



SiC Takviyeli Alüminyum Alaşım Matrisli Kompozit Malzemenin Yüksek Basıncılı Kalıp Dökümü ve Mekanik Özellikleri

Harun BAYAR², Mehmet SUBAŞI^{1, *}, Çetin KARATAŞ²

¹*Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Gazi Üniversitesi,*

²*İmalat Mühendisliği, Teknoloji Fakültesi, Gazi Üniversitesi, 06500, Beşevler, Ankara*

Başvuru: 26/06/2015 Düzeltme:04/09/2015 Kabul: 07/10/2015

ÖZET

Bu çalışmada, SiC parçacık takviyeli vetakviyesiz alüminyum metalmatrisli kompozit malzemelerin yüksek basınçlı dökümle üretilebilirliği ve mekanik özellikleri araştırılmıştır. Etial 171 alüminyum alaşımı 64 µm boyutuna sahip hacimce %10 oranında SiC parçacıklar ile takviye edilmiştir. Çekme ve Charpy çentik deney numuneleri için metal enjeksiyon kalıbı tasarlanmış ve imal edilmiştir. Numuneler 50, 100, 150, 200, 250 kg/cm² olmak üzere beş farklı enjeksiyon basıncında dökülmüştür. Üretilen numunelerin çekme ve Charpy çentik darbe özellikleri, sertlik değerleri, mikroyapı ve gözenek oranları analiz edilmiştir. SiC parçacık ilavesi ile kompozit numunelerin sertliği artarken darbe tokluğu, akma mukavemeti ve çekme mukavemeti değerlerinin düştüğü ve aynı zamanda SiC ilavesi enjeksiyon basıncının artmasına ve gözenek miktarının azalmasına katkı sağlamıştır.

Anahtar kelimeler: Metal matrislikompozit (MMK), SiC, Yüksek basınçlıkalıp döküm

ABSTRACT

In this study, producibility of aluminum metal matrix composite materilas with and without SiC particles by high pressure die-casting and their mechanical properties have been investigated. Etial 171 aluminum matrix was reinforced by adding 10% wt SiC particles with size of 64 µm. Metal injection molds were designed and fabricated for tensile and Charpy notch tests. Specimens were casted at five different injection pressures of 50, 100, 150, 200, 250 kg/cm². The tensile and charpy notch impact properties, hardness values, microstructure and porosity ratio of produced specimens were analyzed. By adding SiC particles to composite, while the hardness was increased, impact toughness, yield and tensile strength decreased. It was also determined that SiC addition results in injection pressure increase and less porosity.

Keywords: *Metal matrix composites (MMK), SiC, High pressure die-casting*

1. GİRİŞ

Yüksek basınçlı döküm (YBD), alüminyum, magnezyum ve çinko gibi demir dışı malzemelerden parça üretimi için kullanılan yaygın bir tekniktir [1, 2]. Günümüzde alüminyum ve alaşımı parçaların % 70'i YBD tekniği ile üretilmektedir [2]. Diğer döküm yöntemleri ile karşılaştırıldığında YBD'nin avantajları; yüksek verimlilik, toleranslar içerisinde boyutsal kararlılık ve yüzey kalitesi, kütleli ve ekonomik üretim, karmaşık şekilli ve ince kesitli parça üretimi, ince taneli mikroyapı ve mekanik özelliklere sahip parça üretebilmek olarak sıralanabilir [1].

Geleneksel malzeme üretim yöntemleri ile mekanik ve fiziksel özellikleri iyileştirilmiş parçacık takviyeli alüminyum matrisli kompozitler geliştirilmiştir. Alüminyum esaslı metal matrisli kompozit malzemeler (AMMK), düşük ağırlık ve yüksek dayanım açısından tercih edilen malzemelerdir. AMMK malzemelerde matris malzemesi olarak kullanılan alüminyum düşük yoğunluk sağlarken; takviye malzemesi olarak kullanılan SiC, Al₂O₃ ve B₄C gibi seramik malzemeler, yüksek aşınma ve ısı direnç gibi özellikler kazandırır [3, 4].

