

# Düşük Takviyeli MgO-Al Kompozitlerin Vakumlu İnfiltrasyonunda Takviye Oranının İnfiltrasyon Davranışına Etkisi

Muharrem PUL, Recep ÇALIN, Ramazan ÇITAK, Ulvi ŞEKER

## ÖZET

Bu çalışmada 149 µm parçacık büyüklüğündeki MgO tozları % 5, 10, 15 takviye-hacim oranı oluşturacak şekilde çelik tüp içersine serbest halde yerleştirilmiştir. Farklı sıcaklıklarda 550 mmHg vakum ve 5 dakika süre ile %5 Mg ihtiva eden Al alaşımı ile infiltrasyon deneyleri yapılmış ve kompozitlerin infiltrasyon mesafeleri, gözenek miktarları, mikroyapıları ve kırılma davranışları incelenmiştir. Artan takviye hacim oranı ile infiltrasyon mesafesi ve kırılma dayanımının azaldığı, gözenek miktarının ise arttığı belirlenmiştir. Artan infiltrasyon sıcaklıkları infiltrasyon mesafesini arttırırken, kompozitlerin gözenek miktarlarını azalttığı tespit edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Kompozitler, İnfiltrasyon, MgO, Alüminyum

## Effect of Reinforcement Ratio on Infiltration Behavior in Vacuum Infiltration of MgO-Al Composites With Lower Reinforcement

### ABSTRACT

In this study, MgO powders, with particle size 149 µm were filled in steel tubes with 5 %, 10 %, 15 % volume fraction of reinforcement and liquid matrix alloy was vacuum infiltrated into MgO compact under same vacuum condition 550 mmHg, same time 5 min and at different temperatures and volume fraction of reinforcement. Infiltration distance was measured and microstructure and fracture behavior of composite was investigated. It has been found that infiltration distance and fracture strength were decreased with increasing volume fraction of reinforcement. Increasing matrix temperature also facilitates infiltration.

**Keywords :** Composites, infiltration, MgO, Aluminium

### 1- GİRİŞ

1900'lü yılların ikinci yarısından sonra kompozit malzemelerin üretimi ve mekanik özellikleri üzerinde araştırma ve geliştirme faaliyetleri artarak devam etmiştir. Pek çok farklı kompozit malzeme ve üretim türü mevcut olup her geçen gün bunlara yenileri eklenmektedir. Bu kompozit malzemelerden birisi de metal matrisli kompozitlerdir (MMK). Metal matrisli kompozitler için hemen hemen bütün mühendislik malzemeleri matris olarak kullanılabilir. Bunların başlıcaları Al, Ti, Mg, Cu, Fe, Co, ve Ni gibi metaller ile bunların alaşımlarıdır. Metal matrisli kompozitlerde takviye elemanı olarak ise Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiC,

SiO<sub>2</sub>, TiC, B<sub>4</sub>C, TiB<sub>2</sub>,ve MgO gibi seramik ve refrakterler yaygın olarak kullanılmaktadır (1-3). Metal matrisli kompozitlerin üretilmesinde döküm, toz metalurjisi, in-situ, ve infiltrasyon gibi farklı yöntemler kullanılmaktadır (4-6). İnfiltrasyon yönteminde basınçsız (serbest), basınçlı ve vakumlu infiltrasyon gibi uygulamalar yapılmaktadır (7-8). Takviye hacim oranı (T-H), parçacık boyutu, vakum değeri, infiltrasyon sıcaklığı ve süresi, matrisin ve takviyenin fiziksel ve kimyasal özellikleri infiltrasyonda önemli üretim parametreleridir (9-14). Önceki araştırmalarda vakumlu infiltrasyon yöntemi ile kompozit malzeme üretiminde genellikle küçük çaplı kompozitler üretilmiştir. Bu çalışmada ise 30 mm çapında ve 70 mm yüksekliğinde kompozitlerin üretimi yapılmış ve davranışları incelenmiştir.

Bu çalışmada Al matrisli MgO parçacık takviyeli kompozit malzemenin vakumlu infiltrasyon yöntemi ile üretilmesinde, takviye hacim oranının etkileri araştırılmıştır. Takviye hacim oranının, infiltrasyon mesafesi, kompozitin mikroyapısı, gözenekliliği ve kırılma dayanımı üzerindeki etkileri belirlenmiştir.

