



Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretilen B₄C+TiB₂ Takviyeli Al 2024 Esaslı Kompozitlerde Takviye Miktarının Mekanik Özelliklere Etkisi

The Effect on Mechanical Properties of Reinforcement Amount at B₄C + TiB₂ Reinforced Al 2024 Based Composites Produced by Powder Metallurgy

Muharrem Pul *¹

¹Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, Kırıkkale, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 19/03/2018

Kabul/Accepted: 06/07/2018

Son Versiyon/Final Version: 31/01/2019

Özet

Bu çalışmada B₄C (bor karbür) ve TiB₂ (titanyum diborür) takviyeli Al 2024 esaslı kompozitler toz metalurjisi yöntemi kullanılarak, %4 TiB₂+%8 B₄C, %6 TiB₂+%12 B₄C, %8 TiB₂+%16 B₄C ve %10 TiB₂+%20 B₄C olarak farklı takviye oranlarında üretilmiştir. Üretilen kompozit numuneler, vakumlu fırında 120 min süre ile 560 °C sabit sıcaklıkta sinterlenmiştir. Sinterlemeden sonra Arşimet Prensibi'ne göre teorik yoğunlukları belirlenmiştir. Optik mikroskop ile kompozit numunelerin mikroyapı görüntüleri çekilmiştir. Daha sonra kompozit numunelerin mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla, sertlik ölçümleri, çapraz kırılma deneyleri ve pin-on-disk yöntemi kullanılarak aşınma deneyleri yapılmıştır. Aşınma yüzeyleri optik mikroskopla, kırılma yüzeyleri taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmiştir. SEM görüntüleri çekimi esnasında EDS analizleri yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre, TiB₂ ve B₄C takviye oranlarının artışına bağlı olarak yoğunluk, sertlik değerleri ve çapraz kırılma eğreleri azalmış olup aşınma miktarları artış göstermiştir. Al 2024 numuneye göre kıyaslandığında, %4 TiB₂ ve %8 B₄C gibi düşük takviye oranlarının bazı mekanik özellikleri iyileştirdiği ancak bu oranların üzerine çıktığında mekanik özellikler olumsuz etkilenmiştir.

Anahtar Kelimeler

“Kompozit, Bor karbür, Titanyum diborür, Mikroyapı, Mekanik Özellikler”

Abstract

In this study, SiC (silicon carbide) and B₄C (boron carbide) reinforced AA 7075 based composites were produced at different reinforcement rates of %4 TiB₂+%8 B₄C, %6 TiB₂+%12 B₄C, %8 TiB₂+%16 B₄C and %10 TiB₂+%20 B₄C by using powder metallurgy method. The composite specimens were sintered in vacuum furnace at 120 minutes at a constant temperature of 560 °C. After sintering, the theoretical densities were determined according to the Archimedesian Principality. Microstructure images of composite samples were taken with an optical microscope. Then, in order to determine the mechanical properties of the composite specimens were carried out hardness measurements, cross-break tests, and wear tests by using pin-on-disk method. Wear surfaces were examined by means of optical microscope and break surfaces were examined by means of SEM microscope. During SEM images were carried out EDS analysis. According to the results of the experiment, depending on the increase of TiB₂ and B₄C reinforcement ratios, the density, hardness and cross-breaking values decreased and wear amounts increased. Compared to Al 2024 sample, lower reinforcement rates such as 4% TiB₂ and 8% B₄C improved some mechanical properties, but when these ratios were exceeded, the mechanical properties were adversely affected.

Key Words

“Composite, Boron carbide, Titanium diboride, Microstructure, Mechanical behaviors”

1. GİRİŞ

Gelişen teknoloji ile günümüzde klasik malzemeler ihtiyaçlara cevap verememektedir. Metal gibi klasik malzemelere göre kompozit malzemelerin en belirgin özellikleri hafiflik ve sağlamlıklarıdır. Yapılan çalışmalar neticesinde, bu malzemelerin çekme, darbe dayanımlarının artırılması; yorulma, kimyasal direnç ve elektrik özelliklerinin iyileştirilmesi mümkün olmuş ve kompozit malzemeler yaygın şekilde havacılık, deniz taşıtları, otomotiv, makine, inşaat ve uzay teknolojisi alanlarında kullanılmaya başlanmıştır. Askeri alanda ise özellikle zırh malzemelerinin üretiminde metal ve seramik matrisli kompozitler giderek yaygınlaşmaktadır. Kompozit malzemelerin bu özellikleri, takviye elemanı sayesinde daha da geliştirilerek, yüksek çekme mukavemeti, ergime sıcaklığı, ısıl kararlılık, kolay üretilebilirlik gibi özelliklerinin artırılması söz konusudur. Alüminyum matrisli kompozitlerin üretilmesinde B_4C , SiC , Al_2O_3 , C , SiO_2 , MgO , TiC , TiB_2 gibi seramik esaslı farklı takviye elemanları kullanılmaktadır. Kompozit malzeme türleri içerisinde metal matrisli kompozitler önemli bir yer oluşturmaktadır. Bu tür kompozitlerde matris malzemesi olarak genellikle alüminyum gibi hafif metaller tercih edilmektedir. Metal matrisli kompozitler; aralarında karıştırılmalı döküm, basınçlı döküm, toz metalurjisi (TM), basınçlı sıvı metal süzdürme tekniği, derin çekme, haddeleme, sıcak ekstrüzyon gibi sıcak ve soğuk şekillendirme tekniklerinin bulunduğu oldukça geniş olan geleneksel ve ileri şekillendirme teknikleri ile şekillendirilirler. Son zamanlarda TM ile malzeme üretimi en hızlı gelişen imalat yöntemlerinden birisi olmuştur. TM ile üretim yöntemi, karıştırılmış metal tozlarının, oda sıcaklığında veya yüksek sıcaklıklarda, üretilecek parça şekli ve boyutlarına sahip kalıp içinde preslenerek şekillendirme ve ardından belirli bir sıcaklıkta sinterleme ile gerçekleştirilen bir imalat yöntemidir (Orhan, Gür, Çalgülü, 2007). Bu tür kompozitlerin üretimindeki ana sorun, matris metali ile takviye partikülleri arasındaki düşük ıslanmadır. Toz metalurjisi (TM) yöntemi ile teorik olarak ara yüzey kinetiğinin kontrolü iyi bir şekilde sağlanabilmektedir. Bu yüzden TM ile yapılan çalışmalar ara yüzeydeki ıslatılabilirlik seviyelerini arttırmak üzerine yoğunlaştırılmış olup, gelişmiş fiziki ve mekanik özellikleri verecek olan ekonomik bir yöntem henüz standartlaştırılmamıştır (Nazik, 2013). Ayrıca TiB_2 ve B_4C tozlarının maliyetinin, SiC veya Al_2O_3 gibi takviye malzemelerine göre daha yüksek olması, B_4C takviyeli malzemeler üzerinde yapılan araştırmaların nispeten sınırlı kalmasına yol açmaktadır (Ay, 2014). Metal Matrisli Kompozitlerin aşınma davranışları üzerine yapılan çalışmalarda; farklı matris malzemeleri ve takviye elemanları kullanıldığı görülmüş olup, takviye elemanının kompozit içerisindeki dağılımı, mikroyapıya etkisi, gözeneklilik, sertlik, aşınma davranışı ve kopma dayanımı gibi mekanik özellikler üzerindeki tesiri, karıştırma zamanı ve hızının etkisi gibi konularda birçok araştırmaya yer verildiği görülmüştür; (Sreenivasan A., Paul Vizhian S., Shivakumar N.D., Muniraju M. and Raguraman M., 2011), (Srivatsan T.S., Guruprasad G., Black D., Radhakrishnan R., Sudarshan T.S., 2005), (Keshavamurthy R., Sadananda Mageri, Ganesh Raj, Naveenkumar B., Prashant M, Kadakol and Vasu K., 2013), (Gomez L., Busquets-Mataix D., Amigo V., Salvador M.D., 2009), (Rahamian M., Parvin N., Ehsani N., 2010), (Abejonar J., Velasco F., Martinez, M.A., 2007).