Literatürde yapılan çalışmalarda YBD tekniği ile alüminyum matrisli parça üretiminde sıcaklığın kalıp ömrüne etkisi [2], ince kesitli alüminyum parçaların üretimi [5], üretilen parçalardaki boşluğun mekanik özelliklere etkisi [6], YBD ile üretilen alüminyum alaşımı parça imalatında kalıpta kullanılan yağlayıcının etkisi [7] üzerine çalışmalar bulunmaktadır. Ancak, YBD yöntemi ile farklı enjeksiyon basınçları kullanılarak üretilen

kompozit ve takviyesiz alaşım numunelerin mikroyapı ve mekanik özellikleri üzerine araştırmalara rastlanılmamıştır

Bu çalışmada YBD yöntemi ile farklı enjeksiyon basınçlarında üretilen kompozit ve takviyesiz alaşım numunelerin mikroyapı ve mekanik özelliklerindeki değişim araştırılmıştır. Numuneler, YBD yöntemine uygun tasarlanarak imal edilen, kalıp aracılığıyla üretilmiştir. Kompozit ve takviyesiz alaşım numunelerde enjeksiyon basıncının mekanik özellikleri değiştirdiği ve ayrıca basınç değişimi ile mikroyapıda takviye elemanlarının dağıldığı tespit edilmiştir

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Malzeme

Çalışmada YBD imal parametrelerinin kompozit malzemenin ve alaşımın mekanik özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Beş farklı enjeksiyon basıncında Etial 171 alüminyum alaşımı matris malzemeye SiC partiküller katılarak numuneler elde edilmiştir. Matris malzemesi ticari olarak bulunabilir olmasının yanında sanayide yaygın olarak YBD tekniği ile parça imaline yatkın niteliktedir. Etial 171 alüminyum alaşımının yaygın uygulama alanı, mukavemet ve basınç altında sızdırmazlık istenen yerler olarak değerlendirilebilir. Tablo 1 ve Tablo 2'de Etial 171 alaşımının kimyasal kompozisyonu ve fiziksel özellikleri verilmiştir.

Tablo 1. Etial 171 alaşımının kimyasal kompozisyonu (Chemical composition of Etial 171 alloy)

	Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Ni	Ti	Pb	Sn
ETİAL-171	0,50	9,00-10,00	0,10	0,40-0,60	0,30-0,45	0,10	0,10	0,15	0,05	0,05

Tablo 2. Etial 171 alaşımın tipik özellikleri (Typical characteristics of Etial 171 alloy)

ETİNORM	Etial 171
Özgül ağırlık (g/cm ³)	2,64
Ergime aralığı °C	575-595
Isısal iletkenlik (Cal/cm.s°C)	0,27
Korozon dayanımı	Çok iyi
Dökülebilirlik	Mükemmel
İşlenebilme	Orta
Anodik oksidasyon	Sadece yüzey korumada
Endüstriyel uygulamaları	Mukavemet ve basınç altında sızdırmazlık gerektiren ve basınçlı dökümle imal edilen parçalar
Çekme mukavemeti (MPa)	280
Akma Mukavemeti (MPa)	250
Kopma uzması %	3

Takviye olarak 64 µm boyutunda; 3,2 g/cm³ özgül ağırlığa sahip SiC parçacık kullanılmıştır. Parçacıklar

hacimsel olarak %10 oranında eklenmiştir. Tablo 3'te SiC parçacıklar mekanik özellikleri verilmektedir.

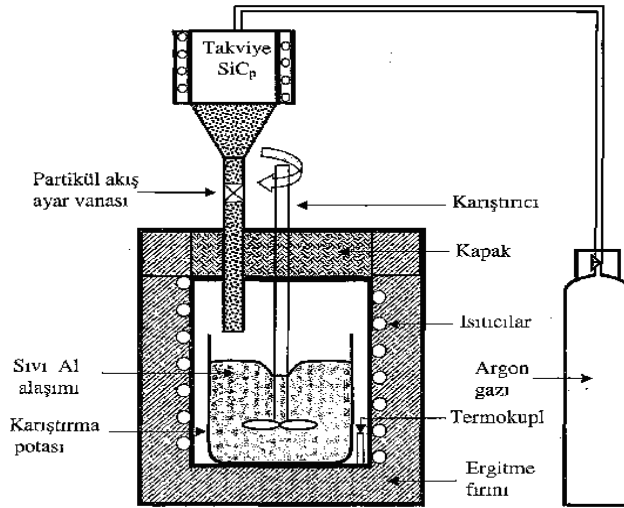
Tablo 3. SiC parçacıklarının mekanik özellikleri [8] (Mechanical properties of SiC particles)

