

Basınçlı İnfiltrasyon İle Üretilen SiC/Al2014 Kompozitlerin Özelliklerine İnfiltrasyon Sıcaklığının Etkisinin Tek Yönlü Varyans Analizi İle İncelenmesi

Serkan ATEŞ * Emel KIZILOK**

*Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Kampüs, 71450, Kırıkkale, TÜRKİYE

Tel : +90 (0318) 357 42 42/ 1052 ; Faks : +90 (0318) 357 24 59, sates@kku.edu.tr

**Kırıkkale Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, İstatistik Bölümü, Kampüs, 71450, Kırıkkale, TÜRKİYE

Tel : +90 (0318) 357 42 42/ 1674 ; Faks : +90 (0318) 357 24 68, emel.kizilokmail.com

Özet— Bu çalışmada 105µm ortalama tane büyüklüğüne sahip SiC tozlar içerisinde Al2014 alaşımı basınçlı infiltrasyon tekniği ile emdirilerek metal matrisli kompozit numuneler elde edilmiştir. SiC tozlar boru içerisinde 70mm yükseklik oluşturacak şekilde serbest halde doldurulmuş ve her iki tarafından sabitlenmiştir. 700°C, 750°C, 800°C infiltrasyon sıcaklıklarında, 700kPa sabit infiltrasyon basıncında, 3 dakikada ve azot gazı (N₂) atmosferinde infiltrasyon gerçekleştirilmiştir. Tüm infiltrasyon sıcaklıklarında SiC tozlar için tam infiltrasyon elde edilmiştir. SEM analizleri sonucunda homojen bir mikro yapı gözlemlenmiştir. Numunelerin yoğunlukları, gözenek miktarları, ısı iletkenlikleri, sertlikleri ve basma dayanımları deneysel olarak belirlenmiştir. Belirli sıcaklık seviyelerinde özelliklerin anlamlı bir değişim gösterip göstermediği bilinen istatistiksel yöntemlerden Tek Yönlü Varyans Analizi (ANOVA) ile SPSS paket program kullanılarak incelenmiştir. Elde edilen ANOVA tablosundaki F istatistik değerleri ve gözlenen anlam düzeyleri (p) sonuçlarına göre her bir özellik için belirtilen sıcaklık seviyeleri arasındaki farkların anlamlı olduğu anlaşılmaktadır.

Anahtar Kelimeler— Kompozit, İnfiltrasyon, SiC, Gözenek, Isıl İletkenlik, Sertlik, Basma Dayanımı, ANOVA

Abstract— In this paper, Al2014 alloy impregnated into SiC powders with 105µm mean particule size has been obtained the metal matrix composite samples using the pressure infiltration method. SiC powders inside the pipe are filled at a free-form to be create height of 70 mm and is fixed by both sides. The infiltration was carried out at 700 ° C, 750 ° C, 800 ° C infiltration temperature, 700kPa constant infiltration pressure, 3 minutes and nitrogen gas (N₂) atmosphere. Complete infiltration for SiC powders were obtained at all the infiltration temperatures. There was observed a homogeneous microstructure in a result of SEM analysis. Densities, the amount of porosity, thermal conductivity, hardness and compressive strength of the samples were determined experimentally. In specified temperature levels, it was analyzed if these features show a

significant change by one-way analysis of variance (ANOVA) from the known statistical methods by SPSS program. There was found to be significant differences between the specified temperature levels according to the results of F-statistic values and the observed significance levels (p) in ANOVA .