Bu çalışmada TiB_2 ve B_4C takviyeli Al 2024 esaslı metal kompozitler toz metalurjisi yöntemi kullanılarak, %4 TiB_2 +%8 B_4C , %6 TiB_2 +%12 B_4C , %8 TiB_2 +%16 B_4C ve %10 TiB_2 +%20 B_4C takviye oranlarında üretilmiştir. Kompozitlerin üretiminde 750 MPa presleme basıncı, 120 min sinterleme süresi ve 560 °C sabit sıcaklık uygulanmıştır. Üretilen kompozit numuneler üzerinde, yoğunluk, sertlik, çapraz kırılma ve abrasif aşınma deneyleri yapılarak elde edilen değerler mikroyapı görüntüleri eşliğinde değerlendirilmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu deneysel çalışmada matris elemanı olarak 149 µm tane büyüklüğünde Al 2024, takviye elemanları olarak 63 µm tane büyüklüğünde B_4C ve 37 µm tane büyüklüğünde TiB_2 tozları kullanılmıştır. Literatür araştırmasındaki çalışmalardan yola çıkılarak, 4 farklı takviye oranı belirlenmiştir. Tablo 1’de 4 farklı kompozit numune için belirlenen TiB_2 ve B_4C takviye oranları verilmektedir.

Tablo 2: Kompozit numune karışım oranları

N1	%4 TiB_2 + %8 B_4C + %88 Al 2024
N2	%6 TiB_2 + %12 B_4C + %82 Al 2024
N3	%8 TiB_2 + %16 B_4C + %76 Al 2024
N4	%10 TiB_2 + %20 B_4C + %70 Al 2024

Karışımların hazırlanmasında pervaneli karıştırıcı kullanılmıştır. Her numune için 500 rpm hızda 45 min süreyle karıştırma işlemi yapılarak kompozit yapı içerisinde homojen bir dağılım elde edilmiştir. Kompozitlerin karışımların ağırlık-hacim oranları Eşitlik 1’e göre hesaplanmıştır.

$$V_f = \frac{M_p/P_p}{\frac{M_m}{P_m} + \frac{M_p}{P_p}} \quad (1)$$

Burada; V_f = Parçacık hacim oranı; M_P = Parçacık ağırlığı, g; P_P = Parçacık yoğunluğu, g/cm^3 ; M_m = Matris ağırlığı, g; M_P = Matris yoğunluğu, g/cm^3 dir.

Sinterleme işleminden sonra numunelerin havadaki ağırlığı daha sonra da sudaki ağırlığı hassas terazi ile ölçülmüş ve Arşimet Prensbine göre Eşitlik (2) kullanılarak (%) cinsinden teorik yoğunlukları belirlenmiştir.

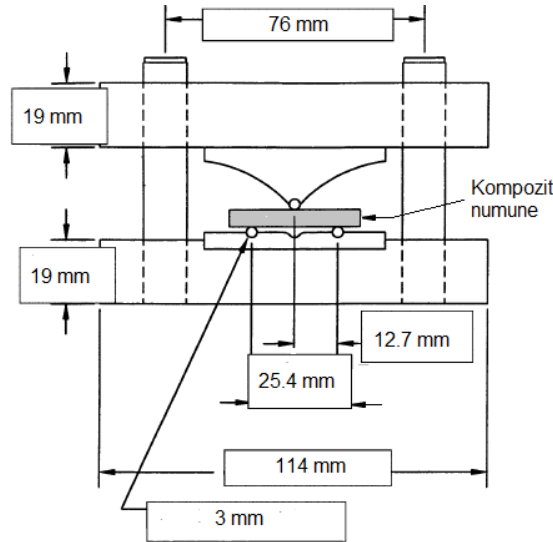
$$Dg = \frac{W_a}{W_a - W_b} \times D_{H_2O} \quad (2)$$

Burada; Dg = Numunenin görünür yoğunluğu, g/cm^3 ; D_{H_2O} = Suyun yoğunluğu, g/cm^3 ; W_a = Kuru numunenin havadaki ağırlığı, g; W_b = Numunenin su içindeki asılı ağırlığı, g dir.

Kompozit numunelere ait mikroyapıları incelemek amacıyla ilk olarak numunelerin yüzey hazırlama işlemi yapılmıştır. Bu amaçla sırasıyla 400, 800, 1200, 2400 mesh zımparalama, 3 μ m parlatma ve dağlama işlemi yapılmıştır. Daha sonra hazırlanan kompozit numunelerin, *Nikon ECLIPSE MA200* model optik mikroskopta 400 \times ve 1000 \times olmak üzere iki farklı büyütmede görüntüleri çekilmiştir.

Mekanik özellik belirleme deneylerinin ilk aşamasında, Brinell yöntemi kullanılarak sertlik ölçümleri yapılmıştır. Sertlik ölçümleri EN ISO 4498 (2011) ve TS EN ISO 6506-1 (2007) standartlarına uygun olarak, *Qness Q250M* model sertlik ölçme cihazında yapılmıştır. Sertlik ölçümlerinde 2,5 mm çaplı bilya uç, 62,5 kg yük ve 14 saniye deney süresi uygulanmıştır. Sertlik ölçümlerinde her numune üzerinde 5 farklı noktadan ölçüm yapılarak ortalama değer hesaplanmıştır.

Üretilen kompozitlerin mekanik davranışlarını belirlemek amacıyla ikinci aşamada, çapraz kırılma (üç nokta eğme) deneylerini yapmak üzere ASTM-B 312 (2008) ve ASTM-B 528-05 (2008) standardına uygun olarak, her takviye hacim oranı için, 6,35 \times 12,7 \times 31,7 mm ölçülerinde deney numuneleri hazırlanmıştır. Kompozit numuneler, şematik olarak Şekil 1'de gösterilen standart çapraz kırılma deney aparatında kırılma deneyine tabi tutulmuştur.



Şekil 1: Standart çapraz kırılma (üç nokta eğme) deney aparatı şematik gösterimi

Kırma işlemi 0,05 kN/sn yükleme hızıyla *ELE* marka hidrolik preste gerçekleştirilmiştir. Presten elde edilen yük değerlerine (P) göre numunelerin çapraz kırılma mukavemetleri Eşitlik 3'te verilen standart eşitlik ile hesaplanmıştır.

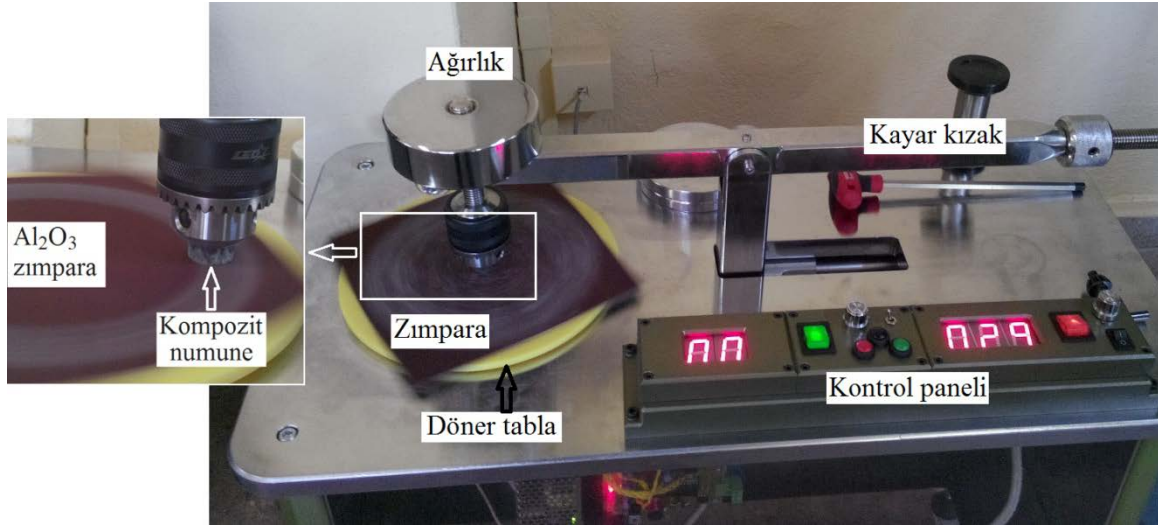
$$TRS = \frac{3 \times P \times L}{2 \times t^2 \times w} \quad (3)$$

Burada; TRS = Çapraz kırılma mukavemeti, MPa ; N = Deney parçasının kırıldığı anda ölçülen yük, N ; L = Destekler arası uzaklık, mm ; t = Deney parçasının yüksekliği, mm ; w = Deney parçasının genişliği, mm dir.