Malzeme	Yoğunluk (g/cm ³)	Ergime Sıcaklığı (°C)	Isıl Genleşme Katsayısı (10 ⁻⁶ /K)	Basma Mukavemeti (MPa)	Sertlik (HV)	Elastikiyet Modülü (10 ³ MPa)
SiC	3,20	2500	5	2000	3000	414

2.2. Kompozit Malzemenin YBD için hazırlanması

Kompozit üretimi Vorteks (karıştırma) metodu ile yapılmıştır. Pota içinde 30 kg Etial 171 alüminyum alaşımı 670 °C'de ergitilmiştir. Matris malzemesi olan alüminyum alaşım ergitildikten sonra içerisindeki gazlar, malzeme ağırlığının % 0,1 oranında gaz alma tabletleriyle yapıdan uzaklaştırılmıştır. Ayrıca, cürufaların temizlenmesi için malzeme ağırlığının % 0,2'si kadar alüminyum temizleme tozu kullanılmıştır. Parçacıklar ilave edilmeden önce yüzeylerindeki kirliliğin

giderilmesi, absorbe olmuş gazların ayrılması ve yüzeylerde koruyucu bir oksit tabakasının oluşturulması için alüminyum alaşımı 1100 °C'de bir saat bekletilmiştir. Daha sonra ıslanmanın iyi olabilmesi için alaşım 700 °C'ye düşürülerek kontrollü argon gazı akışı altında 200 g/min hızla ve hacimsel %10 oranında SiC parçacıkları ilave edilmiştir. Ayrıca alaşım üzerinde koruyucu bir argon gazı atmosferi de oluşturulmuştur. Karıştırma işlemi 400 dev/min hızda grafit karıştırıcıda yapılmıştır. Şekil 1'de vorteks yönteminin şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 1. Vorteks döküm yönteminin şematik gösterimi [9](Schematic representation of vortex casting)

2.3. Numunelerin Üretimi (Production of Samples)

Çekme ve Charpy darbe deneyi numuneleri beş farklı basınç altında; takviyesiz alaşım ve kompozit malzemeden beşer adet olmak üzere toplamda 10 adet üretilmiştir.

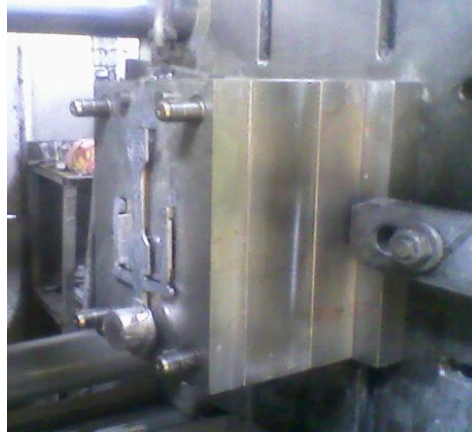
YBD işlemi yatay soğuk kamaralı makine de gerçekleştirilmiştir. Makinenin mengene kilitleme kuvveti 160 ton, kolon eksenleri 450 mm'dir. Makinenin en büyük enjeksiyon basıncı 250 kg/cm²'dir. YBD tekniği ile numune üretiminde kullanılan makine hidrolik basınç değerleri 50, 100, 150, 200, 250 kg/cm² olarak

ayarlandığında, kalıp içi enjeksiyon basıncı değerleri 313, 625, 938, 1250, 1563 kg/cm² dir.

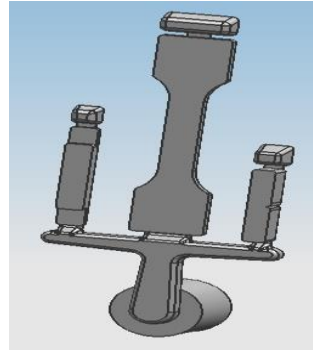
YBD makinesinin hidrolik piston çapı 100 mm, alüminyum kalıp içine enjekte eden bakır pistonun çapı ise 40 mm'dir. Kalıba alüminyum gönderen enjeksiyon basıncı Eş 1'deki formüle göre hesaplanmıştır.

$$P_p = (P_e \cdot A_e) / A_p \quad (1)$$

Şekil 2'de YBD kalıbının hareketli tarafı, Şekil 3'de ise yolluklu ve taşma kanallı parçaların katı modeli verilmiştir.