Index Terms— Composite, Infiltration, SiC, Porosity, Thermal Conductivity, Hardness, Compressure Strenght, ANOVA

I. GİRİŞ

Metaller gibi klasik malzemelerin birçok özelliği gelişen teknolojinin ihtiyaçlarını karşılamada yeterli olamayınca daha üstün özelliklere sahip kompozit malzemeler üretilmeye başlanmış ve bu konuda hızlı bir gelişme sürecine girilmiştir. Kompozit malzemeler aslında binlerce yıldan beri mevcuttur. Arkeologlar Mısır'da M.Ö. 2800 yıllarında lamine edilmiş tahta tabakalar bulmuşlardır. Yine Orta Doğu'da daha fazla eğilme dayanımı elde etmek amacıyla ok yayları, üst üste konulan malzemelerle farklı lif yönleri oluşturularak yapılmıştır. Orta Çağ Avrupası'nda ok başı, farklı tabakalı malzemelerden yapılmıştır [1]. Kompozit malzemelerin klasik malzemelere göre en belirgin özellikleri hafiflik ve sağlamlıktır. Kompozit malzemeler son yıllarda yaygın bir şekilde; havacılık, deniz taşıtları, otomotiv, makine, inşaat, askeri ve uzay teknolojisi alanlarında kullanılmaya başlanmıştır [2].

Kompozit malzemeler, taşıyıcı görev üstlenen takviye ve takviyeyi bir arada tutup dış etkilerden koruyan matris olmak üzere iki fazdan meydana gelir. 1950 yılından beri sayısız matris ve takviye elemanı kombinasyonları denenmiştir[3]. Metal matrisli kompozitlerin matris malzemesi genelde alüminyum ve alüminyum alaşımlarıdır. Magnezyum, demir, titanyum ve süper alaşımlar gibi matris malzemeleri alüminyuma nazaran daha az kullanılmaktadır[3]. 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 ve Al₂O₃'dir. SiC'ün sertliği, kırılmaya karşı direnci, elastisite modülü

Al_2O_3 'den daha yüksek, yoğunluğu ve ısıl genleşme katsayısı daha düşük olduğundan genelde SiC'ün takviye elemanı olarak kullanımı daha yaygındır[10].

Metal matrisli kompozit üretiminde döküm, toz metalürjisi, in-situ ve infiltrasyon gibi farklı metotlar kullanılmaktadır[4-5]. İnfiltrasyon metodu içerisinde birkaç farklı uygulama tekniği barındırır. Bunlar; basınçlı, basınçsız ve vakum infiltrasyon teknikleridir[6-7]. Basınçlı infiltrasyon yöntemi; ön şekil verilmiş gözenekli takviyeye sıvı metalin nüfuz etmesi için, sıvı metale mekanik basınç yerine inert gaz basıncı uygulayan bir sıvı infiltrasyon tekniğidir[8]. 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; düşük ve uygun termal genleşme katsayısına, yüksek termal iletkenliğe, düşük maliyet ve yoğunluğa sahip olmalıdır. Ancak geleneksel paketleme malzemeleri bütün bu özellikleri karşılamadığından seramik takviyeli metal matrisli kompozitler geliştirilmiştir[11]. Bu yüzden kompozit malzemelerin ısıl iletkenliklerinin önemi son yıllarda daha fazla bir şekilde ortaya çıkmıştır. Elektronik endüstrisindeki yeni uygulamalarda; elektronik aygıtların boyutlarının küçülmesi ve güçlerinin artması neticesinde bu aygıtlarda kullanılacak olan malzemeler için ısıl iletim katsayısı oldukça yüksek yaklaşık 250-300(W/mK) olan malzemelere gereksinim duyulmaktadır[12]. Kompozitlerin ısıl iletkenliği ölçmek için kullanılan flash tekniği geniş bir kullanım alanına sahiptir ve farklı sıcaklıklarda ısıl iletkenliğin ölçülmesine imkan sağlar[13]. Bu çalışmada kullanılan flash tekniğinde, cihaza yerleştirilen küçük bir numunenin ön yüzü çok kısa ve yoğun bir ısıl enerjiye maruz bırakılmıştır. Metal matrisli kompozit malzemelerin mikroyapısı ısıl iletkenliklerinde çok önemli bir rol oynar[16].

II. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

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 ve diğerleri 1993]. Alüminyum-silisyum esaslı LM13 alaşımını matris malzemesi olarak, kısa saffil fiberleri ise takviye elemanı olarak kullanarak %10-15-20-25-30 takviye hacim oranlarında kompoziti basınçlı döküm yöntemi ile üretmişlerdir. Üretilen kompozitlerin yoğunluk ve sertliğinin artan takviye-hacim oranı ile arttığını belirlemişlerdir. Artan takviye-hacim oranı ile gözenek miktarının da arttığını ifade etmişlerdir[Durman ve diğerleri 1993].

