



## AA2014/B<sub>4</sub>C MMK yapının döküm ve döküm sonrası sinterleme işlemleri ile üretiminin aşınma davranışlarına etkileri

Sinan AKSÖZ<sup>1\*</sup>, Bülent BOSTAN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Pamukkale Üniversitesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü, Denizli, Türkiye; ORCID ID [orcid.org/0000-0003-4324-5043](https://orcid.org/0000-0003-4324-5043)

<sup>2</sup>Gazi Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye; ORCID ID [orcid.org/0000-0002-6114-875X](https://orcid.org/0000-0002-6114-875X)

### MAKALE BİLGİSİ

#### Makale geçmişi:

İlk gönderi 30 Aralık 2017  
Revize gönderi 30 Mayıs 2018  
Kabul 31 Mayıs 2018  
Online 05 Temmuz 2018

#### Araştırma Makalesi

DOI: [10.30728/boron.373140](https://doi.org/10.30728/boron.373140)

#### Anahtar kelimeler:

Abrasiv Aşınma,  
AA2014/B<sub>4</sub>C MMK,  
Sinterleme etkisi

### ÖZET

Bu çalışmada, döküm yöntemi ve döküm sonrası 600°C'de 2 saat sinterleme uygulanarak, %10/20 B<sub>4</sub>C takviyeli ve AA2014 matris yapıları kompozit malzemeler üretilmiştir. Döküm yöntemi ile üretilen numunelere, sinterleme ve takviye oranlarının aşınma davranışlarına etkileri incelenmiştir. Çalışmada mikroyapı incelemeleri amaçlı; Taramalı elektron mikroskobu (SEM), Element Dağılım Spektrometresi (EDS) ve X-Ray incelemeleri yapılmıştır. Sertlik sonuçları için HV1 yöntemi ile makro sertlik verileri alınmıştır. Aşınma işlemi için pin-on-disk tipi kuru aşınma cihazında, 0.5MPa basınç altında, 1 ms<sup>-1</sup> kayma hızında ve dört farklı kayma mesafesindeki veriler kullanılmıştır. Artan B<sub>4</sub>C takviye oranı ve sinterleme işlemleri sonrasında sertlik artmış, sürtünme katsayısı düşmüş ve aşınma kaybı azalmıştır. En düşük sürtünme katsayısı ve aşınma kaybı 600 °C'de 2 saat sinterlenen %20 B<sub>4</sub>C içeren numunede elde edilmiştir.

## Effects of the AA2014/B<sub>4</sub>C MMCs production with casting and post casting sintering operations on wear behaviors

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 30 December 2017  
Received in revised form 30 May 2018  
Accepted 31 May 2018  
Available online 05 July 2018

#### Research Article

DOI: [10.30728/boron.373140](https://doi.org/10.30728/boron.373140)

#### Keywords:

Abrasive Wear,  
AA2014/B<sub>4</sub>C MMK,  
Sintering effect.

### ABSTRACT

In the study, AA2014 matrix and 10/20% B<sub>4</sub>C reinforced composites structure have been produced by casting and casting + sintering processes (at 600 °C for 2 hours). The effects of sintering and reinforcement ratios on wear behavior of specimens have been investigated after casting. For investigation of the microstructure studies; Scanning Electron Microscopy (SEM), Element Distribution Spectrometer (EDS) and X-ray studies have been performed. Macro hardness data have been obtained by HV1 method. For wear tests, pin-on-disc type dry abrasion device has been used at a pressure of 0.5 MPa, a sliding speed of 1 ms<sup>-1</sup> and at four different slip distances. After sintering and increasing the B<sub>4</sub>C reinforcement ratio, the hardness values increased, the friction coefficient decreased and the wear loss decreased. The lowest coefficient of friction and loss of wear have been obtained with the sample containing of 20% B<sub>4</sub>C sintered at 600 °C for 2 hours.

### 1. Giriş (Introduction)

Alüminyum (Al) Metal Matris Kompozitler (MMK) üzerine, son yıllarda mühendislik malzemeleri olarak ve farklı araştırma alanlarında ilgi ve alaka giderek artmaktadır. Bir MMK yapı ile tek fazlı alaşımlardan sağlanamayan üstün fiziksel ve mekanik özellikler sağlanabilmektedir. MMK'lerin üretiminde geleneksel döküm, ekstrüzyon, haddeleme gibi imalat yöntemlerinin dışında, Toz Metalürjisi (TM) gibi farklı üretim yöntemlerine de başvurulmaktadır. Ayrıca Al ve alaşımlarında günümüzde MMK üretim yöntemlerinden TM, sıcak – soğuk presleme, EKAP, teknikleri gibi birçok farklı uygulama tekniğine de yer verilerek araştırma faaliyetleri yürütülmektedir [1-8].