Şekil 2. YBD kalıbı hareketli tarafı (HPC mold, moving side)



Şekil 3. Yolluklu ve taşma kanallı parçaların katı modeli (Solid models of samples with runner and overflow channel)

Kompozit ve takviyesiz alaşım numunelerine her basınç parametresi için ayrı kod verilmiştir. Kompozit numuneler K1, K2, K3, K4, K5 kodlarıyla markalanmıştır. K1 numunesi 50 kg/cm²'lik enjeksiyon makinesi basıncıyla dökülmüş kompozit numuneye verilen koddur. Takviyesiz numuneler A1, A2, A3, A4, A5 kodlarıyla markalanmıştır. A1 numunesi ise 50

kg/cm²'lik enjeksiyon makinesi basıncıyla dökülmüş takviyesiz alaşım numuneye verilen koddur. Her basınç parametresinden kalıp ve makine kararlı bir ürün basma noktasına ulaştıktan sonra beşer adet numune basınçlı dökümle kalıplanmıştır. Her numune tek tek markalanmıştır (Tablo 4).

Tablo 4. Basınçlı döküm numuneleri

Numune kodu	Enjeksiyon makinesi basıncı (kg/cm ²)	Enjeksiyon basıncı (kg/cm ²)	%SiC
A1	50	313	-
A2	100	625	-
A3	150	938	-
A4	200	1250	-
A5	250	1563	-
K1	50	313	10
K2	100	625	10
K3	150	938	10
K4	200	1250	10
K5	250	1563	10

3. DENEY BULGULARI VE TARTIŞMA

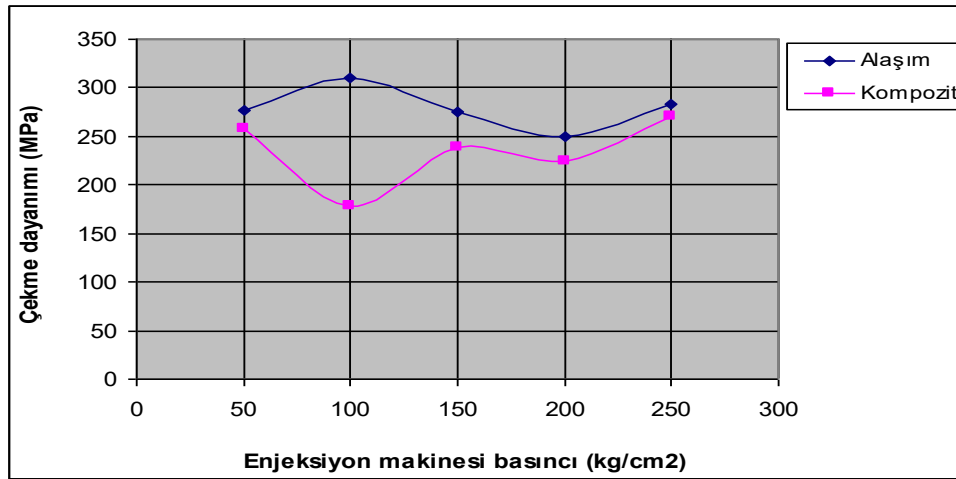
3.1. Çekme Deneyi Sonuçları

Çekme testleri için TS 138 EN 10002-1[10] standardı ölçülerinde kompozit ve takviyesiz alaşım olmak üzere iki farklı cinste numuneler hazırlanmıştır. Numunelerin gerilme – gerinme davranışları bilgisayar destekli Hualong Marka 200 kN'luk çekme cihazı ile tespit edilmiştir.

