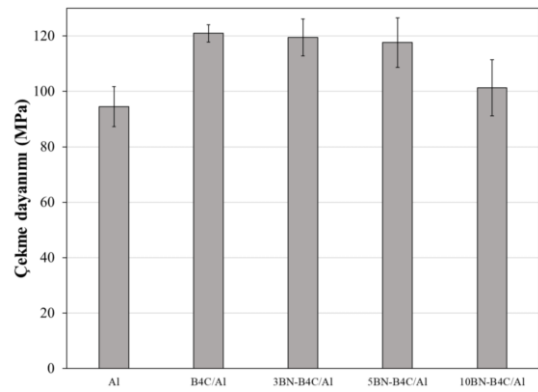
Ağırlıkça %5 B<sub>4</sub>C ile güçlendirilmiş numunelerin, katkısız Al numunelere göre yüksek akma ve çekme dayanımına sahip olduğu tarafımızca yapılan önceki bir çalışmada belirlenmiştir [27]. Yürütülmüş olan mevcut çalışmada; BN ilavesinin, B<sub>4</sub>C/Al kompozitlerinin akma ve çekme dayanımları üzerindeki etkilerini belirlemek

amacıyla gerçekleştirilen çekme testleri, %3 BN ilavesinin B<sub>4</sub>C/Al kompozitlerinin sahip olduğu akma dayanımını daha da arttırdığını göstermektedir (Şekil 9). Ancak BN oranı artmaya devam ettikçe akma dayanımında düşüş meydana gelmektedir. Böylelikle, sıkıştırma döküm yöntemiyle üretilen B<sub>4</sub>C/Al kompozitlerine %3'lük BN ilavesinin akma dayanımı üzerinde olumlu etki yaptığı belirlenmiştir.



Şekil 9. BN oranının BN-B<sub>4</sub>C/Al hibrit kompozitlerinin akma dayanımına etkisi

Ağırlıkça %3 ve %5 BN ilavesinin, B<sub>4</sub>C/Al kompozitlerinin çekme dayanımı üzerinde belirgin bir etkiye sahip olmadığı belirlenmiştir (Şekil 10). BN oranının %10'a çıkarılmasıyla çekme dayanımında bir miktar düşüş meydana geldiği gözlemlenmiştir.

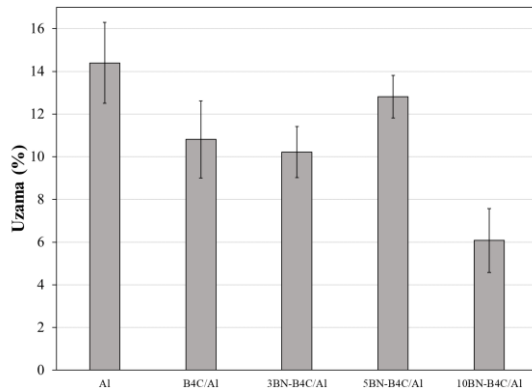


Şekil 10. BN oranının BN-B<sub>4</sub>C/Al hibrit kompozitlerinin çekme dayanımına etkisi

BN-B<sub>4</sub>C/Al kompozitlerinin katkısız olarak üretilen Al numunelere göre daha yüksek mukavemet değerlerine sahip olması (Şekil 9-10), ilave edilen BN ve B<sub>4</sub>C parçacıklarının çekirdeklenme bölgesi işlevi görerek tane küçülmesine neden olması ile açıklanabilir [28,29]. Ayrıca BN ve B<sub>4</sub>C parçacıklarının varlığının, matriks malzemesi Al ve ilave edilen parçacık arayüzeylerinde ısıl genleşme uyumsuzluğuna bağlı olarak artan dislokasyon yoğunluğunun soğuma esnasında dislokasyon hareketini güçleştirmesi sayesinde mekanik dayanımı arttırdığı düşünülmektedir.

B<sub>4</sub>C/Al kompozitlerine ilave edilen görece yüksek oranda BN'nin akma ve çekme dayanımlarını bir miktar düşürdüğü belirlenmiştir (Şekil 9-10). İlave edilen BN miktarı arttıkça mekanik özelliklerde gözlemlenen değişimin, ilave edilen BN ve B<sub>4</sub>C parçacıklarının mekanik özellikleri arasındaki farklılıktan kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca, ilave edilen BN miktarı arttıkça mekanik özelliklerde bir miktar bozulmanın meydana gelmesi, artan BN oranlarının matriks içerisinde topaklanmaya ve bu nedenle homojen olmayan bir dağılıma sebep olabileceğini ve buna bağlı olarak mekanik dayanımı düşürebileceğini akla getirmektedir.