Halen günümüzde MMK'lerin üretiminde döküm yönteminin kullanımı, diğer yöntemlere göre ucuz ve basit olması nedeniyle gelişmiş MMK'lerin üretiminde çekici bir yöntemdir. Döküm yöntemi ile parçacık takviyeli MMK'lerin üretiminde, en kritik adımların başında takviye edilen seramik parçacıkların ergimiş matris alaşımına homojen bir şekil dâhil edilmesidir. Bu sebeple, döküm metodu ile MMK üretim sürecinde, takviye parçacıklarının matris alaşımı ile ıslatılabilirliği optimize edilmesi gereken sürecin diğer bir yönüdür. Genel itibari ile takviye parçacıklarının sıvı metalle ıslatılabilirliği zayıftır. İlave edilen katı seramik faz ile sıvı metal matrisi arasında iyi bir ıslatma oluşması döküm sırasında ve sonrasında tatmin edici bir bağ oluşturulması için şarttır [9,10]. MMK

\*Sorumlu yazar: [saksoz@pau.edu.tr](mailto:saksoz@pau.edu.tr)

malzemelerden genellikle tercihen SiC ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ile takviyeli Al matrisli kompozitler üzerine çalışmalar mevcut olsa da, B<sub>4</sub>C ile güçlendirilmiş kompozitler üzerine yapılan çalışmalar arzu edilen yerini bulamamıştır. Bu malzemeler, otomobil motorlarındaki pistonlar gibi yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılabilir. Bu malzemeler için en etkin üretim yöntemini, optimum üretim parametrelerini, takviye türünü ve oranını belirlemek önemli bir yer tutmaktadır. Bu sebeplerden dolayı, genellikle B<sub>4</sub>C takviye edilmiş Al matrisli yapıların üretim metodu üzerine çalışmalar mevcuttur [11].

Al ve alaşımlarına ilave edilen parçacık takviyeleri sayesinde önemli mekanik ve fiziksel özellikler kazandırılabilir. Bu takviye elemanlarından B<sub>4</sub>C ile oluşturulmuş Al matrisli MMK'ler; üstün ısıl özellikler, iyi özgül mukavemet ve düşük yoğunluk gibi özelliklere sahiptirler. Üstün özellikteki bu malzemelerin günümüzde sanayi ve bilim alanında kullanımını artırmaktadır [11,12]. Al matrisli MMK yapıları önemli yapısal malzemeler olup; rulmanlar, mekanik contalar ve silindir gömlekleri gibi uygulama alanlarında kullanım sahasına sahiptirler. Al matrisli ve B<sub>4</sub>C takviyeli MMK üretiminde yaygın olarak kullanılan ergitmeli yöntemlerin yanında, günümüzde TM gibi alternatif yöntemlerde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca TM ve ergitme yönteminin bir arada yer aldığı ve daha iyi mekanik ve fiziksel özelliklere ulaşılabilen infiltrasyon gibi yöntemler günümüzde kullanım alanı bulmaktadır [9, 10, 13, 14]. Ayrıca üretimi gerçekleştirilen malzemelerin mekanik ve fiziksel özelliklerinin iyileştirilmesi ve geliştirilmesi amacıyla, numunelere ısıl işlemler uygulanabilmektedir. Böylece bu MMK malzemelerin özellikleri artırılabilir [9,10,13].

Bu çalışmada, AA2014 matris yapısına ilave edilen B<sub>4</sub>C takviyeleri ile oluşturulan MMK kompozitler, döküm yöntemi ile üretilmiştir. Çalışmada toz haldeki B<sub>4</sub>C takviyesi (hacimce % 10, 20), yine toz metal haldeki AA2014 matris yapı içersine 10 mm iç çapındaki çelik haznede ilave edilmiş ve çelik hazneye ön ısıtma işlemi gerçekleştirilmiştir. Ön ısıtma uygulanan hazne içersine ergimiş AA2014 döküm yöntemi ile dökülmek suretiyle parçalar üretilmiştir. Üretilen bu parçalara sonrasında 600 °C'de 2 saat sinterleme ısıl işlemi uygulanmıştır. İşlemin sinterleme olarak adlandırılmasının sebebi, ilave edilen B<sub>4</sub>C takviyesinin toz halinde olması ve işlem sırasında matris ara-yüzey arasındaki bağın kuvvetlendirilmesi amacıyla kullanılmıştır. Üretilen AA2014/ B<sub>4</sub>C MMK esaslı kompozit yapıların, aşınma ve sertlik davranışları üzerindeki etkileri incelenmiştir.

## 2. Malzemeler ve yöntemler (Materials and Methods)

Ergitmeli döküm yöntemi ile B<sub>4</sub>C parçacık takviyeli AA2014 matrisli (%93.5Al, 4,06 Cu, 2,44 diğer) MMK yapıların üretimi gerçekleştirilmiştir. AA2014 tozlarının ortalama boyut dağılımı <100µm iken B<sub>4</sub>C tozlarının ortalama boyut dağılımı <7µm'dir. Numunelerin

üretimi 10 mm iç çapa sahip, 2 mm et kalınlığında paslanmaz çelikten imal edilmiş tüplerde gerçekleştirilmiştir. Döküm sıcaklığı 710 °C (+20 °C) olup, tüplerin içerisinde yer alan AA2014 – B<sub>4</sub>C tozlarına ergimiş AA2014 sıvı metali dökülerek MMK'ler üretilmiştir. Tüpler içerisindeki AA2014 – B<sub>4</sub>C tozları, ilk aşamada 30 dakika karıştırma işlemi uygulanarak homojen bir dağılımı sağlanmıştır. Döküm işlemi yapılan çelik boru haznelarının alt kısmında yer alan ve yaklaşık 20 mm boyutunda numune üretimi yapılabilen kısmın her iki ucunda yer alan paslanmaz çelik süzgeçler sayesinde tozların dökülmesi engellenmiştir. Çalışmada ergitme işleminden önce çelik borular yaklaşık 150 °C sıcaklıkta ön ısıtma işlemine tabi tutulmuş ve böylece döküm esnasında oluşabilecek katılaşmaların önüne geçilmiştir. Üretim sonrası numunelerin katılaşması normal şartlar (oda sıcaklığı) altında gerçekleştirilmiştir. Üretim sonrası çelik borular kesilerek, numuneler çıkartılmış ve sonrasında sinterleme ve aşınma işlemlerine tabi tutulmuştur.