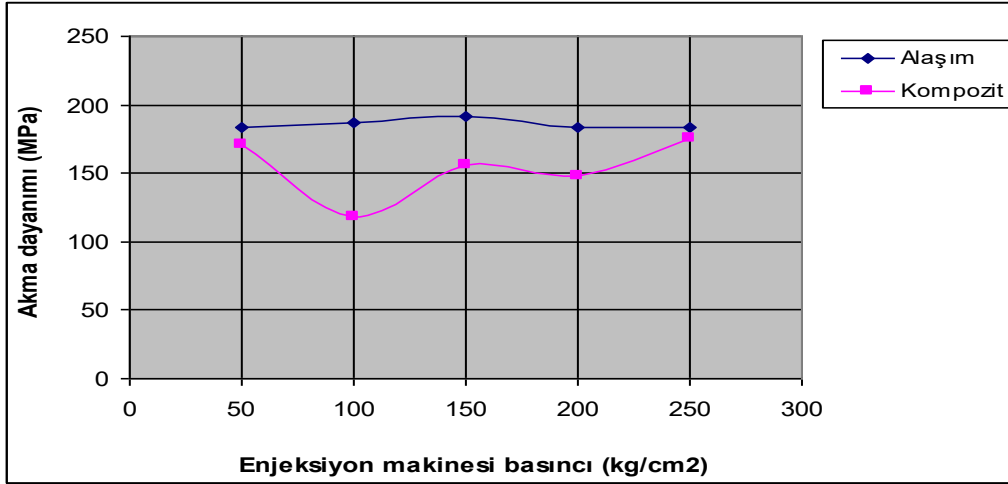
Sonuçların verildiği Tablo 5, Şekil 4 ve Şekil 5'de görüldüğü gibi kompozit numunelerin çekme ve akma mukavemetleri takviyesiz alaşıma göre daha düşük çıkmıştır. SiC parçacıkları kompozit malzemenin yapısını gevrekletmiştir. Parçacık ilavesi kompozit malzemenin yüzde uzama değerini de düşürmüştür (Tablo 5)

Tablo 5. Çekme deneyi değerleri (Tensile Experiment Results)

Numune kodu	$\sigma_{akma_{ort.}}$ (MPa)	$\sigma_{çekme_{ort.}}$ (MPa)	ε (%)
A1	183,5	276,5	5,2
A2	187,5	310	5,4
A3	191	274,5	5,5
A4	184	249,5	5,7
A5	183	283	5,8
K1	171	257	1,0
K2	118	178	1,5
K3	156	238	2,0
K4	148	225	0,5
K5	175	270	1,45



Şekil 4. Alaşım ve kompozit numunelerin çekme dayanımlarının basınca bağlı değişimi
(Pressure-dependent variation of the tensile strength of the alloy and composite samples)



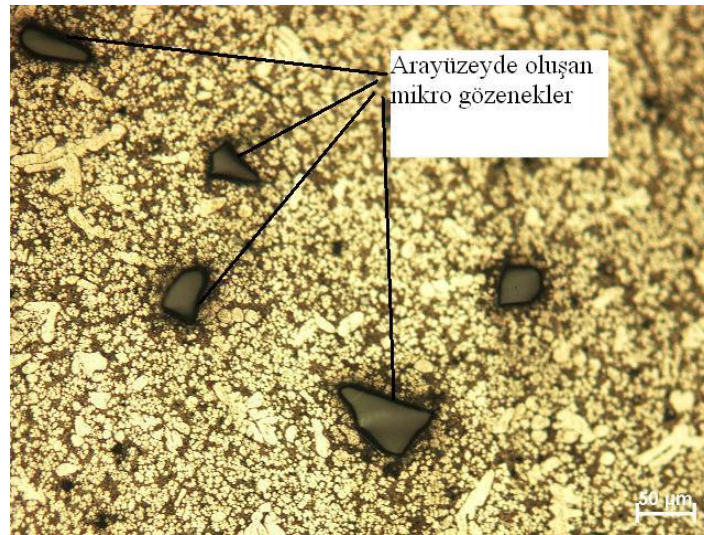
Şekil 5. Alaşım ve kompozit numunelerin akma dayanımlarının basınca bağlı değişimi

Şekil 4'de çekme dayanımının takviye elemanına ve enjeksiyon basıncına bağlı değişim grafiği, Şekil 5'de akma dayanımının takviye elemanına ve enjeksiyon basıncına bağlı değişim grafiği, verilmiştir. Grafikler incelendiğinde kompozitlerin akma ve çekme dayanımlarında sapmalar olduğu görülmüştür. Bu sapmaların YBD yönteminde SiC parçacıklarının homojen şekilde parçaya enjekte edilememesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Kompozit malzeme üretimini olumsuz etkileyen parametrelerin başında parçacıkların ıslatılması gelmektedir. Matris malzemesine gelen kuvvetlerin

takviye elemanına iletilmesinde ıslatmanın önemi fazladır. Eğer takviye elemanı ile matris arasında kuvvetli bir bağ oluşmazsa matrise gelen yükler takviye elemanına iletilmez ve kompozitin dayanımı düşer, istenilen artış elde edilemez [11-15].