*Makale 30.09.2009 tarihinde gelmiş,24.11.2009tarihinde yayınlanmak üzere kabul edilmiştir.*

*M. PUL, Atatürk Teknik ve Endüstri Meslek Lisesi, Makina Bölümü, Ankara, TÜRKİYE*

*R. ÇALIN, Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Malzeme ve Metalurji Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale, TÜRKİYE*

*R. ÇITAK, Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitimi Bölümü, Ankara, TÜRKİYE*

*U. ŞEKER, Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makina Eğitimi Bölümü, Ankara, TÜRKİYE*

*e-posta : mpul61@hotmail.com recepcalin@hotmail.com*

*citak@gazi.edu.tr useker@gazi.edu.tr*

*Digital Object Identifier 10.2339/2009.12.3. 173-177*

## 2- DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Takviye elemanı ve matris olarak, kimyasal bileşimleri sırasıyla Tablo 1 ve Tablo 2' de verilen magnezya (MgO) tozları ve Al kullanılmıştır.

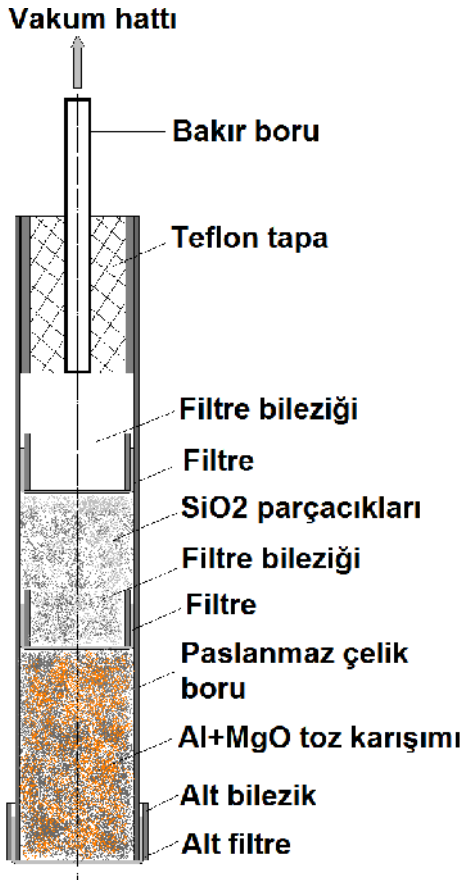
Tablo 1. İnfiltrasyon deneylerinde kullanılan takviye elemanı magnezyanın kimyasal bileşimi

MgO	FeO	SiO <sub>2</sub>	CaO
%98	0,6	1	0,4

Tablo 2. İnfiltrasyon deneylerinde kullanılan Al sıvı matrisin kimyasal bileşimi

Si	Fe	Cu	Mn	Ti	Cr	Ni	Pb	Mg	Al
0,1	0,4	0,06	0,165	0,022	0,137	0,2	0,062	5	Kalan

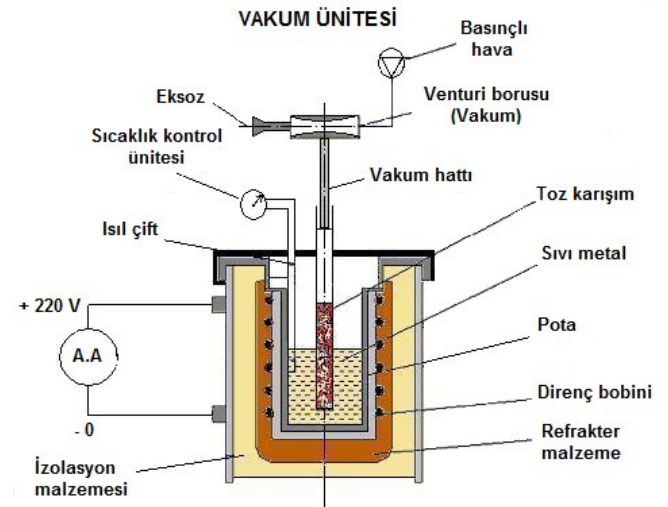
Şekil 1'de görüldüğü gibi, infiltrasyon işleminde 30 mm dış çap ve 1 mm et kalınlığına sahip 300 mm boyunda paslanmaz çelik borular kullanılmıştır. Çelik borunun alt kısmına, tozların dökülmesini engelleyecek 75 µm göz açıklığına sahip paslanmaz çelik filtre yerleştirilmiştir. Al ve 149 µm tane büyüklüğündeki magnezya (MgO) tozları % 5, 10, ve 15 takviye-hacim oranı oluşturacak şekilde karıştırılarak, çelik boru içerisine 70 mm yüksekliğinde serbest halde doldurulmuştur. Aynı şekilde paslanmaz çelik filtre, boru içerisindeki Al-MgO tozların üzerine