Sertlik ölçümleri Shimadzu marka sertlik cihazında (HV 1) gerçekleştirilmiştir. Sertlik ölçümleri için her bir numuneden 7 farklı noktadan alınan sertlik verilerinin ortalaması kullanılmıştır. Numunelerin mikroyapı incelemeleri için Keller Reagent dağılayıcı kullanılarak, yaklaşık 25 sn dağılama yapılmıştır. Döküm, sinterleme ve aşınma işlemleri sonrası numunelerin mikroyapı ve element dağılımı (EDS) incelemelerinde, Jeol marka ve JSM-6060 LV model taramalı electron mikroskobu (SEM – XRF ünitesi bağlı) kullanılmıştır. XRD analizi Bruker Marka D8 Advanced Model cihazı ile başlık olarak Cukα kullanılarak, λ=1,5406 ve tarama hızı da 2°/min'da gerçekleştirilmiştir. Aşınma testleri kuru şartlar altında ve pin-on-disk türü cihazda ASTM:G99-05 standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. 10 mm dış çap ve 10-20 mm aralığındaki yüksekliğe sahip aşınma numunelerine; 0,5 MPa yükte, dört farklı kayma mesafesinde (500, 1000, 1500, 2000m) ve 1 ms<sup>-1</sup>'lik kayma hızında testler gerçekleştirilmiştir. Aşınma testlerinde AISI 4140 malzemesinden imal edilmiş, 60 – 64 HRC sertliğinde, 20 mm et kalınlığında ve 230 mm çapında çelik disk kullanılmıştır. Aşınma testlerindeki koşulların standart olması için, her bir teste başlamadan önce, numune ve disk aseton ile temizlenmiş ve kurutulmuştur.

## 3. Sonuçlar ve Tartışma (Results and discussion)

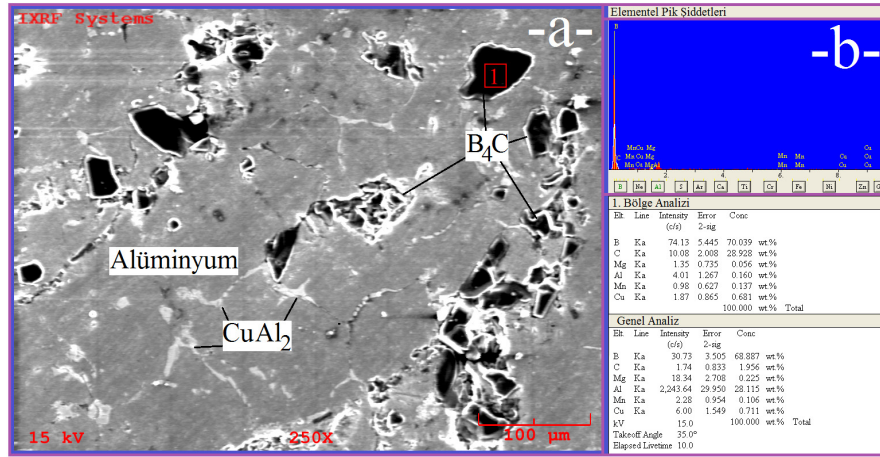
Şekil 1.a'da döküm yöntemi ile üretilen ve hacimce %10 B<sub>4</sub>C takviye edilen AA2014 matrisli alaşımın SEM mikro yapı görüntüsü yer almaktadır. Şekil 1.b'de ise SEM görüntüsü üzerinden alınmış EDS analizlerinin pik şiddetleri ile 1. Bölgenin analizi ve Genel EDS analizleri yer almaktadır. SEM görüntüsü üzerinden alınan 1. Bölge analizinde yapının B<sub>4</sub>C'den oluştuğu, genel EDS analizinde ise mikro yapının B<sub>4</sub>C, Al ve diğer alaşım elementlerinden oluştuğu tespit edilmiştir. SEM görüntüsü incelendiğinde; ana matrisin Al'dan

oluştugu, tane sınırlarında ise  $\text{CuAl}_2$  katı çökeltilerinin yoğunlaştığı görülebilmektedir (Şekil 1.a). Oluşan  $\text{CuAl}_2$  çökeltilerinin tane sınırlarında yoğunlaşması ise, çekirdeklenmenin tercihli olarak tane sınırlarında oluşan hızlı difüzyon ile birlikte, iç bölgelerden daha yoğun olması olarak açıklanabilir [15].