Şekil 6'da takviye elemanı ile matris ara yüzeyinde oluşan mikro gözenekler görülmektedir. Mikro gözenekler matrise gelen kuvvetlerin takviye elemanına iletilmesini engellediği sonucuna ulaşılmıştır. Mikro gözeneklerin oluşma sebebinin, takviye elemanın iyi ıslatılmaması ve sistemin hava ile temasının kesilememesi olduğu düşünülmektedir.



Şekil 6. Ara yüzeyde oluşan mikro gözenekler (The micropores formed at the interface)

Ekici [9], çalışmasında SiC parçacık takviyeli alüminyum alaşım matrisli kompozit malzemeyi iki aşamada üretmiştir. Birinci aşamada kompozit vorteks döküm yöntemiyle biyet şeklinde dökülmüş, daha sonra bu biyetler sıcak ekstrüze edilmiş ve akma dayanımı 457 MPa çekme dayanımı 508 MPa olan kompozit elde etmiştir. Ekici tarafından uygulanan prosedürde malzemenin sıcak ekstrüze edilmesinin mukavemeti

artırdığı görülmektedir. Bu çalışmada kullanılan alüminyum malzeme ile Ekici ve arkadaşlarının kullandıkları malzeme aynı işleme ve özelliğe sahip değildir.

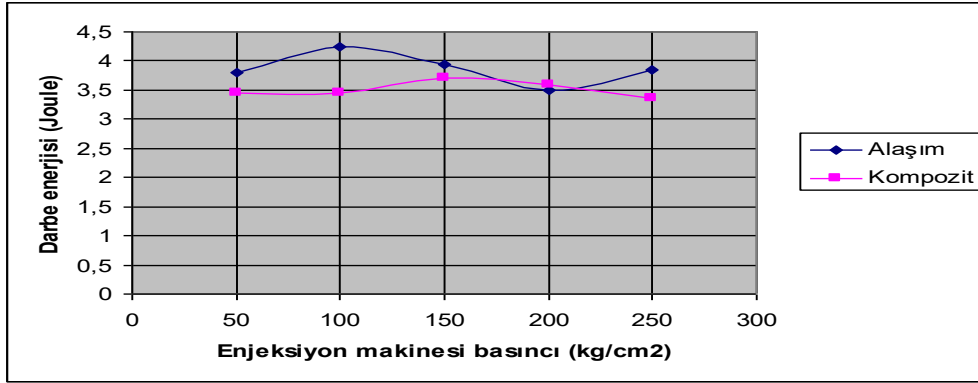
3.2. Charpy Çentik Darbe Deneyi Sonuçları

Charpy darbe testleri; ASTM E 23 [16] standardına göre

hazırlanmış V çentikli alüminyum matrisli kompozit ve takviyesiz alaşım numuneler ile yapılmıştır. Deneyler Charpy çentik darbe deney cihazında gerçekleştirilmiştir.

Şekil 7'de enjeksiyon basıncına bağlı darbe enerjisi değişim grafiği verilmiştir. Takviyesiz alaşım numunelerinin darbe enerjileri kompozit numunelere göre % 10 daha fazladır. Takviyesiz alaşım numunelerinin ortalama darbe enerjisi 3,87 J, kompozit numunelerin

darbe enerjisi 3,51 J'dür. SiC parçacık ilavesinin kompozit numuneleri gevreklettiği tespit edilmiştir. SiC parçacıkların kalıp boşluğunda homojen dağılmaması ve matris/takviye elemanı ara yüzeyinde oluşan mikro gözeneklerin kompozit numunelerin darbe enerjisini düşürdüğü sonucuna varılmıştır.