Çapraz kırılma deneylerinden sonra, kompozit numunelerin kırılma yüzeylerinden SEM ile 200 \times ve 1000 \times büyütmede görüntüleri çekilmiş ve EDS analizi yapılmıştır. Kırılma dayanımı değerleri ile kırılan yüzeylere ait görüntüler birlikte değerlendirilmiştir.

Son aşama deneyler, kompozit numunelerin aşınma davranışlarını belirlemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Aşınma deneyleri, pin on disk yöntemi ile 30 N yük uygulanarak yapılmıştır. Aşınma deneylerinde, 63 μ m aşındırıcı tane boyutuna sahip, Al_2O_3 zımpara

kullanılmıştır. Her kompozit numune, $0,5 \text{ ms}^{-1}$ kayma hızında ve 60 s süre boyunca deneye tabi tutularak aşınma kayıpları kaydedilmiştir. Şekil 2’de aşınma deneyleri sırasında çekilmiş bir fotoğraf verilmektedir.

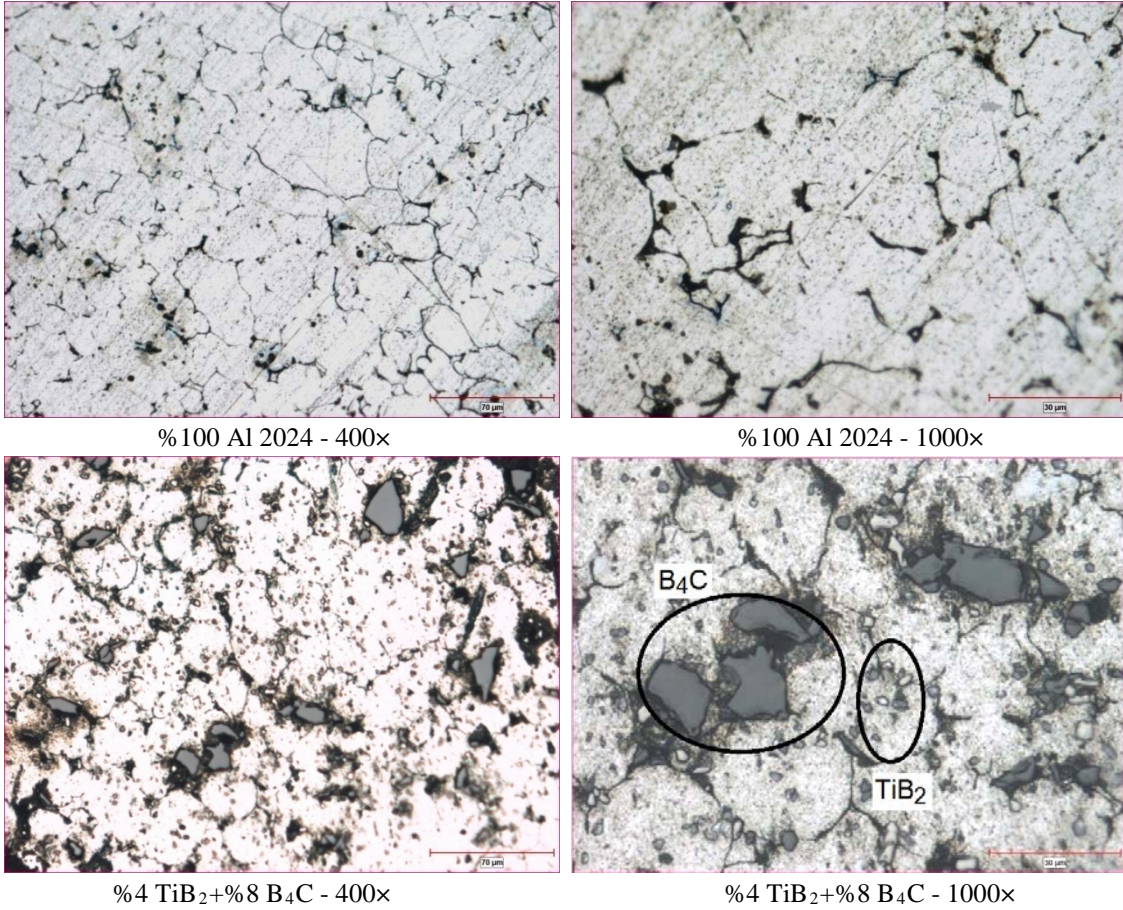


Şekil 2: Abrasif aşınma deney düzeneği

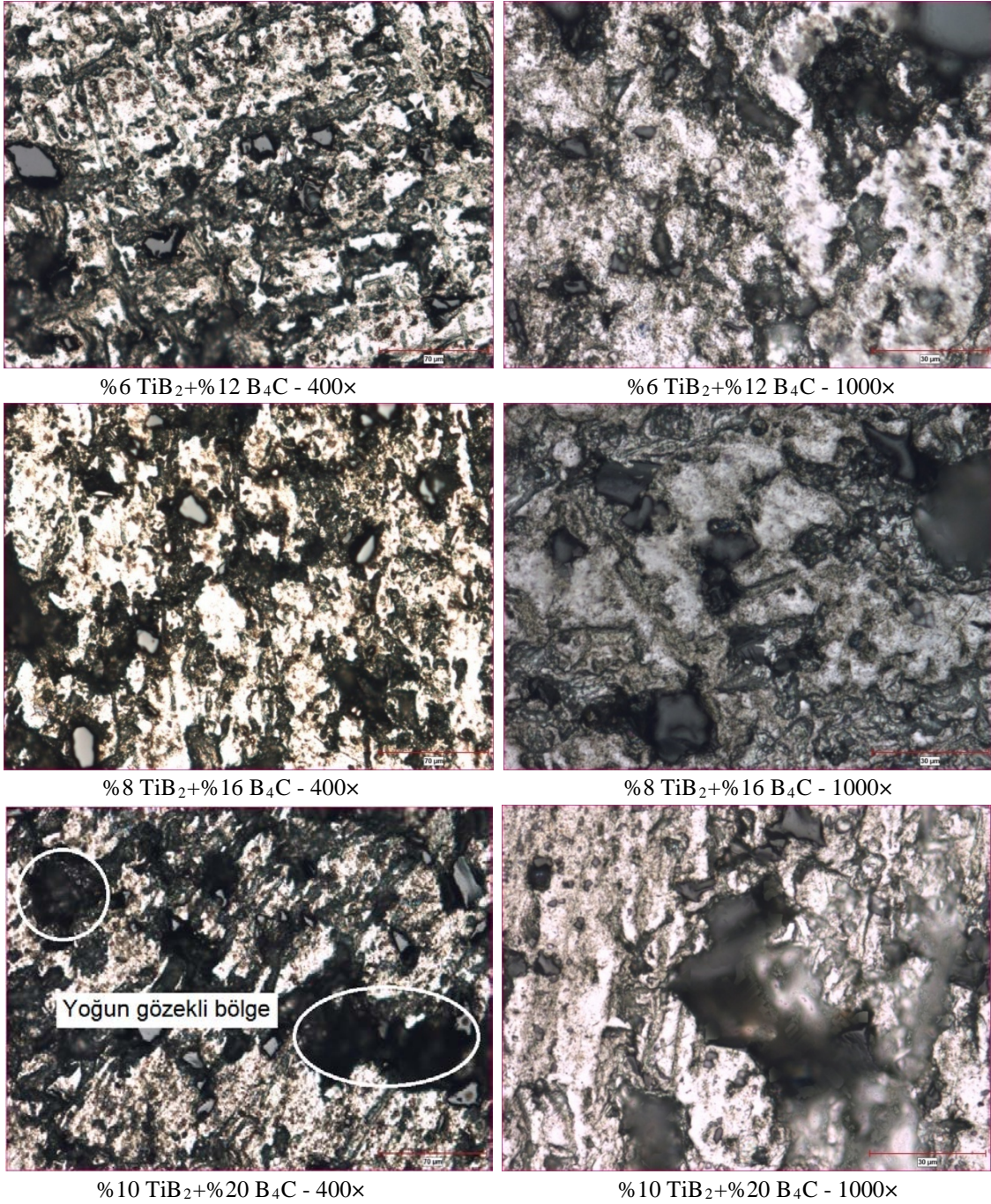
3.BULGULAR

3.1. Mikroyapıların değerlendirilmesi

Kompozitlerin mikroyapılarını değerlendirmek amacıyla, takviyesiz Al 2024 ve $\text{TiB}_2+\text{B}_4\text{C}$ takviyeli Al 2024 kompozitlerin, $400\times$ ve $1000\times$ büyütmedeki optik mikroskop görüntüleri Şekil 3’te verilmiştir.