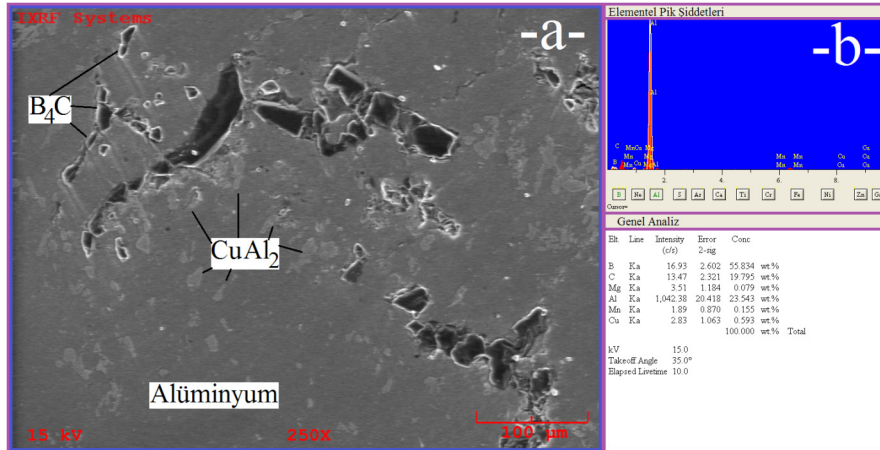
Şekil 2.a'da döküm yöntemi ile üretilen hacimce %10  $\text{B}_4\text{C}$  takviyeli numunenin 600 °C'de 2 saat sinterleme sonrası SEM görüntüsü yer almaktadır. Şekil 2.b'de SEM görüntüsü üzerinden alınan EDS analiz verileri yer almaktadır. EDS analiz verilerinde yapıda bulunması muhtemel B, C ve Al gibi element piklerinin yoğunlukta olduğu tespit edilmiştir. Şekil 2.a'daki SEM görüntüsü incelendiğinde, döküm sonrası tane sınırlarında yoğunlaşan  $\text{CuAl}_2$  fazı, 600 °C'de 2 saat sinterleme ile birlikte, tane içlerinde (gri bölgeler) homojen dağılımlı kümelenmeler oluşturmuştur. Bu oluşuma ise, 600 °C'de 2 saat gibi uzun bir süre sinterleme ile birlikte, tane sınırlarında konuşlanan  $\text{CuAl}_2$  fazının, homojen bir şekilde dağılmasına olanak sağlanarak elde edilmiştir. Böylece daha homojen dağılımlı bir faz yapısına ulaşılmıştır. Ayrıca 600 °C gibi yüksek sinterleme sıcaklığı sayesinde (sıvı faz sinterleme),  $\text{B}_4\text{C}$

partikülleri etrafında ve tane sınırlarında yer alan poroziteler ortadan kalkmış, partiküllerin daha homojen dağılıma sahip olduğu bir yapı elde edilmiştir.

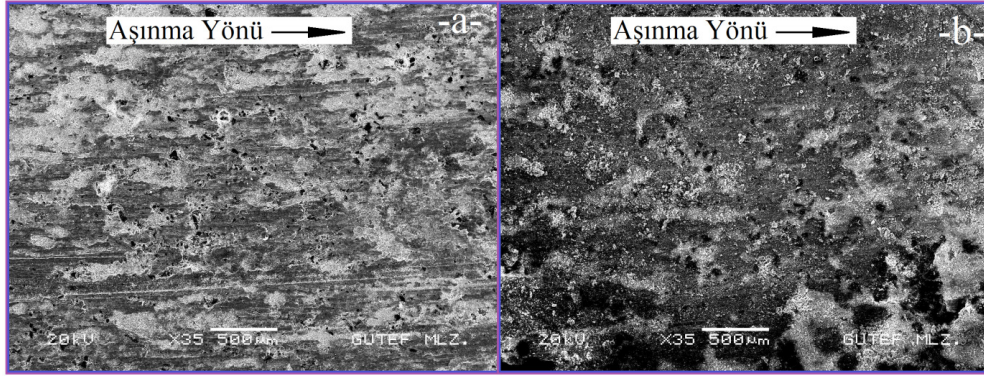
Şekil 3'te döküm yöntemiyle üretilmiş AA2014/ $\text{B}_4\text{C}$  kompozit malzemelerin 2000m kayma mesafesi sonrası aşınma yüzeylerinin SEM görüntüleri yer almaktadır. SEM görüntüleri incelendiğinde, %10 ve %20  $\text{B}_4\text{C}$  takviyeli (Şekil 3.a ve 3.b) numunelerin aşınma yüzeylerinde deformasyon etkileri net olarak görülmektedir. %20  $\text{B}_4\text{C}$  takviyeli (Şekil 3.b) numunenin aşınma yüzeyinde plastik deformasyon ve adhesiv aşınma sonrası oluşan aşınma etkileri, %10  $\text{B}_4\text{C}$  takviyeli yapıya göre daha az olduğu görülebilmektedir. Şekil 4'te döküm numunelerine uygulanan 600 °C'de 2 saat sinterleme sonrası aşınmış yüzeylerinin SEM görüntüleri yer almaktadır. Sinterleme ile birlikte sağlanan homojen yapı sayesinde aşınma sonrası oluşan deformasyon çizgileri azalmakta ve böylece daha az aşınma etkileri görülmektedir. 600 °C'de 2 saat sinterlemenin aşınma davranışlarını olumlu etkilediği görülmektedir. Şekil 5'te sertlik grafiği incelendiğinde, artan  $\text{B}_4\text{C}$  oranına bağlı olarak sertlikte artış meydana geldiği ve ayrıca 600 °C'de 2 saat sinterleme sonrası döküm