Yaptıkları çalışmada matris malzemesi olarak alüminyum, takviye elemanı olarak SiC kullanarak basınçlı infiltrasyon

yönteminde sıcaklığın infiltrasyona etkisini incelemişlerdir. 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 belirlemişlerdir[Narciso ve diğerleri 1995]. Basınçsız infiltrasyon tekniği ile %25 takviye-hacim oranına sahip SiC/Al alaşımı kompozitleri 700°C ve 1000°C infiltrasyon sıcaklarında basınçsız infiltrasyon tekniği ile üretmişlerdir. İnfiltrasyon sıcaklığının artması ile 800°C'den sonra arayüzey reaksiyonunun bir sonucu olarak Al_4C_3 ve Si oluştuğunu bildirmişlerdir. Buna ilaveten arayüzeyde Al_4C_3 miktarı kadar $MgAl_2O_4$ spinelide gözlemlemişlerdir[Lee ve Kwon 1997].

SiC parçacıkları alüminyum alaşımları ile basınçsız infiltrasyon yöntemini uygulayarak infiltre etmişler ve ıslatmada silisyumun rolünü incelemişlerdir. Çalışmada silisyumun Al/SiC metal matrisli kompozitlerin üretiminde ıslatma bakımından önemli olduğu tespit etmişler ve silisyumca zengin alaşımlar ve SiC ile üretilen Al/SiC kompozitler, silisyumsuz alaşımlar ile üretilen kompozitlere göre oldukça üstün mekanik özellikler gösterdiklerini tespit etmişlerdir[Pech-Canul ve diğerleri 2000].

Matris malzemesi olarak Al 2014, takviye elemanı olarak ise 29µm, 45µm ve 110µm tane boyutuna sahip SiC kullanarak, 750°C'de karıştırmalı döküm yöntemiyle %10 ve %20 takviye hacim oranına sahip metal matrisli kompozit üretmiştir. Mikroskopik incelemede; Al matris içerisinde, SiC partiküllerin homojen olarak dağıldıklarını ve arayüzeyde gözenek olmadığını gözlemlemiştir. Takviye elemanının tane boyutunun azalması ile kompozitin yoğunluğunun azaldığını, tane boyutunun ve takviye hacim oranının artması ile de porozitenin azaldığını belirlemiştir. Kompozitin sertliğinin SiC partiküllerin ağırlıkça oranlarının artmasıyla, lineer olarak arttığını tespit etmiştir[Y. Sahin 2003].

III. DENEYSEL DETAYLAR

Deneylerde Bu çalışmada kullanılan ticari saflıkta, 105µm, ortalama tane büyüklüğüne sahip SiC tozlar ve Al2014'e ait kimyasal kompozisyon, fiziksel özellikler Tablo1, Tablo2 ve Tablo3'de verilmiştir[9].

Tablo 1. Al 2014'e ait fiziksel, mekanik ve termal özellikler

		Al 2014	SiC
Fiziksel Özellikler	Yoğunluk (kg/m ³)	2800	3200
Isıl Özellikler	Isıl İletkenlik (W/mK)	193	77.5

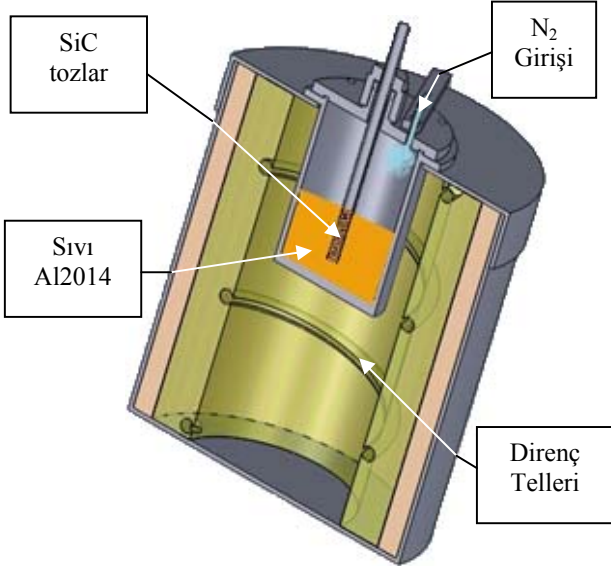
Tablo 2. Al 2014'ün kimyasal kompozisyonu