Şekil 3: $\text{TiB}_2+\text{B}_4\text{C}$ takviyeli Al 2024 kompozitlerin $400\times$ ve $1000\times$ büyütmede mikroyapı görüntüleri

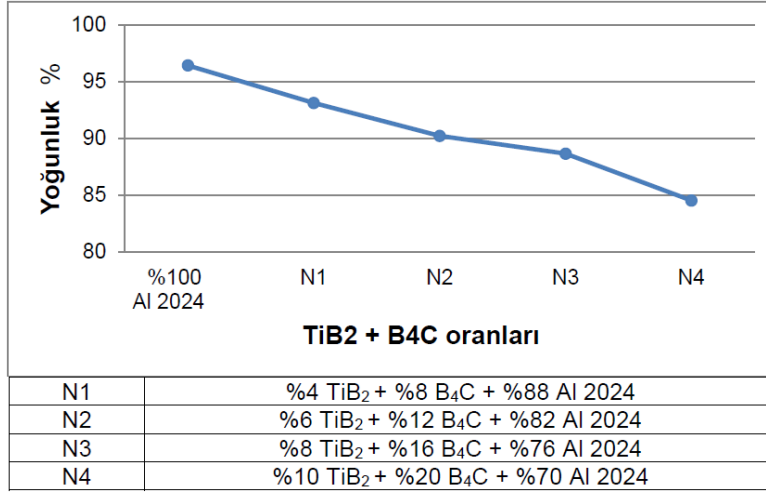


Şekil 3 (devamı): TiB₂+B₄C takviyeli Al 2024 kompozitlerin 400× ve 1000× büyütmede mikroyapı görüntüleri

Şekil 3'deki görüntüler incelendiğinde, TiB₂ ve B₄C takviye oranının artmasına bağlı olarak parçacık dağılımındaki homojenliğin artış gösterdiği söylenebilir. Ancak takviye oranının artması ile bir miktar takviye topaklanmasının meydana geldiği görülmektedir. Yine aynı şekilde kompozit yapı içerisindeki gözenek (boşluk) miktarıda takviye oranının artışına bağlı olarak artma göstermiştir. Kompozit yapı içerisindeki B₄C parçacıklarının farklı boyutlarda ve genellikle keskin köşeli, Al 2024 parçacıklarının da farklı boyutlarda ve genellikle küresel bir şekle sahip olduğu görülmektedir. TiB₂ parçacıklarının ise çok daha küçük boyutlu fakat keskin olmayan köşeli yapıya sahip olduğu söylenebilir. Şekil 3'deki 1000× büyütülmüş görüntülere bakıldığında, 750 MPa presleme basıncının ve sinterleme süresinin yeterli olduğu ifade edilebilir. Ancak takviye ile matris arasındaki ıslatmanın daha iyi olabilmesi ve tanecikler arası bağın daha güçlü olması için 560 °C olan sinterleme sıcaklığının bir miktar daha artırılması (570-580°C gibi) uygun olabilir. Bu tür kompozit yapılarda ana matris malzemesi içerisindeki toplam takviye miktarının %20'yi geçmesi halinde, kompozit yapının kararsızlaştığı ve özellikle takviye topaklanmasıyla birlikte gözenek değerlerinin yükseldiği genel olarak ifade edilebilir. Ayrıca, mikroskop görüntüleri alınmadan önce yapılan yüzey hazırlama işleminde, TiB₂ parçacıklarına göre daha büyük boyutta olan bir miktar B₄C parçacığının yapı içerisinde koparak uzaklaştığı ve yapı içerisindeki boşlukların oluşmasına katkı sağladığı düşünülmektedir.

3.2.Yoğunlukların değerlendirilmesi

Üretimi yapılan kompozit numunelerin Arşimet prensibi kullanılarak elde edilen teorik yoğunluk değerleri buna göre Şekil 4'te verilmektedir.

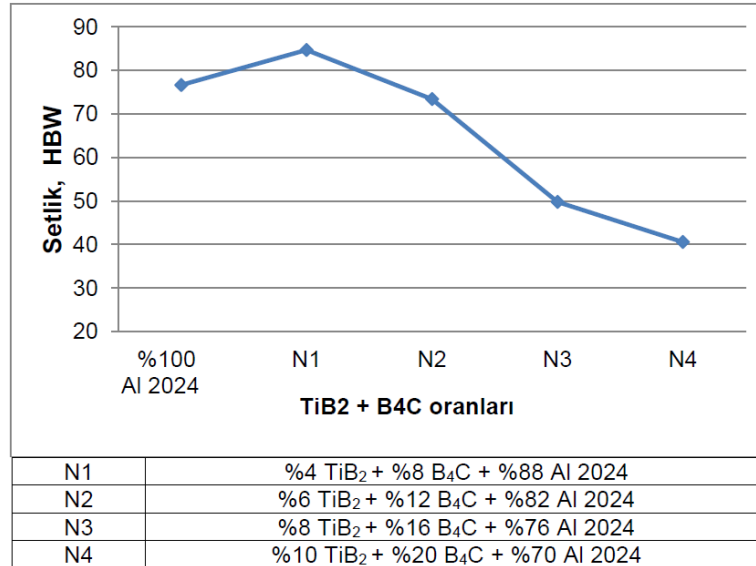


Şekil 4: Kompozit numunelere ait yoğunluk değerleri

Şekil 4'teki grafiğe bakıldığında, kompozit numunelerde takviye miktarının artmasıyla yoğunluk değerlerinde düşme olduğu görülmektedir. Diğer bir ifadeyle, takviye elemanının artmasıyla kompozit yapı içerisindeki gözeneklerin (porozite) artış gösterdiği söylenebilir. Literatüre bakıldığında (Ayvaz ve Çetinel, 2014), tarafından yapılan çalışmada da benzer sonuçlar ifade edilmiştir. En yüksek yoğunluk değeri % 96,45 ile takviyesiz % 100 Al 2024 numunede elde edilirken, en düşük yoğunluk % 84,54 ile %10 TiB₂+%20 B₄C takviyeli kompozit numunede elde edilmiştir. Bu yoğunluk sonuçlarına göre, takviye elemanının artmasıyla, TiB₂ ve B₄C parçacıkları ile Al 2024 tozları arasındaki ara yüzeylerde gözenek oranının artış gösterdiği ve buna bağlı olarak yoğunluk değerlerinin düştüğü değerlendirilmektedir.

3.3.Sertlik sonuçlarının değerlendirilmesi

Kompozit numunelerin, takviye oranlarına göre ölçümlerden elde edilen ortalama sertlik değerleri Şekil 5'deki grafiklerde gösterilmektedir.