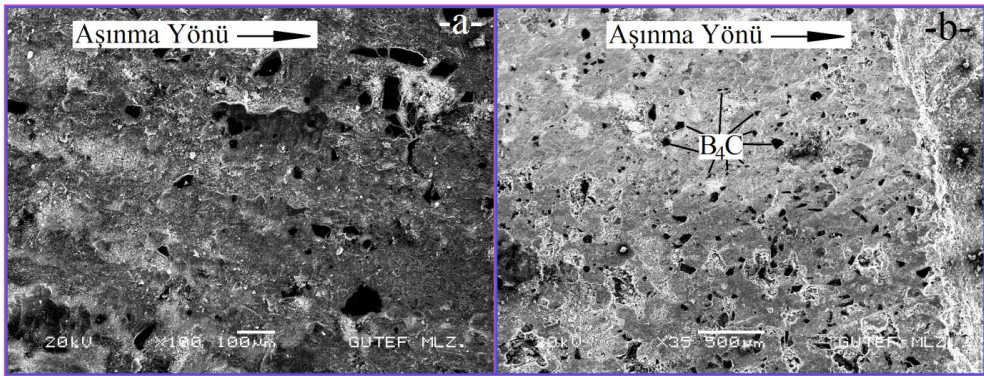
Şekil 1. Döküm sonrası hacimce %10  $\text{B}_4\text{C}$  takviye edilen numunenin a) SEM görüntüsü, b) EDS analiz verileri (As cast of the 10% by volume of  $\text{B}_4\text{C}$  reinforced sample, a) SEM image, b) EDS analysis data).



Şekil 2. Döküm ve sonrasında sonrası 600 °C'de 2 saat sinterlenen hacimce %10  $\text{B}_4\text{C}$  takviyeli numunenin a) SEM görüntüsü, b) EDS analiz verileri (a) SEM image, b) EDS analysis data of the  $\text{B}_4\text{C}$  reinforced sample (10% by volume), produced via as cast and then sintered at 600°C for 2 hours).

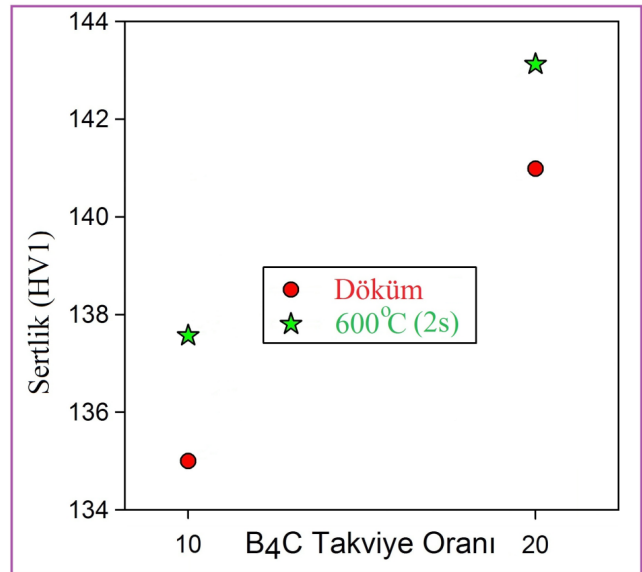


**Şekil 3.** Döküm numunelerinin aşınma sonrası SEM görüntüleri a- %10 B<sub>4</sub>C, b- %20 B<sub>4</sub>C (Post-abrasion SEM images of as cast specimens a- 10% B<sub>4</sub>C, b- 20% B<sub>4</sub>C).



**Şekil 4.** Döküm sonrası 600 °C'de 2 saat sinterlenen numunelerin aşınma sonrası SEM görüntüleri a- %10 B<sub>4</sub>C, b- %20 B<sub>4</sub>C (SEM images of the samples sintered at 600 °C for 2 hours after casting a- 10% B<sub>4</sub>C, b- 20% B<sub>4</sub>C).