Şekil 1. İnfiltrasyona hazır halde paslanmaz çelik boru içerisindeki MgO tozlarının şematik gösterilişi

yerleştirilerek SiO<sub>2</sub> parçacıkları ile karışması engellenmiştir. Daha sonra aynı miktarda SiO<sub>2</sub> ilave edilerek üst kısmına aynı filtre yerleştirme işlemi uygulanmıştır. Böylece tozların vakumlama sırasında vakumla yukarı çekilmesi önlenmiştir. Matrisin ergitilmesi için Çalın ve Çıtak'ın (12) geliştirdiği Şekil 2'de görülen ergitme ocağı kullanılmıştır. Metal sıcaklığı farklı değerlerde ± 5 °C olacak şekilde sabit tutulmuştur. Bu halde hazırlanan çelik borular, Venturi prensibine göre, 550 mmHg (± 10 mmHg) vakum değerine ulaşıldıktan sonra sıvı metal içine daldırılıp 5

dakika süreyle bekletilmiştir. Vakum sonrası borular sıvı metalden çıkarılıp normal ortamda soğutulmuştur. Çelik borular kesilerek infiltre edilmiş kompozit malzemeler çıkarılmıştır. İnfiltrasyon mesafesi ve Arşimet prensibine göre yoğunluklar ölçülmüştür. Ölçülen yoğunluk ve teorik yoğunluğa göre gözeneklilik değerleri belirlenmiştir. Üç nokta eğme-kırma deneyi yapılarak, üç farklı kompozit malzemenin kırılma dayanımları belirlenmiştir. Ayrıca elde edilen numunelerin elektron mikroskobu ile incelemeleri yapılmıştır.



Şekil 2. Vakum infiltrasyon deney düzeneğinin şematik gösterilişi

## 3- DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

### 3.1- İnfiltrasyon Mesafesi

Farklı takviye-hacim oranına sahip tozlarda, 550 mmHg vakumda, % 5 Mg içeren sıvı matrisle, 5 dakika süre ile sıcaklık ve takviye -hacim oranına bağlı olarak vakum altında yapılan infiltrasyon deneylerinden elde edilen sonuçlar Tablo 3'de verilmiş ve bu sonuçlara bağlı olarak takviye-hacim oranı / infiltrasyon mesafesi ilişkisi Şekil 3'teki grafikte gösterilmiştir.

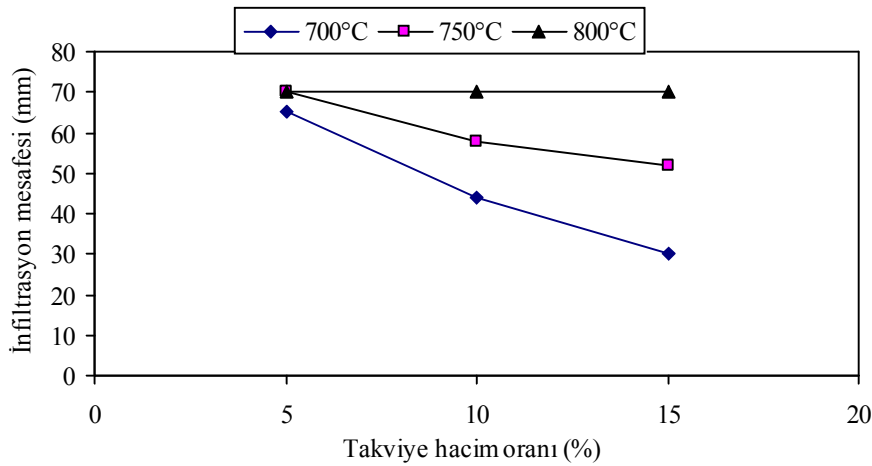
Tablo 3. İnfiltrasyon mesafesi deney sonuçları

