



Basınçlı İnfiltrasyon Yöntemiyle Üretilen AA2024 ve AA6061 Matrisli, B₄C ve SiC Takviyeli Kompozit Malzemelerin Mikroyapı, Mekanik ve Isıl İletkenlik Özelliklerine Basıncın Etkisi

Effect Of Pressure On The Microstructure, Mechanical and Thermal Conductivity Properties Of Composite Materials with Matrix of AA2024 or AA6061 and Reinforced B₄C or SiC Produced by Pressurized Infiltration Method

Kadir Gündoğan¹ , Alperen R.B. Özşarı¹ 

¹ Uşak Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Malzeme Bilimi ve Nanoteknoloji Mühendisliği, Uşak, TÜRKİYE.

Başvuru/Received: 26/02/2019

Kabul/Accepted: 18/06/2019

Son Versiyon/Final Version: 30/06/2019

Öz

Bu çalışmada, AA2024 veya AA6061 matrisli, B₄C veya SiC partikül takviyeli olarak üretilen kompozit malzemelerin mikroyapı, mekanik ve ısıl iletkenlik özelliklerine, matris bileşimi ile basınç değerinin etkisi incelenmiştir. 48 µm ortalama tane boyutuna sahip B₄C tozları veya 37 µm ortalama tane boyutuna sahip SiC tozları kullanılarak çelik borular içerisine 50x8 mm ölçülerinde preformlar oluşturulmuştur. Basınçlı infiltrasyon tekniği kullanılarak 800 °C'de 7 veya 8 bar basınçlarda alüminyum matrisler preformlara infiltre edilmiştir. Elde edilen kompozitlerin mikroyapı analizleri EDS donanımlı taramalı elektron mikroskopu (SEM) kullanılarak incelenmiştir. Üretilen numunelerin SEM görüntülerinde homojen bir mikro yapı dağılımı gözlemlenmiştir. Numunelerin porozite analizi alkol içerisinde daldırılmalı askı aparatlı hassas terazi cihazı kullanılarak yapılmıştır. Basınç miktarı arttıkça, porozite hacim oranlarında büyük ölçüde azama meydana gelmiştir. Matris elemanlarına ayrı ayrı olarak infiltre edilen takviye elemanlarının matris elemanında oluşturdukları yapısal farklılıklar, X-Işını difraksiyonu (XRD) ile incelenmiştir. Üretilen kompozit malzemelerin basınç miktarının artması ile sertlik dayanımlarında ve basma mukavemetlerinde artış meydana geldiği gözlemlenmiştir. Mekanik özellikler açısından kıyaslamada takviye elemanları açısından kıyaslama yapıldığında SiC takviyeli kompozit malzemelere göre B₄C takviyeli kompozit malzemelerin daha iyi mekanik özelliklere sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler

“AA6061, AA2024, Kompozit Malzeme, Basınçlı İnfiltrasyon, Mikroyapı, Mekanik Özellikler, SiC, B₄C”

Abstract

In this study, the effect of matrix composition and pressure value on the microstructure and mechanical properties of composite materials produced by AA2024 and AA6061 matrix and 50% B₄C and SiC particle supplementation were investigated. Preforms were formed by using SiC powders with B₄C powders having an average grain size of 48 µm and a particle size of 37 µm. The prepared preforms were infiltrated with aluminum matrices at 7 and 8 pressures using the pressure infiltration technique at 800 °C. The microstructure analysis of the composite materials was carried out using EDS-equipped scanning electron microscope (SEM). A homogeneous microstructure was observed at the SEM analysis of the obtained samples. The porosity analysis was done by using the apparatus with the suspension apparatus in the integrated alcohol. A decrease in the porosity volume ratio was obtained with increasing pressure. It has been observed that the increase in the pressure amount of the composite materials produced increases the hardness strengths and compressive strengths. In addition, it is observed that B₄C reinforced composite materials have better mechanical properties than SiC reinforced composite materials when the reinforcement elements are compared.

Key Words

“AA6061, AA2024, Composite Material, Pressure Infiltration, Microstructure, Mechanical Properties, SiC, B₄C”

1. Giriş

Kompozit malzeme tanım olarak iki veya daha fazla sayıda, aynı yapıdaki veya farklı yapıdaki malzemelerin üstün oldukları özelliklerini tek bir malzemede birleştirmek için makro veyahut mikro düzeyde bir araya getirilmesiyle oluşturulan yeni malzemeler olarak tanımlanırlar. Otomobil lastikleri, sermetler ve karbon elyafı plastikler gibi kompozit malzeme şekliyle üretilen malzemeler bunlara örnek olarak gösterilebilir. Kompozit malzemeyi üç boyutlu şekilde meydana getirmede amaç, bileşenlerin hiçbirinde tek başına sağlanamadığı özelliklerin elde edilmesidir. Başka bir ifadeyle, istenilen özellikler doğrultusunda bileşenlerinden daha üstün özelliklere sahip bir malzeme elde edilmesi amaçlanmaktadır. Kompozit malzemelerin diğer malzeme çeşitlerine göre ön plana çıktıkları en iyi özellikleri hafif ve sağlamlık olarak ifade edebiliriz. Kompozit malzemeler son dönemlerde yaygın bir şekilde; otomotiv, deniz taşıtları, havacılık, makine, inşaat, askeri ve uzay teknolojisi alanlarında uygulanmaya başlanmıştır (Ateş vd., 2012).

Kompozit malzemeler, taşıyıcı görev üstlenen takviyeyle, takviyeyi bir arada tutup dış etkilerden koruyan matris olmak üzere iki fazdan meydana gelir. Metal matrisli kompozitler, istenilen özellikleri tek başlarına karşılayamayan metal malzemelerin, genel olarak seramik malzeme kaynaklı takviye elemanları kullanılarak meydana getirilen kompozit malzeme grubu olarak sınıflandırılır. Metal matrisli kompozitlerde talep edilen özelliklerin takviye elemanlarıyla malzemeye kazandırılması neticesinde, bu malzemeleri termal uygulamalarda ve devre elemanları olarak tercih edilen malzemeler haline getirmiştir. Genellikle bu kompozit malzemelerde kullanılan takviye elemanları, metal matrise göre daha düşük ısı genleşme katsayısına ve ısı iletkenlik değerine sahip partiküllerdir. Farklı üretim yöntemleriyle kullanım alanına uygun olarak istenilen özelliklerin malzemeye kazandırılabilmesi özelliğinden dolayı metal matrisli kompozitler ısı yönetim için tercih edilen en uygun malzemedir (Çevik vd., 2015; Çevik vd., 2016; Sevim vd., 2014).

Metal matrisli kompozitlerde genellikle matris malzemesi olarak alüminyum ve alüminyum alaşımları kullanılır. Buna karşın alüminyuma nazaran magnezyum, demir, titanyum ve süper alaşımlar gibi matris malzemeleri daha az kullanılmaktadır (Sevim vd., 2014). Kompozit üretiminde genellikle karbür, nitrür, oksit ve borür gibi refrakter bileşiklerden oluşan endüstriyel tozlar kullanılmaktadır. Ancak, daha çok tercih edilen süreksiz takviye elemanları partikül ve kılcal kristal formda SiC, Al₂O₃ ve B₄C'dir. SiC'ün sertliği, kırılmaya karşı direnci, elastisite modülü Al₂O₃'den daha yüksek, yoğunluğu ve ısı genleşme katsayısı daha düşük olduğundan genelde SiC'ün takviye elemanı olarak kullanımı daha yaygındır. B₄C ise yüksek sertlik, iyi iyileştirilebilirlik, korozyon dayanımı yüksek, iyi kaynak yapılabilir gibi özelliklerinden dolayı en çok tercih edilen takviye elemanlarından biridir (Ahlacı vd., 2016).

Metal matrisli kompozit üretiminde döküm, toz metalurjisi, insitu ve infiltrasyon gibi farklı yöntemler tercih edilmektedir (Ahlacı vd., 2016; Stefanescu vd., 1992; Gedeon vd., 1991). Günümüzde metal matrisli kompozit malzeme üretiminde sıvı yöntemler, partikül takviyeli metal matrisli kompozit malzemelerde oldukça tercih edilen üretim yöntemlerindedir (Şahin, 2003). İnfiltrasyon yönteminde kendi içerisinde birkaç çeşitli uygulama tekniği vardır. Bu teknikler; basınçlı infiltrasyon, basınçsız infiltrasyon ve vakum infiltrasyon olmak üzere 3 başlıkta sıralanabilmektedir (Buhrmaster vd., 1988; Aguliar-Martinez vd., 2003). Basınçlı infiltrasyon yöntemi; ön şekil verilmiş gözenekli takviye elemanlarına sıvı metal matrisin nüfuz edebilmesi için, sıvı metal matrise mekanik basınç uygulamak yerine inert gaz basıncı uygulayan bir sıvı infiltrasyon tekniğidir (Hamzawy vd., 2005). Genel olarak son şekle yakın üretim imkânı sağlaması, hızlı ve yüksek üretim kapasitesine sahip olması gibi sağladığı avantajlarından ötürü basınçlı infiltrasyon yöntemi en sık tercih edilen önemli üretim tekniklerindedir. Bu yöntemde matris malzemesi olarak daha çok alüminyum ve magnezyum alaşımları geniş kullanım alanına sahip olmuşlardır. Bunların arasında üstün Alüminyum ve alaşımları sağladıkları mekanik özelliklerle, düşük elektrik iletkenliğine, yüksek korozyon direncine, düşük yoğunluğa ve diğer hafif metallere göre düşük maliyete sahip olmaları gibi özelliklerden ötürü matris alaşımı olarak kullanımı diğer alaşımlara nazaran daha çok ön plana çıkarak çalışmalarda yer bulmaktadır (Çevik vd., 2015).