Element	Al	Cr	Cu	Fe	Mg
(%)	90.4 95.0	0.10	3.9 5.0	0.70	0.20 0.80
Element	Mn	Si	Ti	Zn	Diğer
(%)	0.50 1.20	0.50 1.20	0.15	0.25	0.15

Tablo 3. SiC'ün kimyasal kompozisyonu

Element	SiC	Fe ₂ O ₃	C	SiO ₂	Al ₂ O ₃
(%)	90.4	0.10	3.9	0.70	0.20
	95.0		5.0		0.80

Öncelikle 13mm çapında, 300mm yüksekliğindeki paslanmaz çelik malzemeden imal edilmiş boruların bir ucuna gözenekli filtre bir bilezik vasıtasıyla sabitlenmiş ve SiC tozlar boru içerisine 70mm yükseklik oluşturacak şekilde serbest halde doldurulmuştur. Daha sonra boru içerisindeki tozların üst kısmı yine bir bilezik ile sabitlenen gözenekli filtre vasıtasıyla kapatılarak SiC tozlar boru içerisinde sabitlenmiştir. 700°C, 750°C, 800°C infiltrasyon sıcaklıklarında, 700kPa sabit infiltrasyon basıncında, 3 dakika sabit infiltrasyon süresinde ve azot gazı (N₂) atmosferinde infiltrasyon gerçekleştirilmiştir. Daha sonra borular basınç kabının içerisinden çıkarılarak, oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır. Borular soğuduktan sonra kesilerek üretilen kompozit borunun içerisinden çıkarılmıştır. Şekilde numunelerin üretildiği basınçlı infiltrasyon deney düzeneği kesit olarak görülmektedir.



Şekil 1. Basınçlı infiltrasyon düzeneği

Numunelerin yoğunluklarının deneysel ölçümleri 0.0001g hassasiyete sahip "Sartorius YDK 01" marka hassas terazide yoğunluk ölçüm kiti kullanılarak arşimet prensibine göre yapılmıştır. Malzeme içerisindeki yüzde gözenek miktarı (φ) deneysel olarak elde edilen yoğunluk (ρ_d) ve takviye hacim oranından gidilerek hesaplanan teorik yoğunluk (ρ_t) kullanılarak aşağıdaki eşitlik (1) ile hesaplanmıştır.

$$\varphi = \frac{\rho_e}{\rho_t} * 100 \quad (1)$$

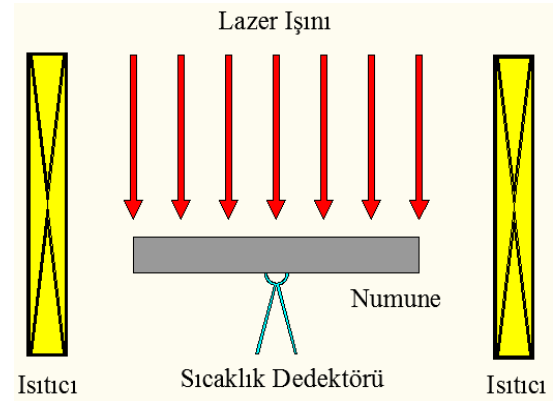
Kompozitlerin mikroyapı incelemeleri Resim 1'de gösterilen "JEOL JSM 5600" marka taramalı elektron mikroskobunda (SEM) 250 büyütmeye ile yapılmıştır.