% MgO	İnfiltrasyon mesafesi (mm)		
	700°C	750°C	800°C
5	65	70	70
10	44	58	70
15	30	52	70

Tablo 3 ve Şekil 3'de görüldüğü gibi 149 µm takviye parçacık boyutundaki % 5 takviye hacim oranındaki tozlarla 700 °C sıcaklıkta 65 mm, 750 °C, 800,°C sıcaklıklarda yapılan deneylerde 70 mm

Çalın ve Cıtak [12], Kurnaz ve Acıların (13-14) çalışmalarına benzer olarak takviye hacim oranının azalmasıyla infiltrasyon mesafesinin arttığı görülmüştür. Ayrıca sıcaklığın artmasıyla da infiltrasyon mesafesinin arttığı gözlenmiştir. Bunun nedeni, sıcaklığın artmasıyla blok parça içerisinde bulunan alüminyum tozları ergiyerek, sıvı matrisin blok parça içerisine infiltre olmasını kolaylaştırmasıdır. Ayrıca sıcaklığın artmasıyla sıvı alüminyum matrisin yüzey gerilmesi azaldığından kılcalık kanununa göre infiltrasyon için gerekli kılcal basınç artarak infiltrasyonu artırıcı etki yapmıştır.

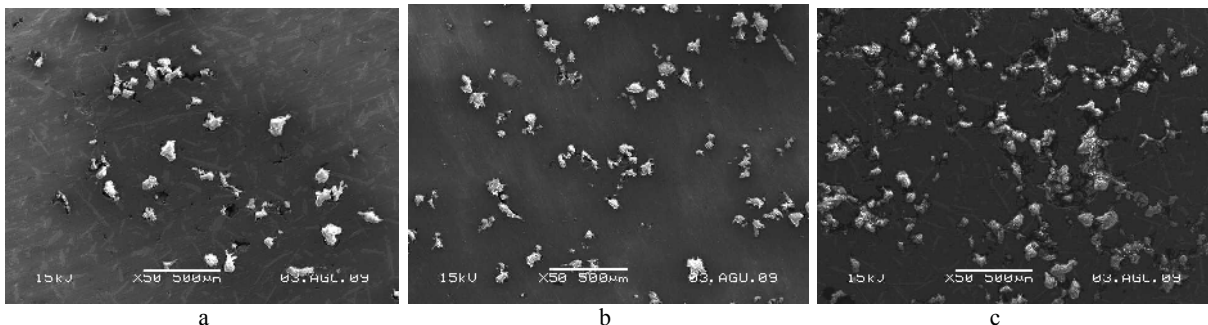
Şekil 4'de 800°C sıcaklıkta üretilen kompozitlerin tarama elektron mikroskobunda çekilen



Şekil 3.550 mmHg vakumda 5 dakika süre ile yapılan deneylerde sıcaklık ve takviye hacim oranına bağlı infiltrasyon mesafesinin değişimi

infiltrasyon mesafesi elde edilmiştir. T-H oranının % 10'a çıkarılmasıyla 700°C sıcaklıkta 44 mm infiltrasyon mesafesi elde edilmiştir. 750°C sıcaklıkta yapılan infiltrasyon deneylerinde 58 mm infiltrasyon

mikro yapıları görülmektedir. Takviye-hacim oranının artmasıyla, üretilen kompozitlerin homojen dağıldığı görülmektedir. % 5 MgO takviyeli kompozitte takviye topraklanması görülmektedir. Buna düşük takviye hacim