Hafif metaller arasında düşük yoğunluk, yüksek korozyon direnci ve düşük üretim maliyeti gibi avantajları ile öne çıkan alüminyum ve alaşımları metal matrisli kompozitlerde matris elemanı olarak tercih edilmede ilk sıralarda yer almaktadır. Bu sebeplerden dolayı metal matrisli kompozit üretiminde alüminyum ve alaşımları, otomotiv, havacılık ve bilişim sektörlerinde ticari olarak kullanılmasının yanı sıra bilim adamları tarafından da farklı uygulama alanları için çalışmalarda kullanılmaktadır (Çevik vd., 2016; Sevim vd., 2014). Basınçlı infiltrasyon tekniğinde; sıvı metal sıcaklığı, takviye tane büyüklüğü, infiltrasyon süresi ve basıncı en önemli infiltrasyon parametrelerini teşkil ederler ve sıvı metal sıcaklığı bu parametrelerin en önemlilerinden birisidir. Elektronikte kullanılan paketleme malzemeleri; yüksek termal iletkenliğe, ideal yoğunluğa, düşük termal genleşme katsayısına, uygun maliyete sahip olması gerekmektedir. Fakat geleneksel paketleme malzemeleri bütün bu özellikleri karşılamadığından seramik takviyeli metal matrisli kompozitler geliştirilmiştir (Benal vd., 2007). Bundan dolayı kompozit malzemelerin ısı iletkenlik katsayılarının önemi son zamanlarda daha da fazla bir şekilde önem kazanmıştır. Elektronik sektöründeki yeni uygulama çalışmalarında; elektronik cihaz boyutlarının olabildiğince küçük hale getirilmesi ve ortaya koyabilecekleri güçlerinin artması sayesinde bu cihazlarda kullanılacak olan malzemeler için ısı iletim katsayısı 250-300(W/mK) gibi oldukça yüksek, yaklaşık malzemelere ihtiyaç duyulmaktadır (Zweben, 1998; Liu vd., 1997). Metal matrisli kompozit malzemelerin mikroyapısı ısı iletkenliklerinde çok önemli bir rol oynar (Ateş ve Kızılok, 2011).

Narciso J., ve arkadaşları (1995) yaptıkları çalışmada, matris malzemesi olarak alüminyum, takviye elemanı olarak SiC kullanarak basınçlı infiltrasyon yönteminde sıcaklığın infiltrasyona etkisini incelemiştirler. 750°C ile 1000°C sıcaklık aralığında yapılan deneylerde takviye-hacim oranı yaklaşık olarak %57'dir. Sonuç olarak SiC kompaktların infiltrasyonunda sıcaklık artması ile eşik basıncın azaldığını belirlemiştirler (Narciso vd., 1995).

Ahlatçı H., ve arkadaşları (2002) yapmış oldukları çalışmada, saf Al (%99.8) matrisli ve %60 oranında SiC partikül takviyeli kompozit malzemelerin tane boyutunun darbe davranışı üzerine etkisini araştırmışlar, elde ettikleri verilere göre SiC partiküllünün tane boyutu arttıkça kompozit malzemenin darbe dayanımının düştüğünü belirtmişlerdir. Partikül tane boyutunun artışı ile partiküllerdeki kırılma hasarının artması sonucuna varmışlardır (Ahlatçı vd., 2002).

Chong Y., ve arkadaşları (1993) yaptıkları çalışmada, SiC takviyeli alüminyum alaşımı matrisli kompoziti basınçlı infiltrasyon tekniğini kullanarak üretmişlerdir. İnfiltrasyon için gerekli eşik basıncın artan SiC parçacık büyüklüğü ve artan infiltrasyon sıcaklığı ile azaldığını tespit etmişlerdir. Çalışmada ayrıca artan infiltrasyon sıcaklığı ile gözenek miktarının azaldığını tespit etmişlerdir (Chong vd. 1993).

Mazaheri Y., ve arkadaşları (2013) yapmış oldukları çalışmada, Al-% 10 TiC, Al-% 10 B₄C, Al-% 5 TiC-% 5 B₄C döküm teknikleri ile üretilen kompozitleri ele almışlardır. Ancak, döküm tekniği ile üretilen kompozit malzemelerde takviye elemanlarının matris içerisine homojen olarak dağılamama sorunu ile karşılaşmaktadır. Bu sorunlar nedeniyle kompozit malzemeler üretilirken takviye elemanlarının bir noktaya yığılmaması için dikkatli olunmuştur. Kompozit malzemelerin mikroyapı karakterizasyonu, EDS ve XRD ile SEM kullanılarak incelenmiştir. Numunelerin mekanik karakterizasyonu incelendiğinde maksimum sertlik Al-% 5 TiC-% 5 B₄C kompozit malzemesinde, maksimum uzama özelliği Al-% 10 TiC kompozit malzemesinde, maksimum verim ve çekme dayanımı ise Al-% 10 B₄C kompozit malzemesine ait olduğunu gözlemlenmiştir. Ayrıca, kompozitlerin özellikleri açısından en iyi davranışı Al-B₄C kompozit malzemesi sergilemiştir (Mazaheri vd., 2013).

Şahin, Y., (2003) yaptığı çalışmasında; inert gaz altında sıkıştırılmalı döküm metodu ile ağırlıkça %10 ve %20 ile farklı tane büyüklüklerinde SiC'le takviyelendirilmiş alüminyum alaşımli kompozit malzemeleri üretmiştir. Mikroskopik inceleme, sertlik, yoğunluk ve porozite ölçümü gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, kompozit malzeme, farklı hızlarda ve derinliklerde farklı kesme takımları kullanarak kesme işlemine tabi tutulmuştur. Mikroyapı incelemesinde homojen bir dağılım gözlemlenmiştir. Yoğunluğun azalan partikül ebadı ile düştüğü, buna karşın porozite miktarının artan partikül ebadı ile azaldığı belirtilmiştir. Bunlara ek olarak, bütün testlerde takım ömrünün, artan kesme hızı ile önemli derecede azaldığı tespit edilmiştir. Kesme takımları arasında SiC takviyeli kompozit malzemenin işleminde, Al₂O₃ kaplı takımın aşınma direnci performansının kırıcı çentiği olmayan diğer takımlarinkinden daha iyi olduğu belirtilmiştir. (Şahin, 2003).

Yapılan literatür çalışmaları incelendiğinde bir çok çalışmada kullanılan AA2024 ve AA6061 alüminyum alaşımlarına farklı kompozit malzeme üretim yöntemleriyle takviye edilen B₄C ve SiC takviye elemanlarının mikroyapı ve mekanik özellikleri incelendiği görülmüştür. İncelemeler sonucunda ise B₄C ve SiC takviyeli AA2024 ve AA6061 matrisli kompozit malzemelerin sabit sıcaklıkta değişken basınçlar altında üretilmediği gözlemlenmiştir. Ayrıca, yapılan çalışmalarda genel olarak sadece tek takviye elemanı ile üretilen kompozit malzemenin mekanik özellikleri incelenmiş ve literatür araştırması ile farklı takviye elemanlarının etkileri karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada aynı üretim yöntemi ve üretim şartları içerisinde farklı takviye elemanlarının kompozit malzemenin mekanik ve ıyapı özelliklerine etkisi net olarak incelenmiştir. Literatürdeki bu açığın giderilmesi için bu çalışmanın yapılmasına karar verilmiştir. AA2024 veya AA6061 matrisli, B₄C veya SiC partikül takviyeli olarak üretilen kompozit malzemelerin mikroyapı, mekanik ve ısı iletkenlik özelliklerine, matris bileşimi ile basınç değerinin etkisi incelenmiştir. Elde edilen kompozitlerin mikroyapı analizleri EDS donanımlı taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak incelenmesi yapılmıştır. Ayrıca matris elemanlarına ayrı ayrı olarak infiltre edilen takviye elemanlarının matris elemanında oluşturdukları yapısal farklılıklar, X-Işını difraksiyonu (XRD) ile incelenmiştir. Sertlik ve basma deneyleriyle mekanik özellikler belirlenerek, üretilen kompozit malzemelerin termal iletkenlik katsayısı analizi yapılmıştır.

2. Deneysel Yöntem

Bu çalışmada, ticari olarak temin edilen AA2024 veya AA6061 alüminyum alaşımları matris elemanı olarak kullanılmıştır. 8 mm çapındaki paslanmaz tüp içerisine hazırlanan üretilmek istenen preformun hacim olarak %50 oranında B₄C veya SiC takviye elemanları eklenmiş, bu çelik tüplerin içerisine pota içerisnde erğitilen matris alaşımları 7 bar veya 8 bar basınç değerleri ile infiltrasyon prosesi kullanılarak infiltre edilmiştir. Üretilen kompozit malzemelerin öncelikle mikroyapı karakterizasyonu yani SEM, EDS ve XRD analizleri gerçekleştirilmiştir. Mekanik özellikleri ise sertlik ve basma deneyleri ve termal iletim katsayısı analiziyle incelenmiştir. Tablo 1 ve Tablo 2'de matris elemanı olarak kullanılan alüminyum alaşımlarının kimyasal bileşimleri ve mekanik özellikleri verilmiştir. Takviye elemanı olarak ortalama 48 µm tane boyutuna sahip B₄C partikülleri ile, ortalama 37 µm tane boyutuna sahip SiC partikülleri kullanılmıştır.