numunelerine göre sertliğin arttığı tespit edilmiştir. Şekil 5'te verilen sertlik sonuçlarında artan takviye oranına bağlı olarak sertlikte artış meydana gelmesi, aşınma yüzeyinde meydana gelebilecek deformasyon etkilerinin azalmasını sağlamıştır [16]. Şekil 3.a'da %10 B<sub>4</sub>C takviyeli numunenin aşınma yüzeylerinde kısmi olarak dökülmelerin olduğu tespit edilmiştir. Bu durumun nedeni ise, aşındırma esnasında numune yüzeyinde ve/veya yüzeye yakın bölgelerde oluşan yolulma davranışı sonucu, mikro ve makro çatlakların oluşması ve testin ilerleyen aşamalarında (2000 m aşınma mesafesinde) bu çatlakların çevresinden kopan parçacıkların sebep olduğu düşünülmektedir [17]. Aşınma sonrası tüm SEM görüntüleri incelendiğinde (Şekil 3 ve 4), genel olarak aşınma yüzeylerinde abrasif aşınma mekanizmasının etkin olduğu ve kısmen de adhesif aşınma etkisinden bahsedilebilir. Ayrıca Şekil 4 a ve b'de görülmektedir ki, siyah görünüme sahip yapılar B<sub>4</sub>C takviyesine aittir. Bu yapıların aşınma sonrası SEM görüntülerinde tespit edilmesi, B<sub>4</sub>C takviyesinin 2000m kayma mesafesinde dahi yapıdan ayrılmadığını göstermektedir. Bu duruma ise, 600 °C'de oluşan sıvı faz sinterleme sonrası, AA2014 matris yapısının B<sub>4</sub>C parçacıklarını çepeçevre sarması ve böylece oluşturduğu bağın kuvvetlenmesi olarak düşünülmektedir. Döküm sonrası SEM görüntülerinde (Şekil 3 a ve b), yapıdaki B<sub>4</sub>C'lerin azlığı ve tespitinin güçlüğü da bu sebeple olduğu düşünülmektedir. Sinterlenen numunelere nazaran arayüzey bağlarının zayıflığı aşınmada kopan parçacıklarda en etkin mekanizma olmuştur.



**Şekil 5.** Döküm ve döküm sonrası 600 °C'de 2 saat sinterlenen numunelerin sertlik grafikleri (Hardness graph of as cast and as cast and then sintered at 600 °C for 2 hours).

Şekil 6'da döküm ve 600 °C'de 2 saat sinterlenen numunelerin sürtünme katsayıları ve ağırlık kayıpları yer almaktadır. Şekil 6'daki sürtünme katsayısı ve ağırlık kaybı değerleri incelendiğinde, döküm ve döküm sonrası 600 °C'de 2 saat sinterlenen MMK'lerde en yüksek sürtünme katsayısı ve ağırlık kaybı, %10 B<sub>4</sub>C ihtiva eden döküm numunesinde görülmektedir. En

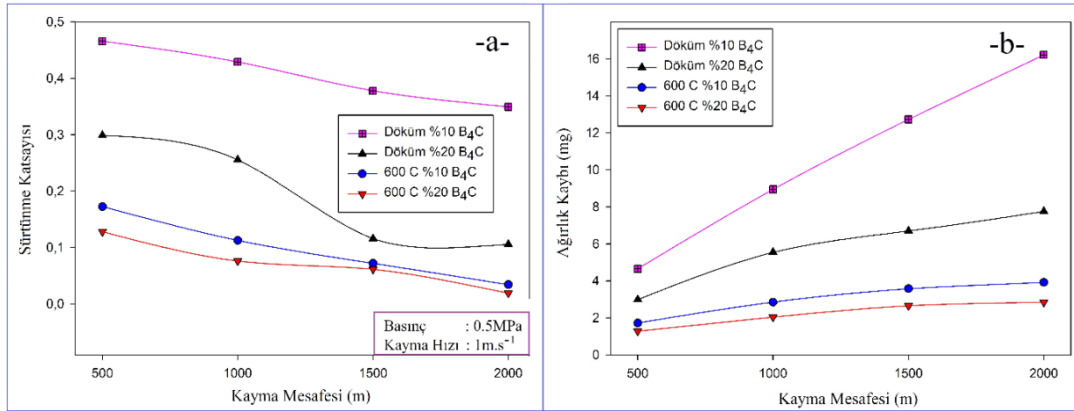
düşük sürtünme katsayısı ve ağırlık kaybı ise %20 B<sub>4</sub>C ihtiva eden döküm sonrası 600 °C'de 2 saat sinterlenen numunede elde edilmiştir. %20 B<sub>4</sub>C miktarındaki aşınma kayıpları ve sürtünme katsayıları %10 B<sub>4</sub>C oranına göre daha iyi çıkmıştır. Bu durum B<sub>4</sub>C parçacık takviyesinin malzemede sertlik artışını sağlayarak, aşınmaya karşı direncin artmasına, ağırlık kaybının ise azalmasını sağlayarak olumlu etkide bulunmuştur. Ayrıca Şekil 6.a'da verilen sürtünme katsayıları verileri incelendiğinde, kayma mesafesi artması ile birlikte sürtünme katsayısının da giderek azaldığı net olarak görülebilmektedir. En düşük sürtünme katsayısı %20 B<sub>4</sub>C içeriğine sahip döküm sonrasında 600 °C'de 2 saat sinterlenen numunede elde edilirken, en yüksek sürtünme katsayısını %10 B<sub>4</sub>C içeriğine sahip döküm numunesinde elde edilmiştir. Sünek yapıya sahip malzemelerde (Al, Cu gibi içeriğe sahip numuneler), aşınma oranları aşınma mesafe'sinin artması ile birlikte azaldığı bilinmektedir. Bu sonuca artan aşınma mesafesi ile birlikte, malzemede ısıl ve termomekanik etkenler oluşması ve malzeme yüzeyinde tabakalar halinde ince oksit film katmanlarının oluşması şeklinde açıklanabilir. Bu sert film katmanlarının yüzeyde oluşturduğu yağlayıcı etki, sürtünme katsayısında azalmaya ve böylece aşınmayı olumlu şekilde etkilemesi ile sonuçlanmaktadır [18,19].