Resim 1. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

Kompozit malzemelerin ısıl iletkenlik değeri; "Anter Flash Line 2000" model cihaz ile, ısı yayılım katsayısının (α) ölçülmesi ile eşitlik 2'den dolayı olarak belirlenmiştir. Cihaz zamana bağlı ısıl iletkenlik ölçüm temelini kullanmaktadır. Sabit sıcaklıkta tutulan fırın içerisindeki numune üzerine kuvvetli ışın demeti gönderilerek bunun numune üzerinde yaptığı ısıl etki, numunenin diğer tarafında bulunan detektör tarafından algılanmaktadır. Numune içerisinde ısının geçiş süreci, malzemenin ısı yayılım katsayısı (α) hakkında bilgi vermektedir. Cihazın çalışma esasına ilişkin şematik gösterim Şekil 2'de verilmiştir.

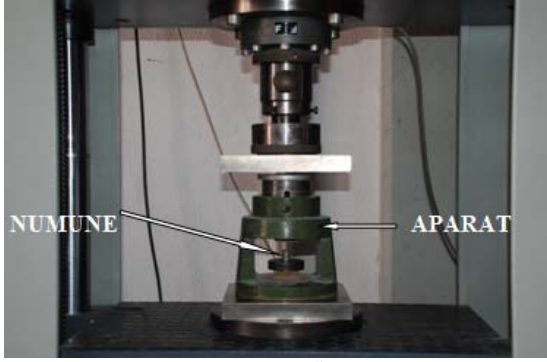
$$\alpha = \frac{k}{\rho * c} \quad (2)$$



Şekil 2. Lazer flash tekniğinde kullanılan deney düzeneğinin şematik gösterimi

Numunelerin sertlik ölçümleri "Clark 100S" marka sertlik ölçüm cihazı ile yapılmıştır. Sertlik ölçümünde Rockwell sertlik ölçüm yönteminin HR-30N skalası kullanılmıştır. Bu ölçüm yönteminde tepe açısı 120° olan elmas koni uç kullanılmıştır. Numunelere 3kg ön yük olmak üzere toplam 30 kg yük uygulanarak sertlikler ölçülmüştür.

Numunelerin basma dayanımları Resim1'de gösterilen "Zwick Z100" marka çekme-basma dayanımı cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Basma dayanımının belirlenmesinde numunelerin boyutları çok küçük olduğu için özel bir aparat kullanılmıştır.



Resim 2. Çekme-Basma Dayanımı Ölçüm Cihazı

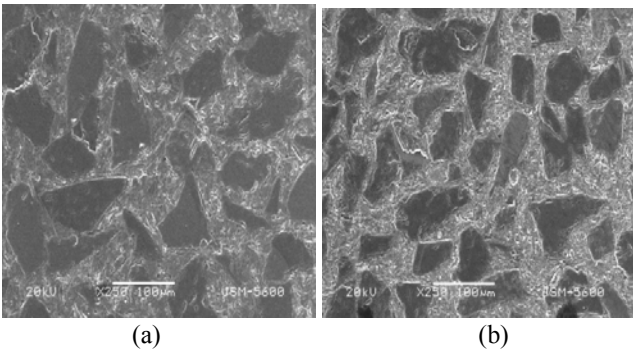
IV. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

Üretilen kompozitlerin yoğunluk, porozite, ısıl iletkenlik, sertlik ve basma dayanımlarının infiltrasyon sıcaklığı ile değişiminin belirlenebilmesi için her bir sıcaklık değerinde tüm özellikler için 19 adet ölçüm alınmış ve ölçümlerin ortalaması Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 4. Kompozitin Özelliklerinin Sıcaklıkla Değişimi

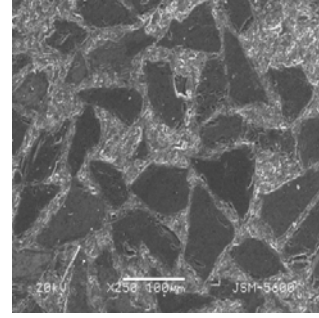
Sıc.(°C)	Y(g/cm ³)	ϕ (%)	I(W/mK)	S(HR)	B(MPa)
700	2,8689	1,0480	121,805	52,5	497
750	2,9575	1,0167	133,007	54	505
800	3,1083	0,9673	141,139	55,5	523