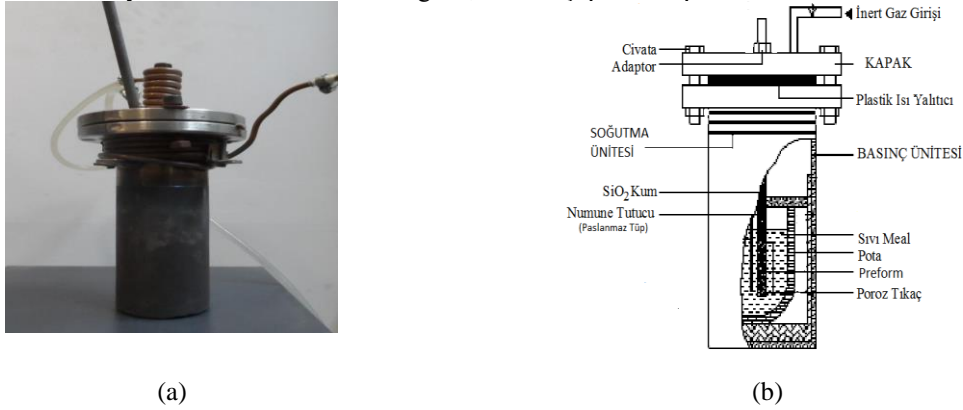
Tablo 1. Kullanılan matris elemanlarının kimyasal bileşimleri

Alaşım	Fe	Si	Cr	Mn	Mg	Zn	Cu	Ti	Zi+Ti	Diğer	Al
AA2024	0.5	0.5	0.1	0.3-0.9	1.2-1.8	0.25	3.8-4.9	-	0.15	0.15	Kalan
AA6061	0.5	0.6-1.0	0.1	0.2-0.8	0.8-1.2	0.25	0.6-1.1	0.1	-	0.15	Kalan

Tablo 2. Kullanılan matris elemanlarının mekanik özellikleri

Alaşım	Akma Mukavemeti (MPa) min-max	Çekme Mukavemeti (MPa) min-max	Uzama (%50) min-max	Sertlik (Brinel) min-max
AA2024	75	185	20	55
AA6061	103-228	55-124	26	30

Kompozit malzemelerin üretiminin gerçekleştirildiği basınçlı infiltrasyon ünitesine ait fotoğraf ve şematik görüntüler Şekil 1’de yer almaktadır. İnfiltrasyon ünitesi 230 mm uzunluğuna, 70 mm çapına sahiptir.



Şekil 1. Kompozit malzemelerin üretiminde kullanılan infiltrasyon ünitesine ait (a) fotoğraf ve (b) şematik görünüm

Düzenek her şeyi ile tam olarak hazır hale getirilerek infiltrasyon sıcaklığı olarak belirlediğimiz 800°C sıcaklığa 1 h’te çıkartılmış ve tam olarak ergimenin sağlanması amacıyla 1 h daha beklenilmiştir. Hazırlanan preform, ergiyik içerisine daldırılarak sıvı metalin sıcaklığına ulaşması için 2 min. infiltrasyon ünitesi içerisinde tutulmuştur. Sonra 3 min. boyunca 7 bar veya 8 bar infiltrasyon basınçları uygulanmış ardından argon gazı ünitiden serbest bırakılmıştır. Üretimi gerçekleştirilen kompozit malzemeler infiltrasyon ünitesinden çıkarıldıktan sonra doğal soğumaya bırakılmıştır. Soğuyan kompozit malzemeler torna ile paslanmaz tüpler yüzeyden temizlenmiş ve kompozit malzemeler elde edilmiştir.

Şekil 2’de şematik görüntüsü yer alan 10 mm dış çapında, 8 mm iç çapında ve 350 mm uzunluğunda paslanmaz tüpler preform tutucu olarak kullanılmıştır. Paslanmaz tüpün ucu %85 poroziteye sahip alümina filtre ile kapatılmıştır. Paslanmaz tüp içerisinde takviye hacim oranı %50 olacak şekilde Ø8x50 mm uzunluğunda preformlar elle vibrasyona tabii tutulmak hazırlanmıştır. İnfiltrasyon sırasında partiküllerin homojen dağılımının bozulmaması amacıyla hazırlanan preformun üstü alümina filtreyle kapatılmış ve tüpün kalan kısmı silika döküm kum ile doldurulmuştur.



Şekil 2. (a) Numune tutucu paslanmaz çelik tüpün şematik görünümü ve (b) Üretilen metal matrisli kompozit malzeme

Mikroyapı incelemeleri için numuneler öncelikle uygun boyutlara gelebilmesi için hassas kesme cihazında elmas diskle kesilmiştir. Struers marka cihazla sıcak bakalit'e alınmıştır ve daha sonra standart metalografik prosedür uygulanarak Struers marka otomatik zımparalama-parlatma cihazında numuneler metalografik inceleme için hazır hale getirilmiştir. Mikroyapısal incelemeler enerji dağılımı spektrometresi (EDS) donanımlı Carl Zeiss Ultra Plus Gemini Fesem taramalı elektron mikroskobu kullanılarak yapılmıştır. Numunelerin porozite analizi alkol içerisinde daldırılmalı askı aparatlı hassas terazi cihazı kullanılarak yapılmıştır.

Rigaku Ultima IV marka X ışınları difraksiyonu cihazı kullanılarak, 40 kv jeneratör gerilimi, 30 mA akımda 20° - 90° açı aralığında ve 0.02 adım tarama boyutlu 2 derece/dk. hızda XRD desenleri elde edilmiştir. Metalografik prosedürler uygulanarak hazırlanan numunelere, makrosertlik cihazında Brinell batıcı uç ile sertlik ölçümü gerçekleştirilmiştir. Sertlik deneyi 62.5 kg yük altında 15 saniye süreyle, her bir numuneden 7 adet ölçüm alınmış ve bu ölçümlerin ortalama değerleri hesaplanarak sertlik değerleri

belirlenmiştir. Zwick/Roell Z600 marka test cihazı ile cihazının çene hızı 30 mm/h olarak seçilerek basma deneyi 8 mm çapında ve 14 mm yüksekliğinde numuneler kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Numunelerin ısı iletkenlik değerleri, Anter Flash Line 2000 marka cihazla zamana bağlı ısı iletkenlik ölçüm temeline dayalı (Laser Flash) tekniği kullanılarak ısı yayılım katsayısından eşitlik (1) ile dolaylı olarak hesaplanmıştır.

$$\alpha = \frac{k}{p * c} \quad (1)$$

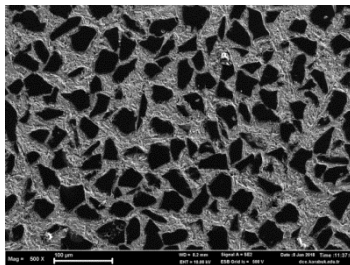
Bu cihazdaki ölçümler yapılırken numune boyutları cihaza uyarlanmak için Cast 95 ile çapı büyütülerek ölçümler yapılmıştır. Kompozit malzemelerin ısı iletkenlik değerini ölçmek için kullanılan flash tekniği geniş bir kullanım alanına sahiptir ve farklı sıcaklıklarda ısı iletkenliğinin ölçülmesine imkân sağlar (Liu vd., 1997). Uygulanan flash tekniğinde, cihaza yerleştirilen numunenin ön yüzü çok kısa süreli ve yoğun bir ısı enerjisiyle maruz bırakılmıştır. Isı iletkenlik ölçümleri 25°C sıcaklıktan başlanılarak 200°C'ye kadar sekiz farklı sıcaklık değerinde, her bir ölçüm cihaz tarafından en az üç kez yapılarak bu ölçümlerin ortalaması alınarak ısı iletkenlik katsayısı belirlenmiştir.

3. Araştırma ve Bulgular

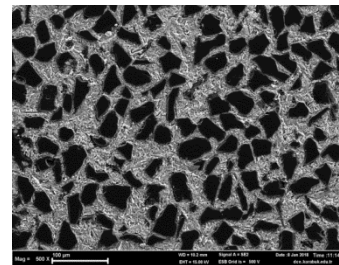
Ortalama 48 µm tane boyutu ile %50 hacim oranına sahip B₄C partikül takviyeli ve ortalama 37 µm tane boyutu ile %50 hacim oranına sahip SiC partikül takviyeli, sırayla 7 bar ve 8 bar basınç altında infiltrasyon işlemi gerçekleştirilerek üretilen AA2024 ve AA6061 matrisli kompozit malzemelerin taramalı elektron mikroskobu (SEM) incelemeleri aşağıda verilmiştir. Mikroyapısal incelemelerden, genel olarak partikül dağılımının uniform olduğu, matris içerisinde topaklanma sorunu gözlemlenmediği anlaşılmaktadır. Ancak porozitelerin genellikle partiküller etrafında yoğunlaştığı görülmektedir. Basınç miktarı arttırıldıkça porozite miktarının da azaldığı görülmektedir. Tablo 3'de AA2024 ve AA6061 matrisleriyle üretilen kompozit malzemelere ait takviye, matris ve porozite hacim oranları verilmiştir. Porozite miktarının 8 bar basınç altında üretilen kompozit malzemelerde, 7 bar basınç altında üretilen kompozit malzemelere göre daha çok azaldığı gözlemlenmiştir.