Şekil 7'de döküm sonrası 600°C'de 2 saat sinterlenerek elde edilen, AA2014/B<sub>4</sub>C MMK yapılı numunenin XRD analizi yer almaktadır. XRD analizi incelendiğinde yapıda oluşması muhtemel Al, B<sub>4</sub>C ve CuAl<sub>2</sub> yapılarına ait pikler görülebilmektedir.

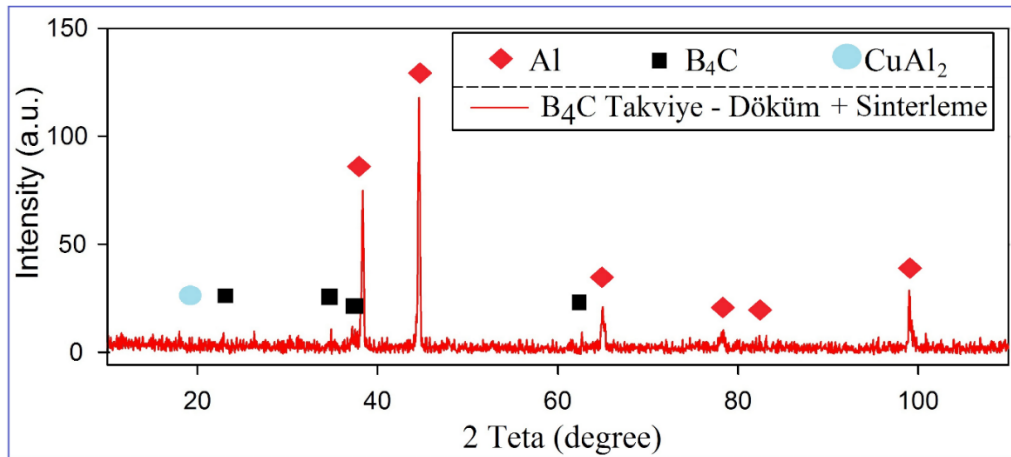
#### 4. Sonuçlar (Conclusions)

Döküm ve döküm sonrası 600 °C'de 2 saat sinterlenerek elde edilen AA2014/B<sub>4</sub>C MMK'in aşınma davranışlarına, üretim metodlarının etkileri incelendiğinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

- Sertlik sonuçlarında artan B<sub>4</sub>C oranına bağlı olarak artış meydana geldiği görülmektedir. Ayrıca 600 °C'de 2 saat sinterleme sonrası elde edilen numunelerde döküm numunelerine göre sertliğin arttığı tespit edilmiştir.
- Sertlikte meydana gelen artış, aşınma yüzeyinde meydana gelen plastik deformasyonun azalmasını sağlamıştır.
- Döküm yöntemi ile üretilen hacimce AA2014/%10 B<sub>4</sub>C kompozit yapısının EDS analizlerinde, yapıda B<sub>4</sub>C takviyeleri tespit



Şekil 6. 0,5 MPa sabit yük altında aşındırılan B<sub>4</sub>C takviyeli kompozit malzemelerin sürtünme katsayıları (a) ağırlık kaybı oranları (b) (Friction coefficients of B<sub>4</sub>C reinforced composite materials subjected to 0.5MPa steady load (a) weight loss ratios (b))



Şekil 7. Döküm sonrası 600°C'de 2 saat sinterlenen % 20 B<sub>4</sub>C takviyeli numunenin XRD analizi (XRD analysis of the 20% B<sub>4</sub>C reinforced sample produced with as cast and then sintering (2 hours at 600 °C)).

edilmiş, mikro yapıda B<sub>4</sub>C, Al ve diğer alaşım elementlerinden oluştuğu tespit edilmiştir.

- AA2014/%10 B<sub>4</sub>C kompozit yapısının SEM görüntüsünde; ana matrisin Al'dan oluştuğu, tane sınırlarında ise CuAl<sub>2</sub> katı çökeltilerinin yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Oluşan CuAl<sub>2</sub> çökeltilerinin tane sınırlarında yoğunlaşması ise, çekirdeklenmenin tercihli olarak tane sınırlarında oluşan hızlı difüzyon ile birlikte, iç bölgelerden daha yoğun olması ile açıklanmıştır.
- 600 °C'de 2 saat sinterleme ile birlikte tane sınırlarında CuAl<sub>2</sub> çökeltilerinin yapı içerisinde homojen bir şekilde dağılmasını sağlamıştır.
- Ayrıca, 600 °C'de sinterleme ile (sıvı faz sinterleme), B<sub>4</sub>C partikülleri etrafında ve tane sınırlarında yer alan poroziteler ortadan kalkmış, partiküllerin daha homojen dağılıma sahip olduğu bir yapı elde edilmiştir. Bu da aşınma davranışlarını olumlu etkilemiştir.
- Aşınma sonrası SEM görüntü yüzeylerinden, etkin olarak abrasif aşınma mekanizmasının ve kısmen de adhesif aşınma mekanizmasının etkin olduğu tespit edilmiştir.
- En düşük sürtünme katsayısı ve ağırlık kaybı AA2014/%20 B<sub>4</sub>C MMK yapısında, döküm sonrası 600 °C'de 2 saat sinterleme ile elde edilmiştir.
- XRD analizinde mikroyapıda oluşması muhtemel Al, B<sub>4</sub>C ve CuAl<sub>2</sub> fazları tespit edilmiştir.