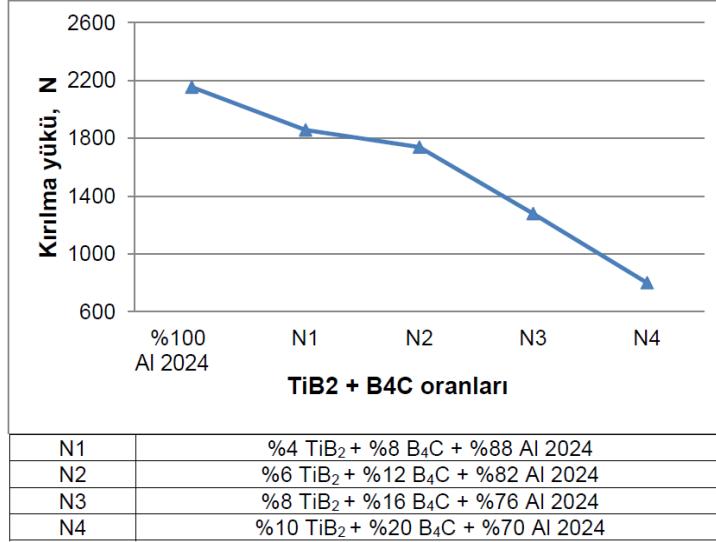
Şekil 5: Kompozit numunelere ait sertlik değerleri

Şekil 5'deki grafiğe bakıldığında ilk göze çarpan, takviye oranlarının artmasıyla sertlik değerlerindeki azalmadır. Bu durumu izah etmek için ilk akla gelen, takviye oranının artışı ile kompozit yapı içerisindeki gözenek miktarının artması olmaktadır. Şekil 3'teki mikroyapı görüntüleri ve yoğunluk ölçüm değeri sonuçları bu tezi destekler niteliktedir. Ancak, içerisine takviye elemanı katılmamış %100 Al 2024 numunenin sertlik değeri 1 numaralı numunenin (N1) sertliğinden düşük çıkmıştır. Demek ki, kompozit yapı içerisindeki düşük orandaki takviye fazları sertlik değerini arttırmıştır. Normal şartlarda hem B₄C hemde TiB₂ tanecikleri alüminyuma göre çok daha sert yapıya sahiptirler. Basit olarak düşünüldüğünde takviye fazlarının artmasıyla kompozit yapının sertliğinin artması beklenebilir. Ancak bu durum gerçekleşmemiştir. Çünkü, takviye oranının artmasıyla hem gözeleklik hemde

takviye yığılmalarında artış meydana gelmiştir. Sonuç olarak bu tür kompozitlerde %4 - %8 gibi düşük oranlarda takviye elemanları, kompozit yapı için sertlik değerini yükseltirken, bu oranların üzerine çıkıldığında sertlik değerlerinde azalmaların meydana geldiği tespit edilmiştir. Kompozit numuneler içerisinde en yüksek sertlik değeri %4 TiB₂+%8 B₄C, takviyeli numunede 84,72 HBW olarak, en düşük sertlik değeri ise %10 TiB₂+%20 B₄C, takviyeli kompozit numunede, 40,58 HBW olarak kaydedilmiştir.

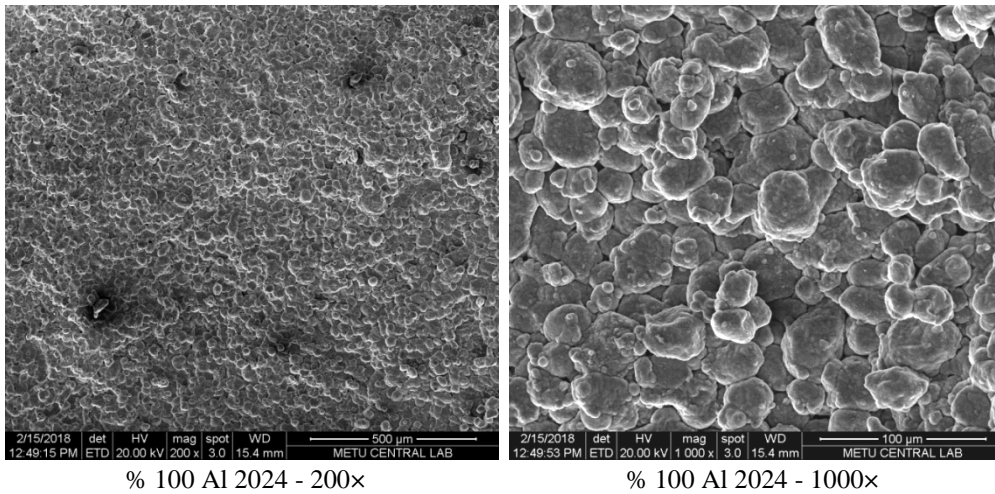
3.4. Çapraz kırılma sonuçlarının değerlendirilmesi

Kompozit numunelerin, ASTM-B 528-05 standardına göre yapılan çapraz kırılma deneylerinden elde edilen değerlere göre çizilen grafik Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6: Kompozit numunelere ait çapraz kırılma yükü değerleri

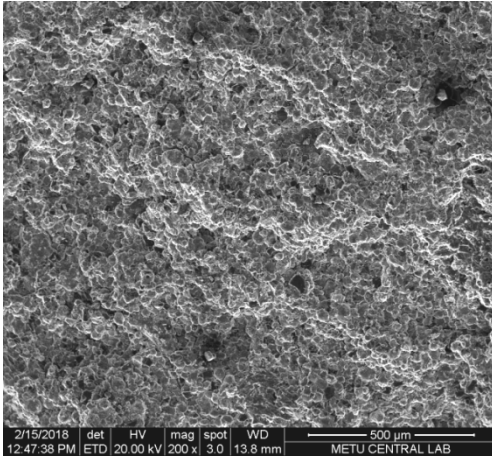
Şekil 6'daki grafiğe toplu olarak bakıldığında takviye oranlarının artmasıyla kırılma dayanımının azaldığı göze çarpmaktadır. Bu kırılma değerlerinin meydana çıkmasındaki ana sebebin, sertlik değerlerinde olduğu gibi, kompozit yapı içerisindeki gözenekli yapı olduğu ifade edilebilir. Bunun yanında, özellikle B₄C takviye elemanı parçacıklarının keskin köşeli şekli kompozit yapı içerisinde çentik etkisi yarattığı ve deneyler sırasında kırılmayı kolaylaştırdığı düşünülmektedir. Şekil 3'teki mikroyapı görüntüleri incelendiğinde, özellikle B₄C takviye parçacıkları etrafındaki gözeneklilik ve parçacıkların keskin köşeli şekli görünmektedir. Görüntülerdeki yoğun siyah bölgeler gözenekli yapıyı ifade etmektedir. Kırılma yükü değerleriyle, yoğunluk ve sertlik değerlerindeki sonuçlar birbirini destekler niteliktedir. İçerisine takviye elemanı katılmamış %100 Al 2024 numunenin kırılma yükü değerinin en yüksek çıkması beklenen bir sonuçtur. Takviyeli numunelere bakıldığında en yüksek kırılma değeri 1858 N ile %4 TiB₂+%8 B₄C, takviyeli numunede, en düşük kırılma değeri ise 802 N ile %10 TiB₂+%20 B₄C, takviyeli numunede gerçekleşmiştir. Kompozit yapıyı incelemek üzere en yüksek ve düşük kırılma değerine sahip kompozit numunelere ait 200× ve 1000× büyütme kırılma yüzeyi SEM görüntüleri Şekil 7'de verilmiştir.