Tablo 3. Farklı basınç oranlarında infiltrasyonla elde edilen AA2024 matrisli kompozit malzemelerin takviye, porozite ve matris hacim oranları

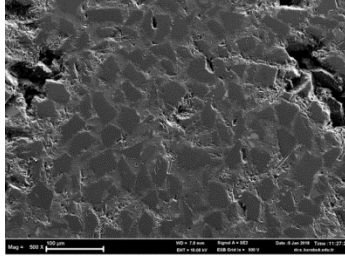
<i>Matris</i>	<i>Takviye Elemanı</i>	<i>Basınç Miktarı</i>	<i>Porozite (%)</i>
AA2024	B ₄ C	7	1.69
AA2024	B ₄ C	8	0.01
AA2024	SiC	7	2.27
AA2024	SiC	8	1.00
AA6061	B ₄ C	7	1.29
AA6061	B ₄ C	8	0.01
AA6061	SiC	7	2.26
AA6061	SiC	8	0.63



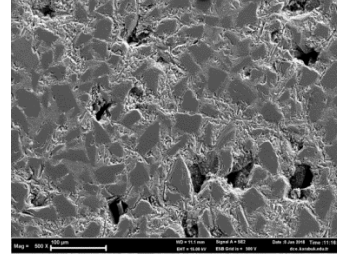
(a)



(b)

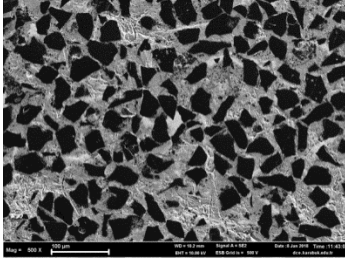


(c)

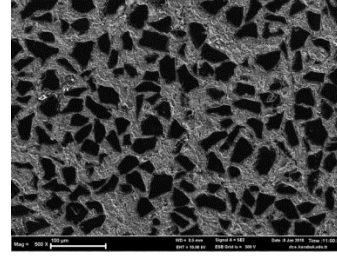


(d)

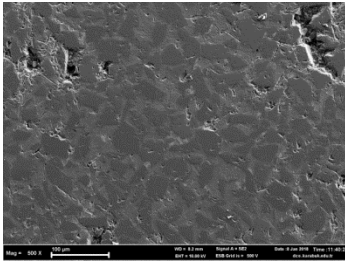
Şekil 3. Farklı basınç oranlarında infiltrasyon yapılan kompozit malzemelerin 500X büyütmede SEM görüntü analizleri (a) AA2024-B₄C-7 bar basınç, (b) AA2024-B₄C-8 bar basınç, (c) AA2024-SiC-7 bar basınç ve (d) AA2024-SiC-8 bar basınç



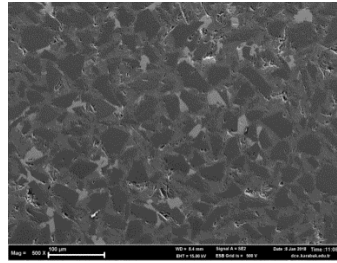
(a)



(b)

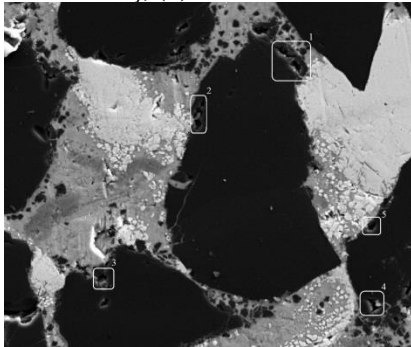


(c)

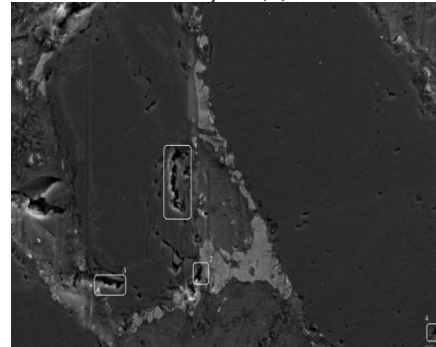


(d)

Şekil 4. Farklı basınç oranlarında infiltrasyon yapılan kompozit malzemelerin 500X büyütmede SEM görüntü analizleri (a) AA6061-B₄C-7 bar basınç, (b) AA6061-B₄C-8 bar basınç, (c) AA6061-SiC-7 bar basınç ve (d) AA6061-SiC-8 bar basınç



(a)

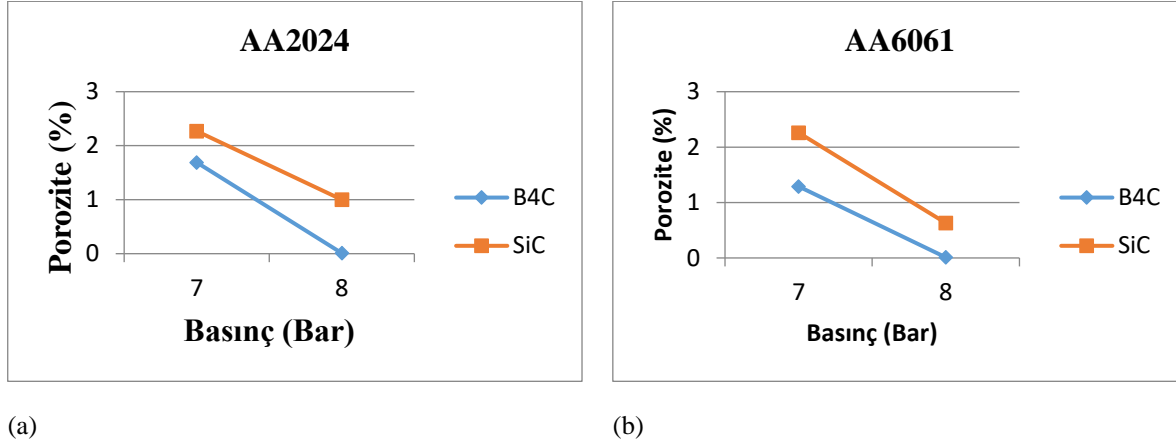


(b)

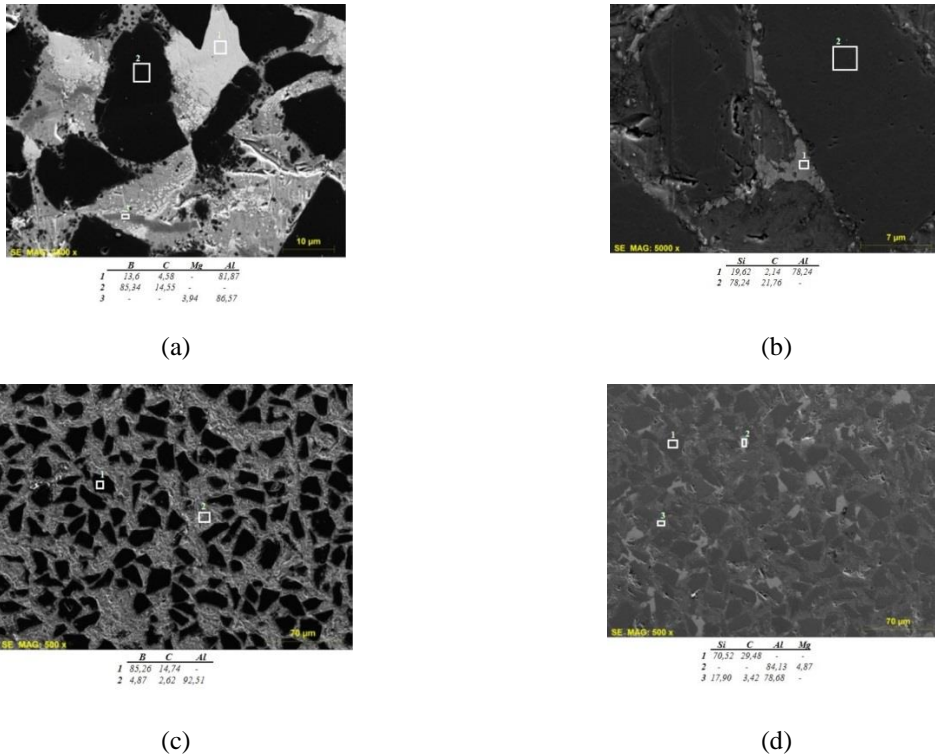
Şekil 5. Farklı basınç oranlarında infiltrasyon yapılan kompozit malzemelerin 5000X büyütmede SEM görüntü analizleri ve porozitelerin gösterilmesi (a) B₄C takviyeli kompozit malzeme, (b) SiC takviyeli kompozit malzeme

Basınçlı infiltrasyon yöntemiyle üretilmiş olan B₄C ve SiC partikül takviyeli AA2024 ve AA6061 matrisli kompozit malzemelerin mikroyapı görüntülerinde de (Şekil 3 ve 4) görüldüğü üzere B₄C ve SiC partikülleri homojen dağılmıştır. Şekil 5'de de görüldüğü üzere porozitenin B₄C ve SiC partiküllerinin etrafında yoğunlaştığı açıkça görülmektedir. Fakat SiC partiküllü kompozit malzemelerin B₄C partiküllü kompozitlere göre daha çok poroziteye sahip olduğu görülmektedir. Bu durumun, takviye elemanlarının toz tane boyutlarındaki farklılıktan kaynaklandığı anlaşılmaktadır. Üretimin çok hızlı gerçekleşmesi ve yüksek takviyeli kompozit malzemelerin üretimine imkan sağlaması nedeniyle kompozit malzeme üretiminde tercih edilen basınçlı infiltrasyon yönteminin kullanılmasıyla, yüksek partikül takviyeli kompozit malzemelerin en büyük üretim sorunlarından biri olan topaklanma problemi ile karşılaşılmamıştır. Matris bileşiminin Mikroyapıda bulunan porozite miktarına etkisini göstermek amacı

ile, AA2024 ve AA6061 matrislerin basınca bağlı olarak porozite miktarındaki değişimi Şekil 6'da verilmiştir. Porozitedeki bu düşüşün, basıncın artırılması ile çelik tüp içerisindeki takviye elemanının tüp içerisinden daha üniform olarak dağılmasını sağlaması ve matris elemanın akıcılığını artırması nedeniyle en küçük boşluklara dahi sıvı metalin nüfuz etmesini kolaylaştırmış olmasından dolayı kaynaklandığı düşünülmektedir.