Al'a ilave edilen BN ve B<sub>4</sub>C'ün % uzama değerlerinde genel bir düşüşe sebep olduğu belirlenmiştir (Şekil 11).



Şekil 11. BN oranının BN-B<sub>4</sub>C/Al hibrit kompozitlerinin uzamasına etkisi

## 4. SONUÇLAR

Gerçekleştirilen çalışma kapsamında sıkıştırma döküm yöntemi ile farklı BN oranlarına sahip BN-B<sub>4</sub>C/Al kompozitleri üretilmiş olup elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde sunulmuştur:

- İlave edilen BN ve B<sub>4</sub>C'in matriks malzemesi olan Al içerisinde homojen bir dağılıma sahip olduğu mikroskop incelemesi ile belirlenmiştir.
- İlave edilen BN'ün, B<sub>4</sub>C/Al kompozitlerinin talaş uzunluğunu olumlu yönde etkilediği ve BN oranı arttıkça talaş uzunluğunun arttığı belirlenmiştir.
- BN oranı arttıkça, BN-B<sub>4</sub>C/Al kompozitlerinin sertlik değerlerinde belirgin olmayan bir düşüş meydana gelmektedir.
- %3 oranında ilave edilen BN'ün, BN-B<sub>4</sub>C/Al kompozitlerinin akma dayanımında artışa yol açtığı gözlemlenmiştir.
- Artan BN ilavesinin, BN-B<sub>4</sub>C/Al kompozitlerinin çekme dayanımında bir miktar düşüşe neden olmasına karşın özellikle %3'lük BN ilavesi için bu düşüşün çok az olduğu belirlenmiştir.
- Sonuç olarak; özellikle %3 oranında BN ilavesi ile üretilen BN-B<sub>4</sub>C/Al kompozitlerinin, çekme dayanımındaki belirgin olmayan bir düşüşe karşın daha yüksek akma dayanımına sahip olduğu ve bu nedenle akma dayanımı gerektiren uygulamalarda tercih edilebileceği belirlenmiştir.

## 5. KAYNAKLAR

1. Kainer, K.U., 2006. Metal Matrix Composites. Custom-made Materials for Automotive and Aerospace Engineering. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co., KGaA, Weinheim.
2. Kim, Y.H., Lee, S., Kim, N.J., 1992. Fracture Mechanisms of a 2124 Aluminum Matrix Composite Reinforced with SiC Whiskers. Metallurgical and Materials Transactions A, 23(9), 2589-2596.
3. Song, W.Q., Krauklis, P., Mauritz, A.P., Bandyopadhyay, S., 1995. The Effect of Thermal Aging on the Abrasive Behaviour of