Şekil 4. 149 µm takviye tane boyutuna sahip tozlarla 800°C sıcaklık, 550 mmHg vakumda % 5 Mg ilaveli sıvı matrisle 5 dakika süre ile infiltre edilen kompozitlerin mikroyapısı a) % 5 MgO, b) % 10 MgO, c) % 15 MgO,

sağlanmıştır. % 15 takviye hacim oranındaki tozlarda 70°C sıcaklıkta 30 mm infiltrasyon sağlanırken, sıcaklığın 750°C'a çıkmasıyla infiltrasyon mesafesi 52 mm'ye yükselmiştir. Bütün takviye hacim oranlarında tam infiltrasyon 800°C sıcaklıkta gerçekleşmiştir.

oranlarında blok parça içerisinde bulunan Al tozlarının fazla olması ve Al tozlarının ergimesiyle takviyeyi sürüklemesi sebep olmaktadır. Ayrıca artan takviye hacim oranlarında takviyenin etrafında daha fazla gözenek olduğu görülmektedir. Buna artan takviye hacim oranlarında infiltrasyon davranışının kötüleşmesi sebep olmuştur.

### 3.2- Gözeneklilik ve Kırılma Dayanımı

Takviye-hacim oranına bağlı olarak 800°C sıcaklıkta üretilen malzemelerde yapılan gözeneklilik ölçüm sonuçları Tablo 4'te verilmiştir.

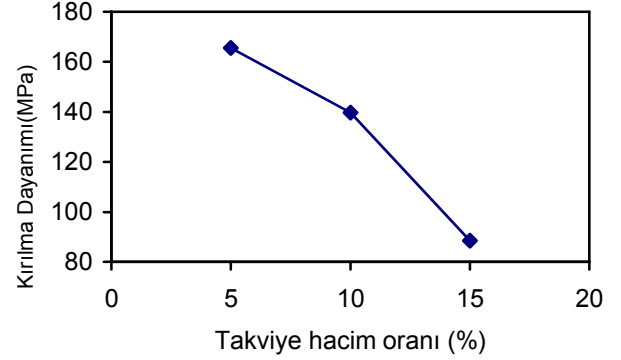
Tablo 4. Takviye-hacim oranına bağlı gözeneklilik değerleri

Takviye-hacim oranı (%)		5	10	15
Gözenek(%)	700°C	3,36	5,23	5,77
	800°C	1,94	2,14	2,85

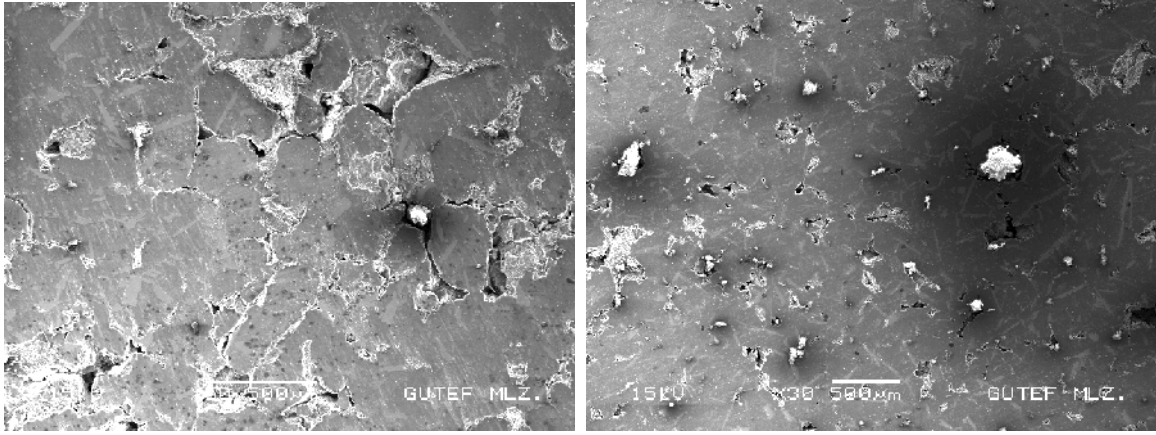
Tablo 4'te görüldüğü gibi 149 µm takviye tane boyutundaki tozlarla yapılan deneylerde % 5 takviye-hacim oranında, 700°C infiltrasyon sıcaklığında üretilen kompozitlerin gözenek miktarı % 3,36 olurken, % 10 takviye hacim oranında % 5,23 ve %15 takviye hacim oranında % 5,77 gözenek miktarları elde edilmiştir. % 5 takviye hacim oranında, 800°C infiltrasyon sıcaklığında üretilen kompozitlerin gözenek miktarı % 1,94 olurken, % 10 takviye-hacim oranında %2,14 ve %15 takviye-hacim oranında % 2,85 gözenek miktarları elde edilmiştir. Takviye-hacim oranının artmasıyla üretilen kompozitlerin gözenek miktarları artmış, artan infiltrasyon sıcaklıklarına bağlı olarak ise kompozitlerin gözenek miktarının azaldığı belirlenmiştir. Şekil 5'te farklı sıcaklıklarda üretilen kompozitlerin tarama elektron mikroskopunda çekilen mikroyapıları görülmektedir. Aynı üretim parametrelerinde ve farklı sıcaklıklarda üretilen