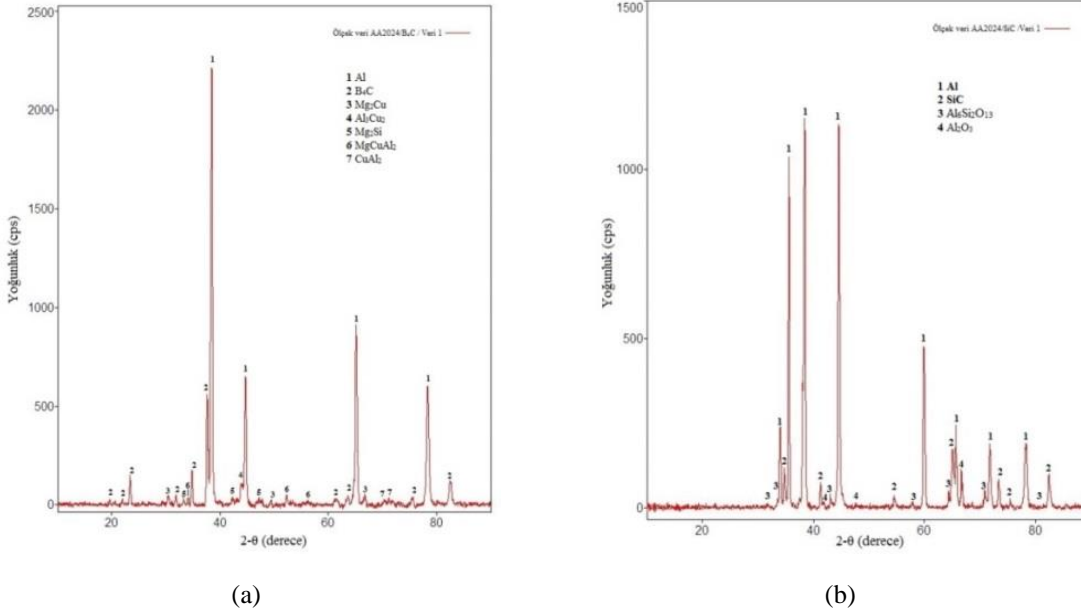
Şekil 6. Basınca bağlı porozite değişimi (a) AA2024 matrisli kompozit malzeme, (b) AA6061 matrisli kompozit malzeme



Şekil 7. Farklı basınç değerlerinde basılan kompozit malzemelerin SEM görüntüleri ve belirli bölgelerden alınan EDS analizleri (a) AA2024-B₄C-EDS analizi, (b) AA2024-SiC-EDS analizi (c) AA6061-B₄C-EDS analizi ve (d) AA6061-SiC-EDS analizi

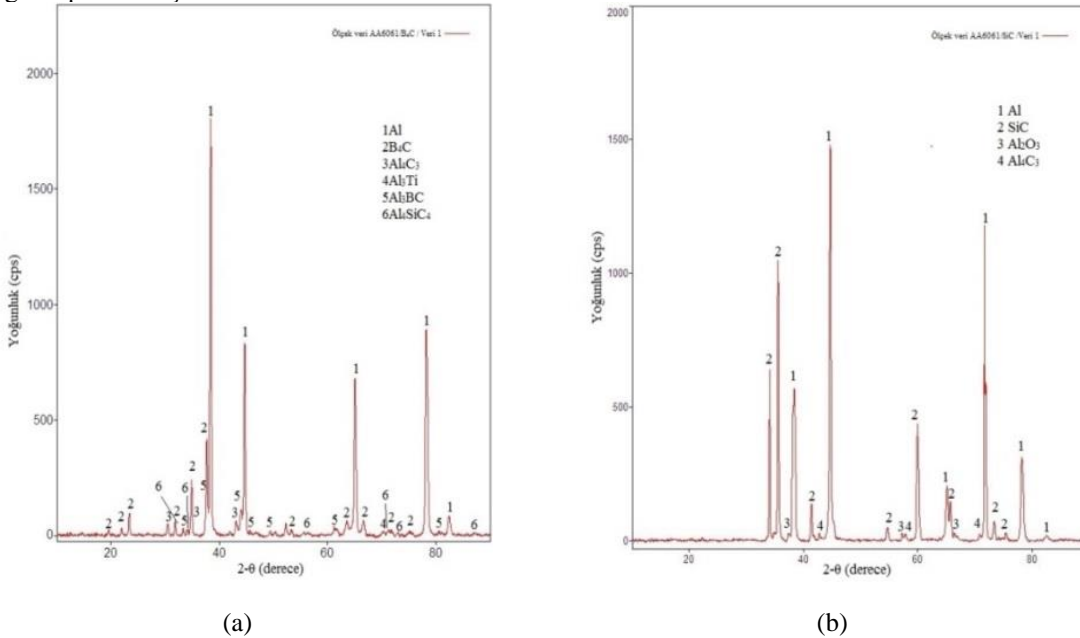
Şekil 7'de B₄C ve SiC takviyeli AA2024 ve AA6061 matrisli kompozitlere ait SEM fotoğrafları ve belirli bölgelerden alınan EDS analizleri görülmektedir. Şekil 7.a'da verilen B₄C takviyesi ile üretilen kompozit malzemenin SEM fotoğraflarından, takviye matris arayüzeyinde gri renkli keskin uçlara sahip intermetaliklerin olduğu gözlemlenmiştir. Bu intermetalikler üzerinden alınan EDS sonuçlarına göre (1) nolu bölgede %81.87 Al, %13.6 B ve %4.58 C içeriği tespit edilmiştir. (2) nolu bölgenin ise %85.34 B ve %14.55 C içerdiği görülmüştür. (3) nolu bölgede ise %86.57 Al ve %3.94 Mg içeriği sonucuna varılmıştır. Şekil 7.b'de ise verilen SiC takviyesi ile üretilen kompozit malzemenin SEM fotoğraflarından, takviye matris arayüzeyinde intermetaliklerin olduğu gözlemlenmiştir. Bu intermetalikler üzerinden alınan EDS sonuçlarına göre (1) nolu bölgede %78.24 Al, %19.62 Si ve %2.14 C içeriği tespit edilmiştir. (2) nolu bölgenin ise %70.80 Si ve %30.20 C içerdiği görülmüştür. Şekil 7.c'de verilen B₄C takviyesi ile üretilen AA6061 matrisli kompozit malzemenin SEM fotoğraflarından, takviye matris arayüzeyinde keskin uçları olan gri renkli intermetaliklerin meydana geldiği gözlemlenmiştir. Bu intermetalikler üzerinde yapılan EDS analizlerine göre (1)'nolu bölgede %85.26 B ve %14.74 C içeriği tespit edilmiştir. (2)'nolu bölgenin ise %92.51 Al, %4.87 B ve %2.62 C içerdiği görülmüştür. Şekil 7.d'de ise SiC takviyeli, AA6061 matrisli kompozit malzemenin SEM görüntülerinden, matris takviye arayüzeyinde intermetaliklerin olduğu gözlemlenmiştir. Oluşan intermetaliklerin üzerinde yapılan EDS analiz sonuçlarına göre (1)'nolu bölgede %70.52 Si ve %29.48 C içeriği tespit edilmiştir. (2)'nolu bölgenin ise %84.13 Al ve %4.87 Mg içerdiği görülmüştür. (3)'nolu bölgede ise %78.68 Al, %17.90 Si ve %3.42 C içeriği sonucuna varılmıştır.

Şekil 8'da AA2024 alüminyum alaşımına B₄C ve SiC takviyesi ile üretilmiş kompozit malzemelere ait XRD desenleri yer almaktadır. Şekil 8.a'da XRD desenleri analizlerinden görüldüğü üzere B₄C takviyesi ile üretilen AA2024 matrisli kompozit malzemelerde Mg₂Cu, Al₃Cu₂, MgCuAl₂, CuAl₂, ve Mg₂Si gibi ikincil fazlar oluştuğu gözlemlenmiştir. Şekil 8.b'de XRD analizlerinden görüldüğü üzere SiC takviyesi ile üretilen AA2024 matrisli kompozit malzemelerde ise Al₆Si₂O₁₃ ve Al₂O₃ gibi ikincil fazlarının ve Mg₂Si intermetalik fazının oluştuğu tespit edilmiştir.



Şekil 8. AA2024 matrisli B₄C ve SiC takviyeli kompozit malzemelerin XRD desenleri analizi (a) AA2024-B₄C, (b) AA2024-SiC

Şekil 9'da AA6061 alüminyum alaşımına B₄C ve SiC takviyesi ile üretilmiş kompozit malzemelere ait XRD desenleri yer almaktadır. Şekil 9.a'da XRD desenlerin analizlerinden görüldüğü gibi B₄C takviyesi ile üretilen AA6061 matrisli kompozit malzemelerde Al₄C₃, Al₃Ti, Al₃BC ve Al₄SiC₄ gibi ikincil fazlarının oluştuğu tespit edilmiştir. Şekil 9.b'de XRD analizlerinden görüldüğü üzere SiC takviyesi ile üretilen AA6061 matrisli kompozit malzemelerde de Al₂O₃ ve Al₄C₃ gibi ikincil fazlarının oluştuğu tespit edilmiştir.