Kompozitlerin mikroyapı incelemeleri sonucunda neredeyse homojen bir yapı gözlenmesine rağmen bazı bölgelerde SiC parçacıklarının kümelenme eğiliminde oldukları belirlenmiştir. Bunun yetersiz soğuma hızı nedeniyle matrisin katılaşması esnasında rastgele oluşan dentritlerin kollarının hala sıvı durumda olan matris içinde SiC parçacıklarını itmesi olabilir.



(a)

(b)



(c)

Resim 3. Kompozitlerin farklı sıcaklıklardaki SEM görüntüleri (a) 700°C, (b) 750°C, (c) 800°C

Belirli sıcaklık seviyelerinde özelliklerin anlamlı bir değişim gösterip göstermediği bilinen istatistiksel yöntemlerden Tek Yönlü Varyans Analizi (ANOVA) ile incelenmiştir. Bu yöntemin kullanılabilmesi için gerekli olan normallik ve varyansların homojenliği varsayımlarının $\alpha = 0.05$ anlam düzeyinde sağlandığı ($p > \alpha / 2$) sırasıyla Kolmogorov Simirnov ve Levene Test istatistikleri ile Tablo 5’te gösterilmiştir. Dolayısıyla Tablo 6’da elde edilen ANOVA istatistik değerleri (F) ve gözlenen anlam düzeyleri (p) sonuçlarına göre her bir özellik için ($p < \alpha = 0.05$) belirtilen sıcaklık seviyeleri arasındaki farkların anlamlı olduğu anlaşılmaktadır. Daha sonra farklılığın hangi sıcaklık seviyelerinden kaynaklandığını belirlemek için yapılan çoklu karşılaştırmalarda Tukey (HSD) yöntemi kullanılmış ve Tablo 7’de verilmiş olan sonuçlardan her bir sıcaklık seviyesinin ele alınan özelliklerde anlamlı bir fark yarattığı sonucuna ulaşılmıştır. ($p < \alpha = 0.05$)

Tablo 5. ANOVA için gerekli varsayımlar

Varsayımlar		Normallik Testi		Homojenlik Testi	
Özellik	Sıc. (°C)	K-S	p	Levene	p
Yoğunluk Porozite İletkenlik Sertlik Basma	700	,336	1,000	,000	1,000
	750	,336	1,000		
	800	,336	1,000		

Tablo 6. Tek yönlü varyans analizi sonuçları

ANOVA	F	p
Yoğunluk	8,790E3	,000
Porozite	993,254	,000
İletkenlik	5,654E5	,000
Sertlik	135,000	,000
Basma	106,400	,000

Tablo 7. Tukey(HSD) yöntemi ile çoklu karşılaştırmalar

Tukey HSD	İkili Sıc. (°C)	p	Alt sınır	Üst sınır
Yoğunluk (g/cm ³)	700-750	,000	-,093000	-,084200
	700-800	,000	-,243800	-,235000
	750-800	,000	-,155200	-,235000
Porozite (%)	700-750	,000	,026900	,035700
	700-800	,000	,076300	,085100
	750-800	,000	,045000	,053800
İletkenlik (W/mK)	700-750	,000	-11,246000	-11,158000
	700-800	,000	-19,378000	-19,290000
	750-800	,000	-8,176000	-8,088000
Sertlik (HR)	700-750	,000	-1,940001	-1,059999
	700-800	,000	-3,440001	-2,559999
	750-800	,000	-1,940001	-1,059999
Basma (MPa)	700-750	,000	-12,400009	-3,599991
	700-800	,000	-30,400009	-21,599991
	750-800	,000	-22,400009	-13,599991

Yapılan ölçümler sonucunda infiltrasyon sıcaklığının artması ile kompozitin yoğunluğu artarken, gözenek miktarı azalmıştır. Bunun nedeni artan sıcaklıklar ile sıvı matrisin akıcılığının artması, yüzey geriliminin düşmesi ve SiC tozlar arasında kalan boşluklara daha kolay ilerleyebilmesi olabilir. Ayrıca artan infiltrasyon sıcaklıkları ile ısıl iletkenlik, sertlik ve basma dayanımı da artmıştır. Bu özelliklerdeki artışı da sıcaklığın artması ile gözenek miktarının azalmasına bağlayabiliriz.