Tablo 5. Takviye-hacim oranına bağlı çapraz kırılma deney sonuçları

Takviye-hacim oranı (%)	5	10	15
Kırılma dayanımı [MPa]	165,9	139,7	88,5



Şekil 6. Takviye-hacim oranı ve kırılma dayanımı ilişkisi



a

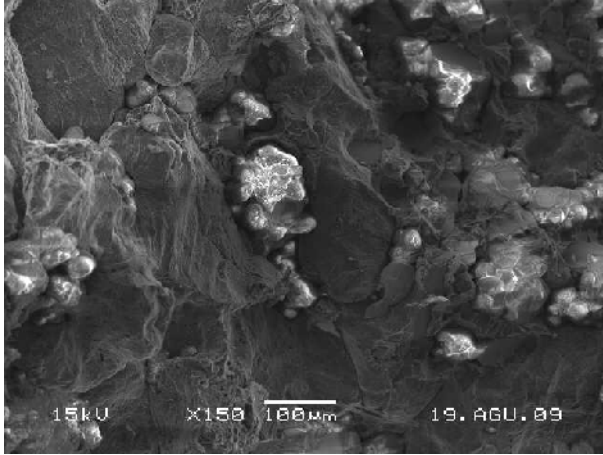
b

Şekil 5. 149 µm parçacık boyutuna sahip % 10 T-H oranında 550 mmHg vakumda 5 dakika sürede infiltre edilen kompozitlerin mikroyapısı a) 700°C, b) 800°C

kompozit malzemelerde, düşük sıcaklıklarda tozlarla sıvı matris arasında gözenekli bir yapı elde edilmiştir. Al tozları etrafında oluşan oksit tabakası düşük sıcaklıklarda sıvı matris tarafından kırılmamış ve sıvı matris bu bölgelere infiltre olamadığından daha gözenekli bir kompozit üretilmiştir. Sıcaklığın artmasıyla infiltrasyon mesafesi artarken, takviye ile matris arasında daha az gözenekli bir yapı görülmektedir. Buna artan sıcaklıklarda sıvı matrisin yüzey gerilmesinin azalması neden olmuştur. Sıcaklığın artmasıyla Al tozlarının eriyerek infiltre olan Al ile daha iyi karıştığı ve boşlukları daha iyi doldurduğu görülmektedir. Bu durumun Al tozları etrafında oluşan oksit tabakasının sıvı matris tarafından kırılarak sıvı Al'un gözenekli yapıya kolay infiltre olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tablo 5'de 800°C sıcaklıkta yapılan infiltrasyon deneylerinde üretilen malzemelerde takviye- hacim oranına bağlı olarak çapraz kırılma deney sonuçları verilmiştir.

Tablo 5 ve Şekil 6'da görüldüğü gibi deney sonuçlarında takviye-hacim oranının artmasıyla kompozitlerin kırılma dayanımının azaldığı görülmektedir. Bu durum, artan takviye-hacim oranında infiltrasyon davranışının kötüleşmesine ve gözenekli bir yapının oluşmasına atfedilebilir. Ayrıca artan takviye elemanı miktarına bağlı olarak matris-parçacık ara yüzeyi artmakta bu da kırılmayı kolaylaştırmaktadır. Gözenekler malzemelerin kırılma tokluğunu kötü yönde etkilemektedir. Burada da aynı şekilde artan gözeneklerin kırılma dayanımını düşürdüğü sanılmaktadır. Chong'un[9] çalışmasında belirttiği gibi kompozit içerisinde gözenek miktarının artmasıyla mekanik özellikler olumsuz yönde etkilenmiştir.