Şekil 9. AA6061 matrisli B₄C ve SiC takviyeli kompozit malzemelerin XRD desenleri analizi (a) AA6061-B₄C, (b) AA6061-SiC

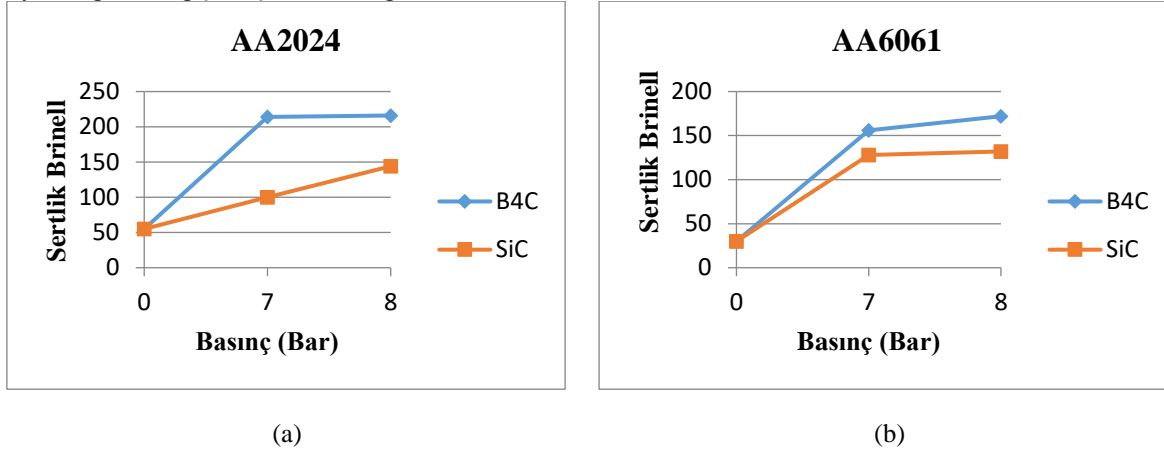
Kompozit malzemelerin sertlik değerleri Tablo 4'de verilmiştir. AA2024-B₄C, AA2024-SiC, AA6061-B₄C ve AA6061-SiC matrisli kompozit malzemelerin basınç değerleri artırılmasıyla sertlik değerlerinde de artış meydana gelmiştir. B₄C takviyeli kompozit malzemelerin SiC takviyeli kompozit malzemelere göre daha yüksek sertlik değerlerine sahip oldukları kaydedilmiştir. Bunun sebebi olarak B₄C takviyeli kompozit malzemelerin SiC takviyeli kompozit malzemelere göre daha az poroziteye sahip olmasıdır. Yani, B₄C takviyesi malzemesinin toz tane boyutu ortalaması 45 µm iken, SiC takviyeli kompozit malzemesinin toz tane boyutu ortalama 37 µm olmasından dolayı SiC takviyesi malzemesinin B₄C takviye malzemesine göre toz boyutu daha küçük olduğundan porozite miktarı daha çok olmuştur. AA6061 matrisli kompozit malzemelere uygulanan basınç miktarı değişimi ile sertlik

değerindeki artış AA2024 matrisli kompozit malzemelere nazaran daha fazla orandadır. Bu farklılığın kaynağı olarak AA6061 alüminyumun, sertlik özelliklerini iyileştirmede olarak kullanılması olduğu düşünülmektedir.

Tablo 4. Kompozit malzemelerin sertlik değerleri

<i>Matris</i>	<i>Takviye Elemanı</i>	<i>Basınç Değeri</i>	<i>Kütlesel Sertlik (HBW)</i>
AA 2024	B ₄ C	7	214
AA 2024	B ₄ C	8	216
AA 2024	SiC	7	100
AA 2024	SiC	8	144
AA 6061	B ₄ C	7	156
AA 6061	B ₄ C	8	172
AA 6061	SiC	7	128
AA 6061	SiC	8	132

Tablo 4'deki deney verilerine göre, AA2024 ve AA6061 matrisli kompozit malzemeler ve bu matrislere üretim aşamasında farklı oranlarda uygulanan basınç değerleri ile takviye edilen B₄C ve SiC takviyeleriyle oluşan kütleli sertliklerinin matris bileşimi ile meydana gelen değişimi Şekil 10'da gösterilmektedir.



Şekil 10. Farklı basınç oranlarında basılan kompozit malzemelerin sertlik değerlerindeki değişim grafiği (a) AA2024 Matrisli kompozit malzemelerin sertlik değişim grafiği, (b) AA6061 Matrisli kompozit malzemelerin sertlik değişim grafiği

Şekil 10'daki grafiklerden yararlanılarak AA2024 alüminyum alaşımının sertlik değeri 55 HBW iken AA2024 matrisli malzemeye takviye edilen her iki takviye elemanı ile sertlik değerinin arttığı belirlenmiştir. AA2024 matrisli B₄C takviyeli kompozit malzemesinde 7 bar basınçta infiltre edilerek elde edilen kompozit malzemelerin sertlik değerinde ise %74.30, 8 bar basınçta infiltre edilerek elde edilen kompozit malzemelerin sertlik değerinde ise %74.53 oranında artış olmuştur. AA2024 matrisli SiC takviyeli kompozit malzemesinde 7 bar basınçta infiltre edilerek elde edilen kompozit malzemelerin sertlik değerinde ise %45, 8 bar basınçta infiltre edilerek elde edilen kompozit malzemelerin sertlik değerinde ise %61.80 oranında artış gözlemlenmiştir. AA6061 alüminyum alaşımının sertlik değeri ise 30 HBW iken AA6061 matrisli malzemeye takviye edilen her iki takviye elemanı ile sertlik değerinin arttığı tespit edilmiştir. AA6061 matrisli B₄C takviyeli kompozit malzemesinde 7 bar basınçta infiltre edilerek elde edilen kompozit malzemelerin sertlik değerinde %80.77, 8 bar basınçta infiltre edilerek elde edilen kompozit malzemelerin sertlik değerinde ise %82.55 oranında artış meydana gelmiştir. AA6061 matrisli SiC takviyeli kompozit malzemesinde 7 bar basınçta infiltre edilerek elde edilen kompozit malzemelerin sertlik değerinde %76.56, 8 bar basınçta infiltre edilerek elde edilen kompozit malzemelerin sertlik değerinde ise %77.27 oranında artış gözlemlenmiştir. Kompozit malzemenin basınca bağlı sertlikte yaşanan bu artış, mikroyapı görüntüleri ile elde edilen porozitedeki azalış ve XRD analizleriyle ile belirlenen ikincil fazların çökmesinden (Mg₂Cu, Al₃Cu₂, MgCuAl₂, CuAl₂, Al₄C₃, Al₆Si₂O₁₃, Mg₂Si, Al₂O₃ gibi) kaynaklanmaktadır.

Kompozit malzemelerin basma dayanımlarında meydana gelen değişimler Tablo 5'de yer almaktadır. AA2024-B₄C, AA2024-SiC, AA6061-B₄C ve AA6061-SiC matrisli kompozit malzemelerin basınç değerlerinin artırılmasıyla basma dayanımında bir yükseliş oluşmuştur. Basma dayanımındaki artışlar, sertlik ölçümleriyle ve poroziteyle eşdeğer şekilde örtüşmektedir.

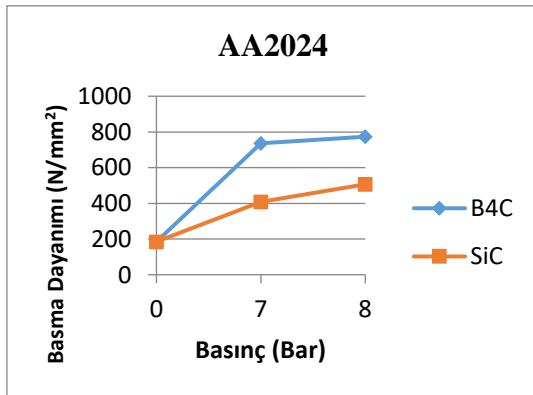
AA2024 alüminyum alaşımının basma mukavemeti 185 MPa iken, AA2024 matrisli malzemeye takviye edilen her iki takviye elemanı ile basma dayanımlarının arttığı gözlemlenmiştir. AA2024 matrisli B₄C takviyeli kompozit malzemesinde 7 bar basınçta infiltre edilerek elde edilen kompozit malzemelerin basma dayanımlarında %74.86 oranında, 8 bar basınçta infiltre edilerek elde

edilen kompozit malzemelerin basma dayanımlarında ise %76.06 oranında artış olduğu saptanmıştır. AA2024 matrisli SiC takviyeli kompozit malzemesinde 7 bar basınçta infiltre edilerek elde edilen kompozit malzemelerin basma dayanımlarında %54.54 oranında, 8 bar basınçta infiltre edilerek elde edilen kompozit malzemelerin sertlik değerinde ise %63.43 oranında artış olduğu belirlenmiştir. Bu durum, sertlik sonuçlarıyla da paralellik göstermektedir. Basma mukavemetinde meydana gelen bu artış, çökelen ikincil fazların yanı sıra, basıncın etkisi ile ıslatabilirlikteki iyileşme, matrisle takviye elemanı arayüzeyinde daha kuvvetli bir bağlanma sağlamış ve düşük poroziteli kompozit malzemeler üretilmiştir. Matrisle takviye elemanı arasında oluşan daha güçlü bağlanma, basma dayanımını pozitif yönde etkilemiştir. Mg₂Si intermetalikliğinin mukavemeti arttırdığı daha önceki çalışmalardan bilinmektedir. AA6061 alüminyum alaşımının basma mukavemeti ise 124 MPa iken, AA6061 matrisli malzemeye takviye edilen her iki takviye elemanı ile basma dayanımlarının arttığı gözlemlenmiştir. AA6061 matrisli B₄C takviyeli kompozit malzemesinde 7 bar basınçta infiltre edilerek elde edilen kompozit malzemelerin basma dayanımlarında %75.10 oranında, 8 bar basınçta infiltre edilerek elde edilen kompozit malzemelerin basma dayanımlarında ise %76.51 oranında artış meydana gelmiştir. AA6061 matrisli SiC takviyeli kompozit malzemesinde 7 bar basınçta infiltre edilerek elde edilen kompozit malzemelerin basma dayanımlarında %67.62 oranında, 8 bar basınçta infiltre edilerek elde edilen kompozit malzemelerin basma dayanımlarında ise %72.32 oranında artış gerçekleşmiştir. Kompozit malzemelerin basma mukavemetlerindeki bu artışlar, iki sebepten kaynaklanabilmektedir. Bu sebeplerin birincisi ve en etkili olanı olarak görülen porozitedeki %90 oranındaki düşüştür, ikinci sebep ise yapıda oluşan ikincil fazlarıdır. Sonuçlardan da görüldüğü üzere basma dayanımındaki artışın sebebi, basınç değerinin artması ile matrisin ıslatabilirliğinin artması sonucunda porozitenin azalmasıdır.