- Age-hardening 2014 Al/SiC and 6061 Al/SiC Composites. *Wear*, 185(1-2), 125-130.
4. Chawla, N., Chawla, K.K., 2006. *Metal Matrix Composites*, Springer, New York.
  5. Koli, D.K., Agnihotri, G., Purohit, R., 2015. *Advanced Aluminium Matrix Composites: The Critical Need of Automotive and Aerospace Engineering Fields*. *Materials Today: Proceedings*, 2(4-5), 3032-3041.
  6. Surappa, M.K., 2003. *Aluminium Matrix Composites: Challenges and Opportunities*. *Sadhana*, 28(1-2), 319-334.
  7. Ramnath, V., Elanchezian, C., Annamalai, R.M., Aravind, S., Ananda Atreya, T.S., Vignesh, V., Subramanian, C., 2014. *Aluminium Metal Matrix Composites - A Review*. *Reviews on Advanced Materials Science*, 38(1), 55-60.
  8. Macke, A., Schultz B.F., Rohatgi, P., 2012. *Metal Matrix Composites Offer the Automotive Industry an Opportunity to Reduce Vehicle Weight, Improve Performance*. *Advanced Materials and Processes*, 170(3), 19-23.
  9. European Aluminium, 2020. <https://www.european-aluminium.eu/about-aluminium/>, 09 Mayıs 2020.
  10. Pandey, A.B., 1992. *Metallic Matrices*. In: Miracle, D.B., Donaldson, L. (eds), *ASM Handbook Vol. 21*. ASM International, Metals Park, A.B.D., 396-402.
  11. Wang, Y., Lei, K., Ruan, Y., Dong, W., 2016. *Microstructure and Wear Resistance of c-BN/Ni-Cr-Ti Composites Prepared by Spark Plasma Sintering*, *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 54, 98-103.
  12. Harichandran, R., Selvakumar, N., 2016. *Effect of Nano/micro B4C Particles on the Mechanical Properties of Aluminium Metal Matrix Composites Fabricated by Ultrasonic Cavitation-Assisted Solidification Process*. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 16(1), 147-158.
  13. Kim, S.-B. Kim, Koss, D.A., Gerard, D.A., 2000. *High Cycle Fatigue of Squeeze Cast Al/SiCw Composites*. *Materials Science and Engineering: A*, 277(1-2), 123-133.
  14. Ozben, T., Kilickap, E., Cakır, O., 2008. *Investigation of Mechanical and Machinability Properties of SiC Particle Reinforced Al-MMC*. *Journal of Materials Processing Technology*, 198(1-3), 220-225.
  15. Chen, K., Hua, Y., Xu, C., Zhang, Q., Qi, C., Jie, Y., 2015. *Preparation of TiC/SiC Composites from Ti-Enriched Slag by an Electrochemical Process in Molten Salts*, *Ceramics International*, 41(9A), 11428-11435.
  16. Johny James, S., Venkatesan, K., Kuppan, P., Ramanujam, R., 2014. *Hybrid Aluminium Metal Matrix Composite Reinforced with SiC and TiB<sub>2</sub>*. *Procedia Engineering*, 97, 1018-1026.
  17. Saravanan, L., Senthilvelan, T., 2015. *Investigations on the hot Workability Characteristics and Deformation Mechanisms of Aluminium Alloy - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Nanocomposite*. *Materials & Design*, 79, 6-14.
  18. Sharma, P., Sharma, S., Khanduja, D., 2015. *Production and some Properties of Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> Reinforced Aluminium Alloy Composites*. *Journal of Asian Ceramic Societies*, 3(3), 352-359.
  19. Takahashi, S., Imai, Y., Kan, A., Hotta, Y., Ogawa, H., 2015. *Improvements in the Temperature-Dependent Properties of Dielectric Composites by Utilizing MgO Whiskers as the Dielectric Filler in an iPP Matrix*. *Journal of Alloys and Compounds*, 640, 428-432.
  20. Baradeswaran, A., Vettivel, S.C., Elaya Perumal, A., Selvakumar, N., Franklin Issac, R., 2014. *Experimental Investigation on Mechanical Behaviour, Modelling and Optimization of Wear Parameters of B4C and Graphite Reinforced Aluminium Hybrid Composites*. *Materials & Design*, 63, 620-632.
  21. Dieringa, H., Kainer, K.U., 2006. *Particles, Fibers and Short Fibers for the Reinforcement of Metal Materials*. In: Kainer, K.U. (ed), *Metal Matrix Composites*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 55-75.
  22. Timofeeva, E.V., Gavrilov, A.N., McCloskey, J.M., Tolmachev, Y.V., Sprunt, S., Lopatina, L.M., Selinger, J.V., 2007. *Thermal Conductivity and Particle Agglomeration in*

- Alumina Nanofluids: Experiment and Theory. *Physical Review E*, 76(6), 061203/1-16.
23. Huntz, A.M., Maréchal, L., Lesage, B., Molins, R., 2006. Thermal Expansion Coefficient of Alumina Films Developed by Oxidation of a FeCrAl Alloy Determined by a Deflection Technique. *Applied Surface Science*, 252(22), 7781-7787.
  24. Garg, H.K., Verma, K., Manna, A., Kumar, R., 2012. Hybrid Metal Matrix Composites and Further Improvement in Their Machinability- A Review. *International Journal of Latest Research in Science and Technology*, 1(1), 36-44.
  25. Pandi, G., Muthusamy, S., 2012. A Review on Machining and Tribological Behaviors of Aluminium Hybrid Composites, *Procedia Engineering*, 38, 1399-1408.
  26. Tjong, S.C., Lau, K.C., Wu, S.Q., 1999. Wear of Al-based Hybrid Composites Containing BN and SiC Particulates. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 30(9), 2551-2555.
  27. Ipekoglu, M., Nekouyan, A., Albayrak, O., Altintas, S., 2017. Mechanical Characterization of B<sub>4</sub>C Reinforced Aluminum Matrix Composites Produced by Squeeze Casting. *Journal of Materials Research*, 32(3), 599-605.
  28. Kashyap, K.T., Ramachandra, C., Dutta, C., Chatterji, B., 2000. Role of Work Hardening Characteristics of Matrix Alloys in the Strengthening of Metal Matrix Composites, *Bulletin of Materials Science*, 23(1), 47-49.
  29. Bodunrin, M.O., Alaneme, K.K., Chown, L.H., 2015. Aluminium Matrix Hybrid Composites: A Review of Reinforcement Philosophies; Mechanical, Corrosion and Tribological Characteristics. *Journal of Materials Research and Technology*, 4(4), 434-445.