V. SEMBOLLER

- α Isı yayılım katsayısı, m²/s
 c Özgül ısı, J/kg.K
 k Isıl iletkenlik, W/mK
 Y Yoğunluk, g/cm³
 φ Gözenek miktarı, %
 I Isıl iletkenlik, W/mK
 S Sertlik, HR-30N
 B Basma dayanımı, MPa
 ρ_d Deneysel yoğunluk, g/cm³
 ρ_t Teorik yoğunluk, g/cm³

K-S Kalmogorov Simirrow
P gözlenen anlam düzeyi

VI. KAYNAKLAR

- [1] Davey, N., "Metarials Science", A History of Building Metarials, *Phoenix Hause*, Londra, 2nd Edition,1-88, (1965).
- [2] Yalçın, H., Gürü, M., "Malzeme Özellikleri", *Malzeme Bilgisi*, *Palme Yayıncılık*, Ankara, 1-42, (2002).
- [3] Soy. U., "Metal Matris Kompozit Malzemeler", *Sakarya Üniversitesi* (2009)
- [4] D. M. Stefanescu, D. K. Dhindaw and S. Ahuja, *Metall. Mater. Trans.* 23A. 2328 (1992)
- [5] S. A. Gedeon and I. Tangerini, *Mat. Sci. Eng. A*, 144, 237 (1991)
- [6] C. L. Buhrmaster, D. E. Clark and H. B. Smart, *J. Metals*, 40, 44 (1988)
- [7] J. A. Aguliar-Martinez, M. I. Pech-Canul, M. Rodriguez-Reyes and J. L. De Lapena, *Mater. Lett.*, 57, 4332 (2003)
- [8] Hamzawy, E. M., El-Kheshen, A. A., Zawrah, M. F., "Densification and properties of glass/cordierite composites", *Ceramics International*, Elsevier., 31: 383-389 (2005)
<http://www.matweb.com>
- [9] Ahlatci, H., Koçer, T., Candan, E. and Çimenoglu, H., *Wear behaviour of Al(Al₂O₃+SiC_n) hybrid composites*, *Tribology International*, 39(3), 213-220 (2006)
- [10] Benal, M.M. and Shivanand, H.K., Effects of reinforcements content and ageing durations on wear characteristics of Al (6061) based hybrid composites, *Wear*, Volume 262, Issusue 5-6, Pages 759-763 (2007)
- [11] Zweben C. *Advances in composite materials for thermal management in electronic packaging*. JOM;50:47-60 (1998)
- [12] Y. Rong, L. Jia-Jun, L. Bao-Liang, Z. Zhen-Bi and L. He-Zhuo Miao, *Wear*, 210, 39 (1997)
- [13] Flaquer J, Rios A, Martín-Meizoso A, Nogales S, Böhm HJ. Effect of diamond shapes and associated thermal boundary resistance on thermal conductivity of diamond-based composites. *Comput Mater Sci*; 49:156-63 (2007)
- [14] Nogales S, Böhm HJ. The thermal conductivity and thermomechanical behavior of diamond reinforced composites. *Int J Eng Sci*; 46:606-19 (2008)
- [15] K. Watari, *J. Ceram. Soc. (Japan)*, 109, 7 (2001)
- [16] Harris, G.L., Thermal conductivity of SiC, in *Properties of Silicon Carbide*. Ed. Harris, G.L., EMIS Datareviews Series, N13, 5-6, (1995)
- [17] Burgemeister, E.A., W. von Muench, E. Pettenpaul, Thermal conductivity and electrical properties of 6H silicon carbide. *J. Appl. Phys.* 50, 9, 5790-5794 (1979)