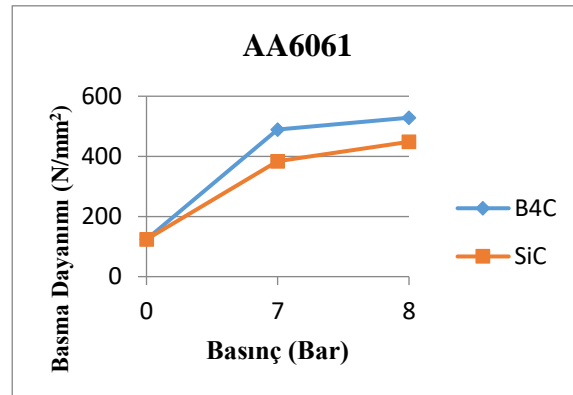
Tablo 5'deki deney verilerinden faydalanılarak, AA2024 ve AA6061 matrisli kompozit malzemelerin maksimum kuvvete basıncın etkisi ile elde edilen basma deney sonuçlarına göre çizilen değişim grafiği Şekil 11'de verilmektedir. Şekil 11'den de görüldüğü üzere en iyi basma mukavemeti, 8 bar basınç altında üretilen kompozit malzemelerde olmuştur.

Tablo 5. Kompozit malzemelerin basma dayanımları

<i>Matris</i>	<i>Takviye Elemanı</i>	<i>Basınç Değeri</i>	<i>Basma Dayanımı (N/mm²)</i>
AA 2024	B ₄ C	7	736.84
AA 2024	B ₄ C	8	773.33
AA 2024	SiC	7	407.66
AA 2024	SiC	8	506.57
AA 6061	B ₄ C	7	489.58
AA 6061	B ₄ C	8	528.65
AA 6061	SiC	7	383.46
AA 6061	SiC	8	448.33



(a)



(b)

Şekil 11. Farklı basınç oranlarında basılan kompozit malzemelerin basma dayanımı değişim grafiği (a) AA2024 Matrisli kompozit malzemelerin basma dayanımı grafiği, (b) AA6061 Matrisli kompozit malzemelerin basma dayanımı grafiği

Kompozit malzemelerin ısı iletkenlik değeri Lazer flash tekniği kullanılarak, deneysel olarak ölçülmüş ve belirlenen ısı iletkenlik değerleri aşağıda Tablo 6'da verilmiştir. Ölçümler 22 °C'de sabit sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir. Deneysel ölçümlerde cihaz, ısı difüzyon değerini ölçtüğünden ısı iletkenlik dolaylı olarak hesaplanmıştır. Bu hesaplamada kullanılan yoğunluk ve özgül ısı büyüklüklerinin sıcaklıkla değişmediği varsayılmıştır. Isı iletkenliğinin basınç değerinin artmasıyla azaldığı görülmektedir. Beklenildiği gibi basınç değerinin artması ile kompozit malzemelerin ısı iletkenlik değeri düşmüştür. Basınç artışı ile ısı iletkenliğinin azalması, B₄C ve SiC takviye elemanlarından kaynaklanmaktadır. B₄C ve SiC'ün negatif sıcaklıklarda ısı

iletkenliğinin yükseldiği, oda sıcaklıklarına doğru ve daha yüksek sıcaklıklarda düştüğü bilinmektedir. Basınç değeri artırılarak üretilen kompozit malzemelerin porozite miktarı azalmaktadır. Bunun nedeni, basınç miktarının artırılmasının infiltrasyonu kolaylaştırıcı bir etkiye sahip olması ve eriyiğin mikro düzeydeki partiküller arasına daha iyi nüfuz etmesidir.

Tablo 6. Kompozit malzemelerin ısı iletkenlik değerleri

<i>Matris</i>	<i>Takviye Elemanı</i>	<i>Basınç Değeri</i>	<i>Isıl İletkenlik (W/mK)</i>
AA 2024	B ₄ C	7	107.30
AA 2024	B ₄ C	8	89.41
AA 2024	SiC	7	170.69
AA 2024	SiC	8	120.69
AA 6061	B ₄ C	7	109.47
AA 6061	B ₄ C	8	101.25
AA 6061	SiC	7	158.95
AA 6061	SiC	8	138.94

4. Genel Sonuçlar

AA2024 veya AA6061 matrislerine %50 hacim oranında 48 µm B₄C veya 37 µm SiC partikülleri ile takviye edilmiş 7 ve 8 bar basınç değerleri uygulanarak üretilen kompozit malzemelerin mikroyapı incelemeleri, mekanik deneyleri, SEM analizi, EDS analizi, XRD analizi, sertlik, basma ve termal iletkenlik deneylerinden şu genel sonuçlar elde edilmiştir.

7 bar basınç altında üretilen AA2024 matrisli SiC takviyeli kompozit malzeme ve AA2024 matrisli B₄C takviyeli kompozit malzeme üretimi ile üretilen kompozit malzemelerin mikroyapı incelemelerinde matrisin takviye elemanını ıslatabildiği görülmüş olup, takviye elemanının homojen şekilde dağıldığı gözlemlenmiştir. Porozitenin ise çoğunlukla, ister SiC takviyeli kompozit malzemeler olsun isterse de B₄C takviyeli kompozit malzemeler olsun takviye elemanı ile matris ara yüzeyi etrafında toplanmıştır. XRD analizde ise AA2024 matrisli SiC takviyeli kompozit malzemelerde ve AA2024 matrisli B₄C takviyeli kompozit malzemelerde ikincil fazların oluştuğu tespit edilmiştir. Ayrıca AA2024 alüminyum alaşımına SiC takviyesinin infiltrasyon yöntemi ile infiltre edilmesiyle üretilen kompozit malzemelerin alüminyum alaşımın sertlik ve basma mukavemeti değerlerine göre daha iyi sertlik ve basma mukavemeti sağladığı görülmüştür. Aynı şekilde AA2024 alüminyum alaşımına B₄C takviyesinin infiltrasyon yöntemi ile infiltre edilmesiyle üretilen kompozit malzemelerin, alüminyum alaşımın sertlik ve basma mukavemeti değerlerine göre daha iyi sertlik ve basma mukavemeti sağladığı da görülmüştür. 8 bar basınç altında üretilen AA2024 matrisli SiC takviyeli kompozit malzeme ve AA2024 matrisli B₄C takviyeli kompozit malzeme üretimi ile üretilen kompozit malzemelerde, mikroyapı incelemelerinde ise yine matrisin takviye elemanını ıslatabildiği gözlenmiş olup, takviye elemanının homojen şekilde dağıldığı görülmüştür. Porozitenin ise çoğunlukla, ister SiC takviyeli kompozit malzemeler olsun isterse de B₄C takviyeli kompozit malzemeler olsun takviye elemanı ile matris ara yüzeyi etrafında toplanmıştır. Ancak 7 bar altında üretilen AA2024 matrisli SiC takviyeli kompozit malzemelere ve AA2024 matrisli B₄C takviyeli kompozit malzemelere göre daha az porozite oranına sahip olduğu görülmüştür. XRD analizde ise AA2024 matrisli SiC takviyeli kompozit malzemelerde ve AA2024 matrisli B₄C takviyeli kompozit malzemelerde de aynı şekilde ikincil fazların oluştuğu tespit edilmiştir. Yine üretimi gerçekleştirilen AA2024 matrisli SiC takviyeli kompozit malzemeler ile AA2024 matrisli B₄C takviyeli kompozit malzemelerin, alüminyum alaşımın sertlik ve basma mukavemeti değerlerine göre daha iyi sertlik ve basma mukavemeti sağladığı görülmüştür.