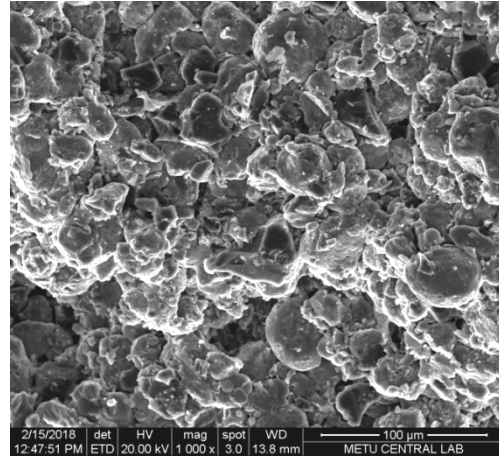
% 100 Al 2024 - 200×

% 100 Al 2024 - 1000×

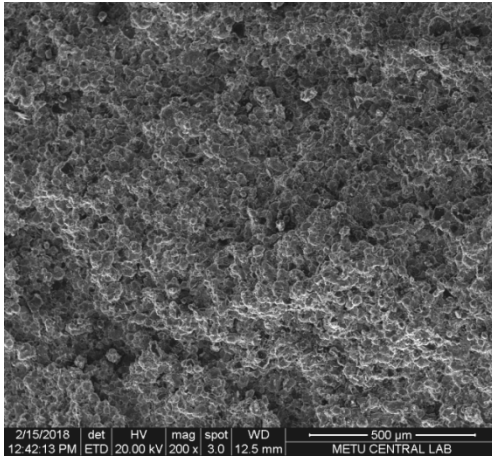
Şekil 7: Kumpozit numunelerin kırılmış yüzeylerine ait SEM görüntüleri