Şekil 7. % 10 takviye-hacim oranı, 800°C sıcaklıkta üretilen kompozitin kırık yüzeyinin tarama elektron mikroskopunda çekilen görüntüsü

Şekil 7’de görüldüğü gibi kırık yüzey görüntüleri incelendiğinde kırılmanın genelde gevrek kırılma şeklinde geliştiği tespit edilmiştir. Kırılmanın çoğunlukla matris-takviye ara yüzeyinde meydana geldiği bununda ıslatma probleminin yanında matris-takviye ara yüzeyinde yoğunlaşan boşluklardan kaynaklandığı sanılmaktadır.

#### 4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- Artan takviye-hacim oranlarında infiltrasyon zorlaşırken düşük takviye-hacim oranında blok parça içerisinde bulunan Al tozlarının ergiyerek infiltrasyona katkı sağladığı tespit edilmiştir. Düşük takviye hacim oranında takviye topaklanması görülmektedir.
- İnfiltrasyon sıcaklıklarının artması infiltrasyon mesafesini artırmaktadır. Artan sıcaklıklarda sıvı matrisin yüzey gerilmesinin azalması bunda etkili olmaktadır.
- Kompozitlerin gözenek miktarlarının artan takviye-hacim oranlarında arttığı, artan

infiltrasyon sıcaklıklarında azaldığı tespit edilmiştir.

- Kompozitlerin kırılma dayanımları, artan takviye-hacim oranlarıyla azalmıştır.

#### KAYNAKLAR

- 1) Sarıtaş, S. ., Engineering Metallurgy And Materials. Ankara, p 5-30 (1995).
- 2) Zhou, W., Hu, W., and Zhang, D., V 39, No 12, p 1743 (1998).
- 3) Gedeon, S. A. And Tangerini, I., Mat. Sci. and Eng., A, 144, p 237, Elsevier Sequoia (1991).
- 4) Cornie, J. A., et al., Solidification processing of metal matrix composites, Ceramic Bulletin V 65, p 293, (1986)
- 5) Asthana, R., and Rohatgi, P. K., Solidification synthesis of pressure-infiltrated Al aloy 2104-SiC platelet composites, Mat. Sci. and Eng., A, V 144, p 169-178. (1991)
- 6) ASM, ‘‘Composites’’, Engineered Materials Handbook, 4:16-34 (1993).
- 7) Ralph, B., Yuen, H. C., And Lee, W. B., J. Of Mat.Proc.Tech.63: 339-353 p 44 (1997)
- 8) Martinez,J. A., et al., Materials Letters, 57, p 4332 (2003)
- 9) Chong, S. Y., Atkinson, H. V. and Jones, H., Effect of ceramic particle size, melt superheat, impurities and alloy conditions on threshold pressure for infiltration on SiC powder compacts by aluminium-based melts, Mat. Sci and Eng V 173, p 233-237 (1993).
- 10) Candan, E., Atkinson, H. V. and Jones, H., Mat. Sci. and Eng. V 35, p 4955 (1993)
- 11) Stephens, J. J., Lucas, J. P. and Hosking, F. M., Scr. Metal., V 22, p 28 (1988)
- 12) Calin, R., Citak , R., Materials Science Forum546-549, p 797-800 (2007)
- 13) Acılar, M., Gül, F., ‘‘Vakum infiltrasyon yöntemi ile Al-10Si/SiC<sub>p</sub> kompozitlerin üretimi ve geliştirilmesi’’, *Politeknik Dergisi*, 4 : Özel Sayı 21-27 (2002).
- 14) Kurnaz, S. C., Akbulut, H., ve Durman, M., ‘‘Saffil (δ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) fiber çinko-alüminyum alaşımı (ZA.12) metal matris kompozitlerin infiltrasyon yöntemi ile üretimi ve özelliklerinin incelenmesi’’, *7. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi*, 4-8 Mayıs, Ankara,1155-1161 (1993).