7 bar basınç altında üretilen AA6061 matrisli SiC takviyeli kompozit malzeme ve AA6061 matrisli B₄C takviyeli kompozit malzeme üretimi ile üretilen kompozit malzemelerin mikroyapı analizlerinde takviye elemanının homojen olarak dağıldığı görülmüş olup, takviye elemanlarının matrisin ıslatabildiği gözlemlenmiştir. Porozitenin meydana geldiği bölgelerin ise, ister SiC takviyeli kompozit malzemeler olsun, isterse de B₄C takviyeli kompozit malzemeler olsun matris ile takviye elemanı ara yüzeyleri olduğu tespit edilmiştir. XRD analizde ise AA6061 matrisli SiC takviyeli kompozit malzemelerde ve AA6061 matrisli B₄C takviyeli kompozit malzemelerde ikincil fazların oluştuğu tespit edilmiştir. Saf alüminyum alaşımların sertlik ve basma mukavemetlerine göre infiltrasyon yöntemi ile üretilen AA6061 alüminyum matrisli SiC takviyeli kompozit malzemeler ile AA6061 alüminyum matrisli SiC takviyeli kompozit malzemelerin daha iyi değerler sergiledikleri gözlemlenmiştir. 8 bar basınç altında üretilen AA6061 matrisli SiC takviyeli kompozit malzeme ve AA6061 matrisli B₄C takviyeli kompozit malzeme üretimi ile elde edilen kompozit malzemelerde de mikroyapı analizlerinde takviye elemanının homojen olarak dağıldığı gözlenmiş olup, takviye elemanlarının matrisin ıslatabildiği görülmüştür. 7 bar basınç altında üretilen kompozit malzemeler gibi, 8 bar basınç altında üretilen kompozit malzemelerde de porozitenin oluştuğu bölgelerin, ister SiC takviyeli kompozit malzemeler olsun, isterse de B₄C takviyeli kompozit malzemeler olsun matris ile takviye elemanı ara yüzeyleri olduğu tespit edilmiştir. Fakat 7 bar altında üretilen AA6061 matrisli SiC takviyeli kompozit malzemelere ve AA6061 matrisli B₄C takviyeli kompozit malzemelere göre daha az porozite oranına sahip olduğu görülmüştür. XRD analizde ise AA6061 matrisli SiC takviyeli kompozit malzemelerde ve AA6061 matrisli B₄C takviyeli kompozit malzemelerde ikincil fazların oluştuğu tespit edilmiştir. Sertlik ve basma mukavemetleri

infiltrasyon yöntemi ile üretilen AA6061 alüminyum matrisli SiC takviyeli kompozit malzemeler ile AA6061 alüminyum matrisli SiC takviyeli kompozit malzemelerin saf alüminyum alaşımlarına göre daha iyi değerler sergiledikleri gözlemlenmiştir.

Tüm kompozit malzemelerin mikroyapı incelemelerinde takviye malzemelerin homojen dağıldığı gözlemlenmiş olup matrisin takviye elamanlarını ıslatabildiği gözlemlenmiştir. Üretilen kompozit malzemelerde porozite genel olarak takviye matris arayüzeyinde meydana geldiği gözlemlenmiştir. Basınç miktarı arttıkça, porozite hacim oranlarında büyük ölçüde azama meydana gelmiştir. Bunun nedeni basınç miktarının artırılması infiltrasyonu kolaylaştırıcı bir etkiye sahip olması ve eriyiğin mikro düzeydeki partiküller arasında daha iyi nüfuz etmesini sağlamasıdır. Porozite miktarının SiC takviyeli kompozitlerde daha fazla olduğu gözlemlenmiş olup, bunun sebebinin takviye elamanlarının toz boyutlarındaki farklılıktan kaynaklandığı düşünülmektedir. Yapılan analizlere göre infiltrasyon basıncının artması ile mekanik özelliklerde iyileşmeler gözlemlenmiştir. Basınç miktarının artması ile kompozit malzemelerin sertlik ve basma mukavemeti değerlerinde %80 oranlarına varan artış gözlemlenmiştir. Kompozit malzemenin basınca bağlı sertlikte yaşanan bu artış mikroyapı görüntüleri ile elde edilen porozitedeki azalış ve XRD analizleriyle ile belirlenen ikincil fazların çökmesinden (Mg_2Cu , Al_3Cu_2 , $MgCuAl_2$, $CuAl_2$, Al_4C_3 , $Al_6Si_2O_{13}$, Mg_2Si , Al_2O_3 gibi) kaynaklandığı anlaşılmaktadır. Kompozit malzemelerin basma mukavemetlerindeki artışlar ise iki sebepten kaynaklanabilmektedir. Bu sebeplerin birincisi ve en etkili olanı olarak görülen porozite oranındaki düşüş, ikinci sebep ise yapıda oluşan ikincil fazlardır. Sonuçlardan da görüldüğü üzere basma dayanımındaki artışın sebebi basınç değerinin artması ile matrisin ıslatabilirliğinin artması sonucunda porozitenin azalmasıdır. AA6061 matrisli kompozit malzemelerdeki en yüksek mukavemet değeri AA2024 matrisli kompozit malzemelerde de olduğu gibi 8 bar basınç altında üretilen kompozit malzemelerde elde edilmiştir. Bu durumun hem sertlik sonuçları ile, hem porozitede meydana gelen düşüş ile, hem de SEM görüntü analiz sonuçlarıyla birebir örtüştüğü sonucuna varılmıştır. Basınç değerinin artmasıyla ısıl iletkenlik değerlerinde düşüş yaşandığı tespit edilmiştir. Bu çalışmada aynı üretim yöntemi ve üretim şartları içerisinde farklı takviye elamanlarının kompozit malzemenin mekanik ve içyapı özelliklerine etkisi net olarak incelenerek literatürdeki bu açığın giderilmesi sağlanmıştır. Yapılacak olan yeni çalışmalarda üretilen bu kompozit malzemelerin aşınma davranışları ve korozyon özelliklerinin incelenmesi yapılabilir.

Kaynakça

Aguliar-Martinez J. A., Pech-Canul M. I., Rodriguez-Reyes M. and De Lapena J. L., (2003). Effect of processing parameters on the degree of infiltration of SiCp preforms by Al-Si-Mg alloys, *Materials Letters*, 57(26-27), 4332-4335.

Ahlatçı, H., Candan, E. and Çimenoglu, H., (2002). Effect of particle size on the mechanical properties of 60 vol. % SiC_p reinforced Al matrix composites, *Zeitschrift für Metallkunde*, 93(4), 330-333.

Ahlatci, H., Koçer, T., Candan, E. and Çimenoglu, H., (2006). Wear behaviour of Al/(Al₂O_{3p}+SiC_p) hybrid composites, *Tribology International*, 39(3), 213-220.

Ateş S., Uzun, I., Çalın R. and Çıtak R., (2012). Effect of Infiltration Pressure on Thermal Conductivity of Al 2014 Matrix Composite Powered by Silicon Carbide, *Asian Journal of Chemistry*, 24(1), 76-80.

Ateş, S. & Kızılok E., (2011). Basıncılı infiltrasyon ile üretilen SiC/Al₂O₁₄ kompozitlerin özelliklerine infiltrasyon sıcaklığının etkisinin tek yönlü varyans analizi ile incelenmesi, *International Journal of Research and Development*, 3(1), 50-54.

Benal, M.M. and Shivanand, H.K., (2007). Effects of reinforcements content and ageing durations on wear characteristics of Al (6061) based hybrid composites, *Wear*, 262(5-6), 759-763.

Buhrmaster C. L., Clark D. E. and Smart H. B. (1988). Spray Casting Aluminum and Al/SiC Composite, *Journal of Metals*, 40(11), 44-45.

Chong, Y., Atkinson, H.V., Jones, H., (1993). Effect of ceramic particle size, melt superheat, impurities and alloy conditions on threshold pressure for infiltration of SiC powder compacts by aluminium-based melts, *Materials Science and Engineering*, A173, 233-237.

Çevik E. and Sun Y., (2015). Mechanical and Tribological Behaviour of B₄C Reinforced AlSi₁₂-XMg Matrix Composites, *Journal of The Balkan Tribological Association*, 21(4), 725-735.

Çevik, E., Sun Y., Ahlatçı H. and Türen Y. (2016). Influence of Mg addition on B₄C reinforced Al and Al₁₂Si matrix composites production by pressure infiltration technique *Metal Science and Heat Treatment*, 58, 357-361.

Gedeon, S. A., and Tangerini, I., (1991). A new method for bonding metal matrix composite inserts during casting, *Materials Science and Engineering A*, 144(1-2), 237-240.

Hamzawy, E. M., El-Kheshen, A. A., Zawrah, M. F., (2005). Densification and properties of glass/cordierite composites, *Ceramics International*, 31(3), 383-389.

Liu, Y. R., Liu, J. J., Zhu, B. L., Luo, Z. B. and Miao, H.Z., (1997). The computer simulation of the temperature distribution on the surface of ceramic cutting tools, *Wear*, 210(1-2), 39-44.

- Mazaheri Y., Meratian M., Emadi R. and Najarian A.R., (2013). Comparison of microstructural and mechanical properties of Al-TiC, Al-B₄C and Al-TiC-B₄C composites prepared by casting techniques, *Materials Science & Engineering, A*, 560, 278-287.
- Narciso, J., Louis, E., Garcia-Cordovilla, C., (1997). Pressure infiltration of packed SiC and alumina particulates by liquid silver with dissolved oxygen, *Proceedings of International Conference High Temperature Capillarity* 283.
- Şahin, Y., (2003). Preparation and some properties of SiC particle reinforced aluminium alloy composites, *Materials and Design*, 24(8), 671-679.
- Sevim I., Sahin S., Çuğ H., Çevik E., Hayat F. and Karali M., (2014). Effect of Aging Treatment on Surface Roughness, Mechanical Properties, and Fracture Behavior of 6XXX and 7XXX Aluminum Alloys, *Strength of Materials*, 46(2), 190-197.
- Stefanescu D. M., Dhindaw D. K. and Ahuja S., (1992). Authors' reply, *Metallurgical and Materials Transactions A*, 23(8), 2328-2330.
- Zweben C., (1998). Advances in composite materials for thermal management in electronic packaging. *JOM (The Journal of The Minerals, Metals & Materials Society)*, 50(6), 47-51