#### Kaynaklar (References)

- [1] Aksöz S., Bostan B., Effects of Ageing and Cryo-ageing Treatments on Microstructure and Hardness Properties of AA2014-SiC MMCs, *Trans Indian Inst Met.*, <https://doi.org/10.1007/s12666-018-1336-6> (Accepted).
- [2] Ovalı D., Ağaoğulları D., Gökçe H., Öveçoğlu M.L., Effect of tungsten disilicide addition on tungsten boride based composites produced by milling-assisted pressureless sintering, *BORON 3* (1), 42 - 50, 2018.
- [3] Özer A., The microstructures and mechanical properties of Al-15Si-2.5Cu-0.5Mg/(wt%)B<sub>4</sub>C composites produced through hot pressing technique and subjected to hot extrusion, *Mater. Chem. Phys.*, 183, 288-296, 2016.
- [4] Demir Ü., Güral A., Öztürk M.K., Eşit kanallı açılmalı preslenmiş toz halde Al-%5Ni alaşımının mikro yapısal karakterizasyonu, *J. Fac. Eng. Archit. Gaz.*, 32 (3), 685-692, 2017.
- [5] Ovalı İ., Karakoç H., Çinici H., Optimization of the wear resistance of AA2024 matrix composites fabricated with hot pressing, *J. Achiev. Mater. Manuf. Eng.*, 79 (1), 19-23, 2016.
- [6] Yıldırım M., Şimşek İ., Özyürek D., Yaşlandırılmış AA7075 Alaşımında Solüsyona Alma Sıcaklığının Aşınma Performansına Etkisinin İncelenmesi, *GU. J. Sci., Part C*, 6 (1), 233-239, 2018.
- [7] Taşkesen A., Aksöz S., Özdemir A. T., The effect of cryogenic treatment on ageing behaviour of B<sub>4</sub>C reinforced 7075 aluminium composites, *Kovove Mater.*, 55, 57-67, 2017.
- [8] Balcı Ö., Akçamlı N., Ağaoğulları D., Öveçoğlu M. L., Duman İ., Otoklavda sentezlenen ZrB<sub>2</sub>-ZrO<sub>2</sub> tozlarının farklı tekniklerle sinterlenmesi ve yığın yapıların mikroyapısal ve bazı mekanik özelliklerinin incelenmesi, *BORON 2* (1), 1 - 10, 2017.
- [9] Kerti I., Toptan F., Microstructural variations in cast B<sub>4</sub>C-reinforced aluminium matrix composites (AMCs), *Mater Lett.*, 62, 1215-1218, 2008.
- [10] Shorowordi K. M., Laoui T., Haseeb A. S. M. A., Celis J. P., Froyen L., Microstructure and interface characteristics of B<sub>4</sub>C, SiC and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> reinforced Al matrix composites: a comparative study, *J. Mater. Process. Technol.*, 142: 738-743, 2003.
- [11] Varol T., Canakci A., Synthesis and characterization of nanocrystalline Al 2024-B<sub>4</sub>C composite powders by mechanical alloying, *Philos. Mag. Lett.*, 93 (6), 339-345, 2013.
- [12] Canakci A., Özşahin S., Varol T., Prediction of Effect of Reinforcement Size and Volume Fraction on the AbrasiveWear Behavior of AA2014/B<sub>4</sub>Cp MMCs Using Artificial Neural Network, *Arab. J. Sci. Eng.*, 39, 6351-6361, 2014.
- [13] Lee B.-S., Kang S., Low-temperature processing of B<sub>4</sub>C-Al composites via infiltration technique, *Mater. Chem. Phys.*, 67, 249-255, 2001.
- [14] Deuis R. L., Subramanian C., Yellup J. M., Abrasive wear of aluminium composites - a review, *Wear*, 20, 132-144, 1996.
- [15] Waterloo G., Hansen V., Gjønnes J., Skjervold S.R., Effect of predeformation and preaging at room temperature in Al-Zn-Mg-(Cu, Zr) alloys, *Mater. Sci. Eng. A*, 303, 226-233, 2001.
- [16] Baradeswaran A., Perumal A.E., Influence of B<sub>4</sub>C on the tribological and mechanical properties of Al 7075-B<sub>4</sub>C composites, *Composites: Part B*, 54,146-152, 2013.
- [17] Yılmaz R., Özyürek D., Kibar E., The effect of retrogression parameters on hardness and wear behaviors of 7075 aluminum alloys, *J. Fac. Eng. Archit. Gaz.*, 27 (2), 429-438, 2012.
- [18] Qi W. X., Tu J. P., Liu F., Yang Y. Z., Wang N. Y., H. Lu M., Zhang X. B., Guo S. Y., Liu M. S., Microstructure and tribological behavior of a peak aged Cu-Cr-Zr alloy, *Mater. Sci. Eng., A*, 343 (1), 89-96, 2003.
- [19] Tu J. P., Meng L. and Liu M. S., Friction and wear behavior of Cu-Fe<sub>3</sub>Al powder metallurgical composites in dry sliding, *Wear*, 220 (1), 72-79, 1998.