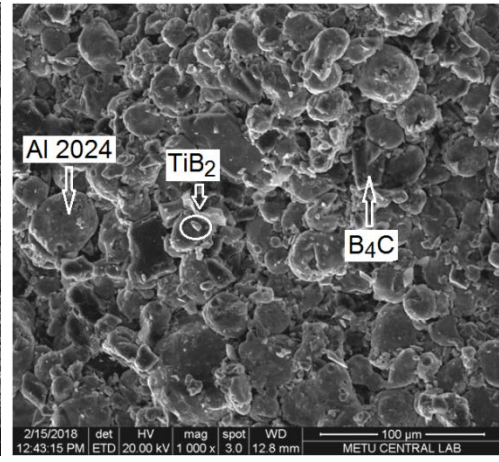
%4 TiB₂+%8 B₄C - 200×



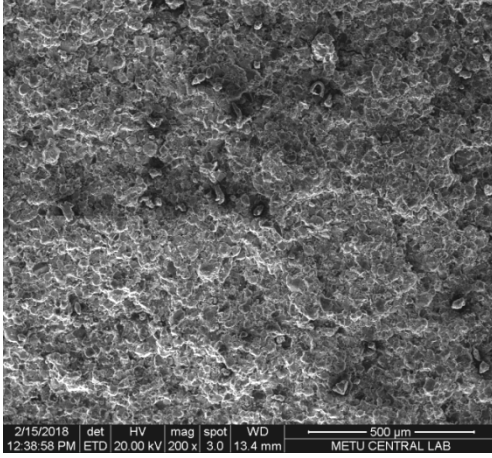
%4 TiB₂+%8 B₄C - 1000×



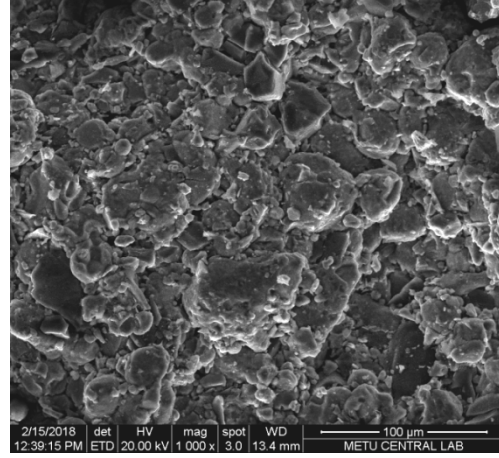
%6 TiB₂+%12 B₄C - 200×



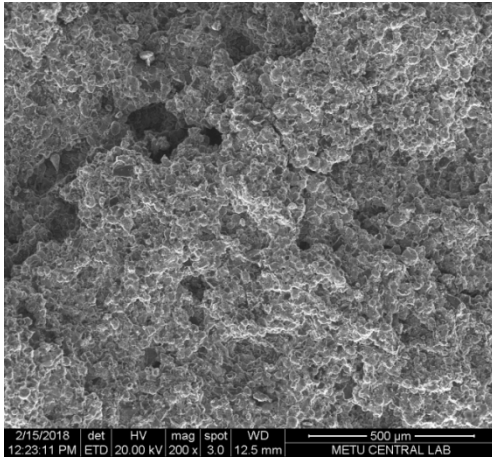
%6 TiB₂+%12 B₄C - 1000×



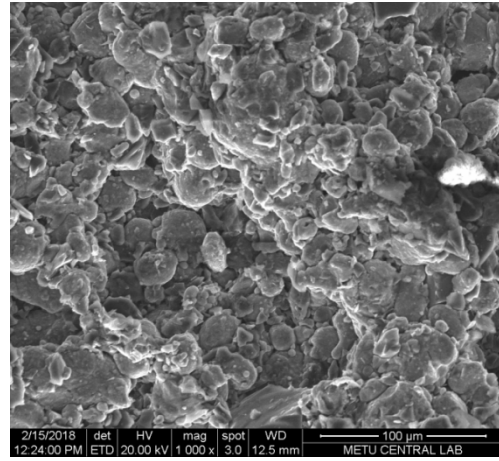
%8 TiB₂+%16 B₄C - 200×



%8 TiB₂+%16 B₄C - 1000×



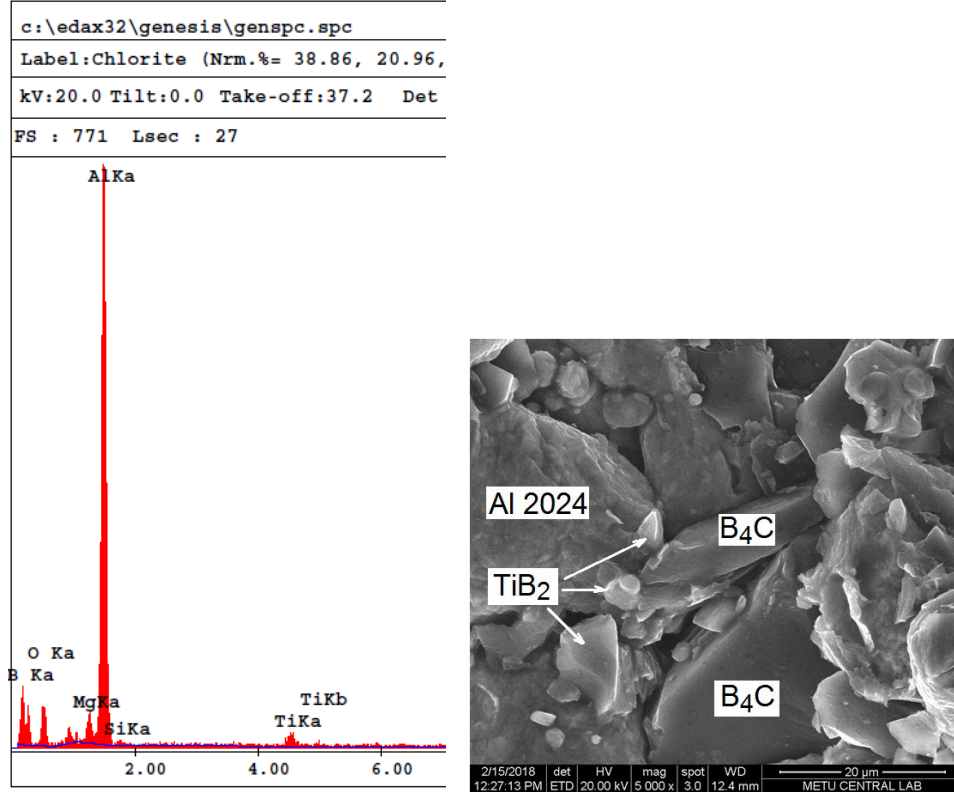
%10 TiB₂+%20 B₄C - 200×



%10 TiB₂+%20 B₄C - 1000×

Şekil 7 (devam): Kumpozit numunelerin kırılmış yüzeylerine ait SEM görüntüleri

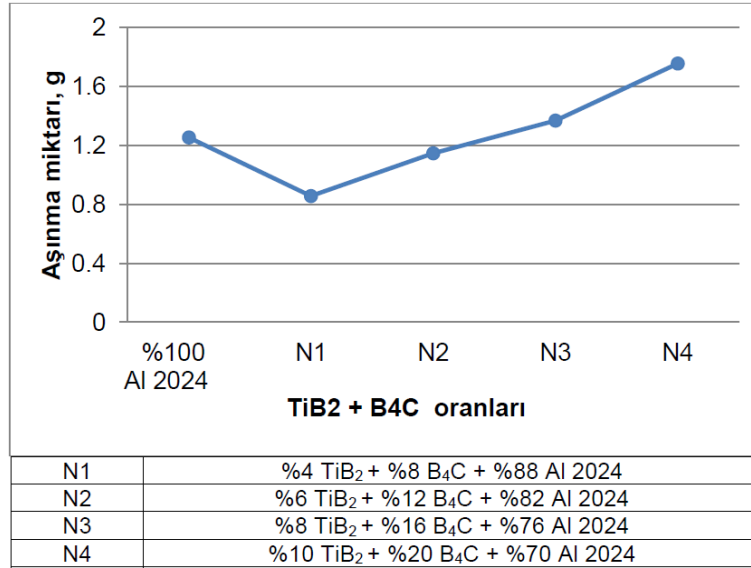
Şekil 7’deki kırık yüzey görüntüleri incelendiğinde, kırılmanın genelde gevrek kırılma şeklinde meydana geldiği anlaşılmaktadır. Kırılmanın çoğunlukla Al 2024 matris ile TiB_2 ve B_4C takviye elemanı ara yüzeylerinde olduğu, bunda ıslatma probleminin yanında matris ile takviye ara yüzeyinde yoğunlaşan boşluklardan ve takviye elemanlarının, kompozit yapı içerisinde oluşturduğu çentik etkisinden kaynaklandığı düşünülmektedir. SEM görüntülerine dikkatlice bakıldığında, ne Al 2024 taneciklerinin nede takviye elemanı olan TiB_2 ve B_4C taneciklerinin kırılmadan kompozit yapı içerisinde kaldığı görülmektedir. Matris malzemesi Al 2024 tanecikleri ile takviye elemanı TiB_2 ve B_4C tanecikleri arasında çok güçlü bir bağ oluşmamıştır. Matris malzemesi takviye elemanlarını yeterince ıslatamamıştır. ıslatma istenilen yeterlilikte olabilseydi, hem yoğunluk değerleri hemde kırılma ve sertlik gibi diğer mekanik değerlerin daha yüksek çıkabileceği değerlendirilmektedir. Özellikle toplamda %30 olan en yüksek takviye oranı, kompozit yapı içerisindeki gevrekliği oldukça fazla yükseltmiştir. Şekil 7’deki görüntülere bakıldığında %4 TiB_2 +%8 B_4C takviyeli kompozit yapının, diğer kompozit yapılara göre daha tok ve yoğun olduğu gözlenmektedir. Yapılan bu yorumların yanında, kırılma deney sonuçlarına etki eden en önemli parametrenin, kompozit yapı içerisindeki takviye elemanlarının miktarı olduğu değerlendirilmektedir. SEM çekimleri sırasında kompozit yapı içerisindeki elemanların tespiti için ayrıca EDS analizi yapılmıştır. Yapılan EDS analizine ait görüntü ve grafik Şekil 8’de verilmiştir.



Şekil 8: TiB_2 ve B_4C takviyeli Al 2024 kompozitin EDS analizi ve SEM görüntüsü

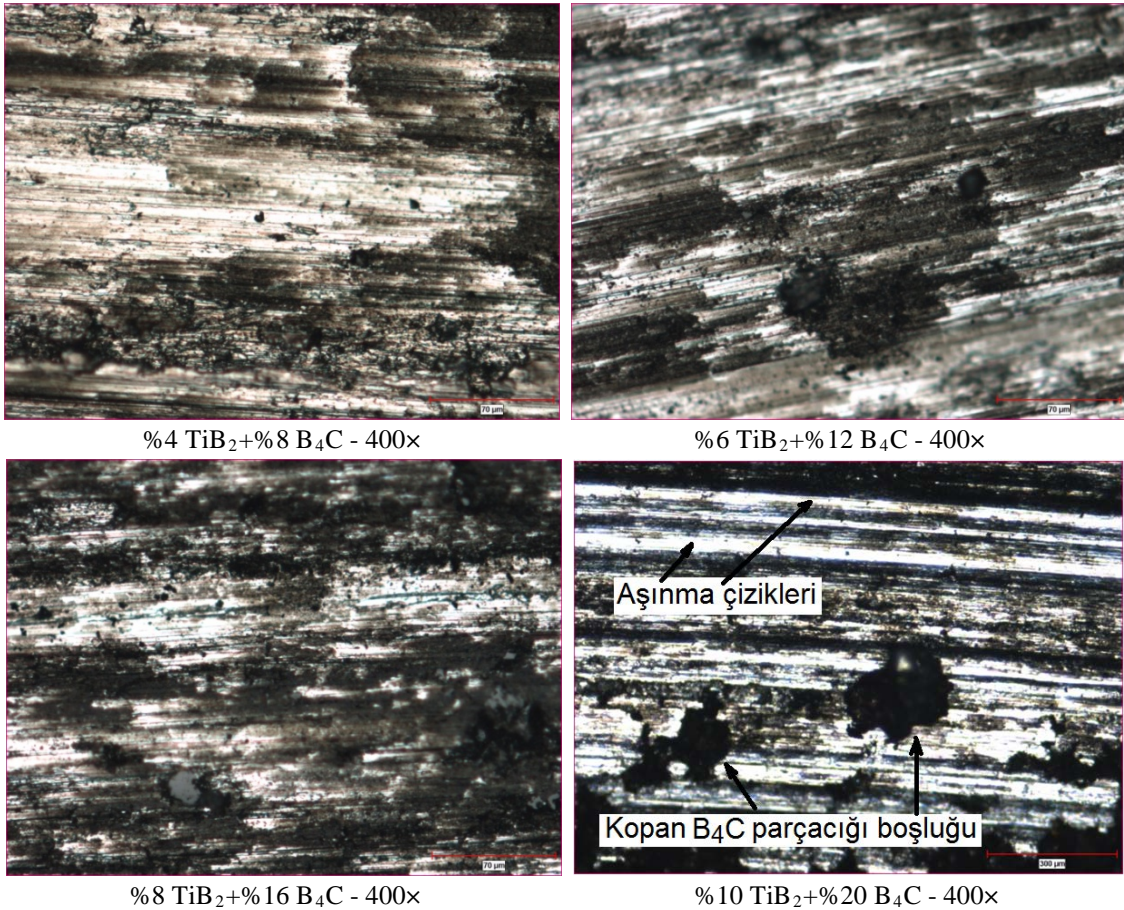
3.5. Aşınma sonuçlarının değerlendirilmesi

Kompozit numunelerin, pin-on-disk yöntemi ile yapılan aşınma deneylerinden elde edilen aşınma miktarı değerleri Şekil 9’daki grafikte gösterilmektedir.



Şekil 9: Kompozit numunelere ait aşınma miktarları

Şekil 9'daki grafiğe bakıldığında, takviye elemanı miktarının artmasıyla aşınma miktarlarındaki artış göze çarpmaktadır. Ancak takviyesiz %100 Al 2024 numune ile kıyaslandığında; en düşük takviye oranı olan 1 numaralı numune (N1), %100 Al 2024 numuneye göre daha yüksek aşınma direnci göstermiştir. Daha sonraki numunelerde kompozit yapı içerisindeki TiB₂ ve B₄C oranları arttıkça aşınma direnci azalarak aşınan malzeme miktarları artış göstermiştir. Yani, belli orana kadar olan (%4 - %8) takviye elemanı miktarı aşınma direncini artırırken, takviye oranı yükseldikçe aşınma direnci azalmaktadır. Bu durum sertlik değerleriyle birlikte ele alındığında, sertlik ile aşınma miktarları arasındaki ters orantı ortaya çıkmaktadır. Sertlik değeri en az olan %10 TiB₂+%20 B₄C takviyeli kompozit numune, en fazla aşınma miktarını sergilemiştir. Bu değerlendirmelerin yanında, önceki bölümlerde yapılan yorumları da dikkate alarak, gözeneklilik artışının aşınma miktarlarını doğrudan etkilediği söylenebilir. Benzer sonuçlar literatürde yer almaktadır Hasırcı ve Gül (2010), Islak ve Çelik (2015), (Meydanoğlu, Mindivan, Kayalı, Çimenoglu, 2006). Grafikler ve elde edilen sayısal değerler üzerine yapılan bu yorumlara ilaveten kompozit numunelerin aşınma yüzeylerinden 400× büyütme ile çekilen optik mikroskop görüntülerinden örnekler Şekil 10'da verilmektedir.



Şekil 10: Kompozitlerin aşınma yüzeyi görüntüleri

Şekil 8'deki görüntüler incelendiğinde, TiB₂ ve B₄C takviye elemanı miktarının artmasıyla kompozit yapı içerisindeki boşluk miktarının arttığı ve aşınma çizgilerinin genişlediği görülmektedir. Takviye elemanı miktarının artması giderek yoğunlaşan gözeneklilik sebebiyle TiB₂ ve B₄C parçacıkları ile Al 2024 matris malzemesi ara yüzeylerinde zayıflama hatta boşluklar meydana getirmiştir. Bu zayıflama ve boşluklar sonucunda aşınma deneyleri sırasında çok miktarda TiB₂ ve B₄C parçacığı kompozit yapı içerisinden koparak uzaklaşmıştır. Çok sert fazdaki TiB₂ ve B₄C parçacıklarının koparak uzaklaşması sırasında kompozit yapı üzerinde derin çizikler meydana gelmiştir. Hem kopan TiB₂ ve B₄C parçacıklarının miktarı hemde yumuşak fazdaki Al 72024 yapı üzerinde oluşturduğu çiziklerden meydana gelen malzeme kaybı sonucunda aşınma miktarı artmıştır. Özellikle Şekil 10 (d)'deki mikroskop görüntüsünde bu durum açıkça gözlenmektedir. Önceki bölümlerde de ifade edildiği gibi matris malzemesi ile takviye parçacıkları arasındaki yetersiz ıslatma sonucundaki zayıf bağ oluşumu, elde edilen aşınma değerlerinde önemli rol oynamıştır. Benzer sonuçlar İpek (2005) ve Cambroner, Sanchez, Ruiz-Roman, Ruiz-Prieto, (2003) yaptığı çalışmalarda ifade edilmiştir. Dolayısıyla, Şekil 10'daki optik mikroskop görüntüleri ile aşınma deneyleri sonucunda elde edilen değerlerin birbirini desteklediği söylenebilir.

4.SONUÇLAR

Yapılan deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

- Toz metalurjisi yöntemi kullanılarak elde edilen kompozit numunelerde nispeten homojen bir takviye dağılımı elde edilmiştir. Takviye oranının artmasına bağlı olarak homojenlikte artış gözlenmiştir. Ancak yoğunluk değerleri azalmıştır.
- 750 MPa presleme basıncı yeterli olmakla birlikte ileride yapılacak çalışmalarda 800 ve 850 MPa basınçlar denenebilir.
- Kompozit yapı içerisinde TiB₂ ve B₄C takviye miktarının %4 ve %8 olduğu kompozitte sertlik değeri saf Al 2024 numuneye göre artmış ancak, TiB₂ ve B₄C takviye miktarı yükseldikçe sertlik değerleri azalmıştır.
- Bu çalışma için 560 °C olan sinterleme sıcaklığı tam yeterli olamamış ve matris ile takviye arasında istenen ıslatma, güçlü taneler arası bağ oluşturacak seviyeye çıkamamıştır.
- Meanik özellikler açısından en optimum takviye oranları 1 numaralı (%4 TiB₂+%8 B₄C) numuneden elde edilmiştir.
- Bu tür kompozitler için %10 TiB₂+%20 B₄C takviye oranları, mekanik özellikler yönünden yüksek kalmıştır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma 2017/005 numaralı proje kapsamında Kırıkkale Üniversitesi BAP Birimi tarafından desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- Abejonar J., Velasco F., Martinez, M.A., (2007). "Optimization of Processing Parameters for the Al+ 10% B₄C System Obtained by Mechanical Alloying", Journal of Materials Processing Technology 184,1-3, 441-446.
- ASTM B312, (2008). "Transverse Rupture Strength Test Fixture of Metal Powder", ASTM International, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.
- ASTM-B 528-05, (2008). "Standard Test Method for Transverse Rupture Strength of Metal Powder Specimens" ASTM International, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.
- Ay H., (2014). "Toz metalurjisi yöntemi ile üretilen AA7075 alüminyum alaşımına Ti ve B₄C ilavesinin aşınma davranışı üzerine etkisinin incelenmesi", Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Ayvaz M., Çetinel H., (2014). "Farklı Matris Kompozisyonları ve Takviye Oranları İçin Alüminyum Esaslı Kompozitlerin Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretimi ve Karakterizasyonu", C.B.Ü. Fen Bilimleri Dergisi, 10,1, 45-53
- Cambroner L.E.G., Sánchez E., Ruiz-Roman J.M., Ruiz-Prieto J.M., (2003). "Mechanical characterisation of AA7015 aluminium alloy reinforced with ceramics", Journal of Materials Processing Technology, 143-144, 378-383.
- Gomez L., Busquets-Mataix D., Amigo V., Salvador M.D., (2009). "Analysis of boron carbide aluminium matrix composites", Journal of Composite Materials, 43, 987-995.
- Hasırcı H., Gül F., (2010). "B₄C/Al Kompozitlerin Takviye Hacim Oranına Bağlı Olarak Abrasif Aşınma Davranışlarının İncelenmesi", SDU International Technologic Science, 2, 1, 15-21.

- Islak S., Çelik H., (2015). “Effect of Sintering Temperature and Boron Carbide Content on the Wear Behavior of Hot Pressed Diamond Cutting Segments”, *Science of Sintering*, 47, 131-143.
- İpek R., (2005).“Adhesive wear behaviour of B₄C and SiC reinforced 4147 Al matrix composites (Al/B₄C–Al/SiC)”, *Journal of Materials Processing Technology*, 162–163, 71–75.
- Orhan A, Gür A. K, Çalığülü U., (2007).“Al Matrisli B₄C Takviyeli Kompozitlerin Sıcak Presleme Yöntemiyle Üretimi”, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 4, 8-13.
- Keshavamurthy R., Sadananda Mageri, Ganesh Raj, Naveenkumar B., Prashant M, Kadakol and Vasu K., (2013). “Microstructure and Mechanical Properties of Al7075-TiB₂ in-situ composite”, *Research Journal of Material Sciences*, 1(10), 6-10.
- Meydanoğlu O., Mindivan H., Kayalı E., Çimenoğlu, H., (2006). “Sıcak Presle Üretilen B₄C Takviyeli Alüminyum Matrisli Kompozitlerin Aşınma Davranışlarının İncelenmesi”, 11.Uluslararası Malzeme Sempozyumu, 19-21 Nisan, Denizli.
- Nazik C., (2013).”Alüminyum matrisli B₄C parçacık takviyeli kompozitlerin toz metalurjisi yöntemiyle üretimi ve mekanik özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Rahamian M., Parvin N., Ehsani N., (2010). “Investigation of Particle Size and Amount of Alumina on Microstructure and Mechanical Properties of Al Matrix Composite Made by Powder Metallurgy”, *Materials Science and Engineering*, 527, 4-5, 1031-1038.
- Sreenivasan A., Paul Vizhian S., Shivakumar N.D., Muniraju M. and Raguraman M., (2011). “A study of microstructure and wear behaviour of TiB₂/Al metal matrix composites”, *Latin American Journal of Solids and Structures*, 8, 1-8.
- Srivatsan T.S., Guruprasad G., Black D., Radhakrishnan R., Sudarshan T.S., (2005). “Influence of TiB₂ content on microstructure and hardness of TiB₂–B₄C composite”, *Powder Technology*, 159, 161 – 167.
- TS EN ISO 4498, (2011). “Sinterlenmiş metal malzemeler (sert metaller hariç) - Görünen sertliğin ve mikrosertliğin tayini”, TSE, Ankara.
- TS EN ISO 6506-1, (2007). “Metalik malzemeler - Brinell sertlik deneyi - Bölüm 1: Deney metodu” , TSE, Ankara.