Şekil 7. Alaşım ve kompozit numunelerin darbe enerjilerinin basınca bağlı değişimi
(Pressure-dependent change of the impact energy of the alloy and composite samples)

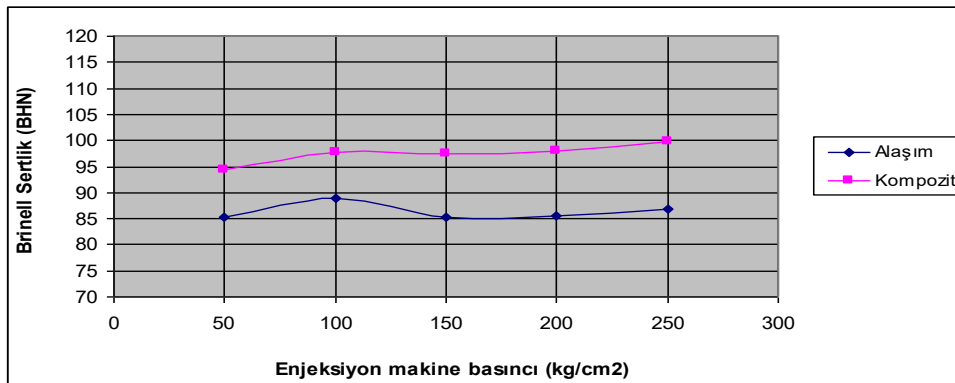
Metal matrisli kompozitlerin mekanik özellikleri birçok faktöre bağlı olarak değişmektedir. Bunlar içerisinde takviye hacim oranı ve takviye partikül boyutu oldukça etkilidir. Yapılan çalışmalarda [17-22] takviye hacim oranı arttıkça çekme dayanımı gibi bazı mekanik özelliklerin sürekli bir artış gösterdiği belirtilirken bazı çalışmalarda [23, 24] ise belirli bir takviye hacim değerinden sonra bu özelliklerin düştüğü saptanmıştır [4].

Özdin [25] SiC takviye oranı arttıkça kompozitin gevrekleştiği ve darbe tokluğunun azaldığını tespit etmiştir. Ayrıca parçacık boyutu arttıkça darbe tokluğunun arttığını belirlemişlerdir. Bu çalışmada kompozit numunelerin darbe enerjisi takviyesiz alaşım numunelerinin darbe enerjisinden düşük çıkmıştır.

3.3 Sertlik Ölçümleri (Hardness Measurements)

Sertlik ölçümleri, Brinell skalasında ölçüm yapan en fazla 250 kg yük uygulama kapasitesine sahip Wolpert marka sertlik ölçüm cihazında yapılmıştır. Sertlik ölçümünde 2,5 mm çapında bilye kullanılmış ve 31,25 kg'lık yük 25 s süreyle uygulanmıştır.

Kompozit numunelerin ortalama sertlik değeri 97 HBN, takviyesiz alaşım numunelerin ortalama sertlik değeri 86 BHN olarak ölçülmüştür. Şekil 8'de kompozit numunelerin takviyesiz alaşım numunelerine göre sertliğinin yaklaşık 10 BHN daha fazla olduğu görülmektedir. SiC parçacık takviyesinin numunelerin sertliğini % 5 oranında arttırdığı sonucuna ulaşılmıştır.



Şekil 8. Kompozit ve takviyesiz alaşım numunelerinin ortalama sertlik değerleri
(The average hardness value of the reinforced composite and alloy samples)

Bekheet ve arkadaşları, SiC parçacık takviyeli 2024 alaşım malzemesini incelenmişler ve kompozitin sertliğinin alaşımın sertliğinden % 3-7 oranında daha fazla olduğunu çalışmalarında [14] belirtmişlerdir.

Dong ve arkadaşları [15], çalışmasında sıkıştırılmalı döküm metoduyla üretilen SiCw/Al-Li-Cu-Mg-Zr kompozitinin oda sıcaklığında ve yüksek sıcaklıkta yaşlandırma işlemi, sertliği ve mikro yapısı TEM aracılığıyla incelenmişlerdir. SiC takviye elemanlarının yaşlandırma sürecini hızlandırdığı ve sertliği % 84 oranında artırdığı sonucuna varmışlardır. Literatürde elde edilen her iki sonucun bu çalışma sonucu ile uyumlu olduğu görülmüştür.

3.4. Gözeneklik Ölçüm Sonuçları (Porosity Measurement Results)

Bu çalışmada gözenek miktarı Arşimed prensibine göre yapılan ölçümler ile hesaplanmıştır. Gözenek yüzdesi hesabında Eş.2'deki formül kullanılmıştır. Teorik yoğunluk ise kompozitin içerdiği SiC parçacık %10 hacim oranına göre hesaplanmıştır. Tablo 6'da gözenek oranları verilmiştir.

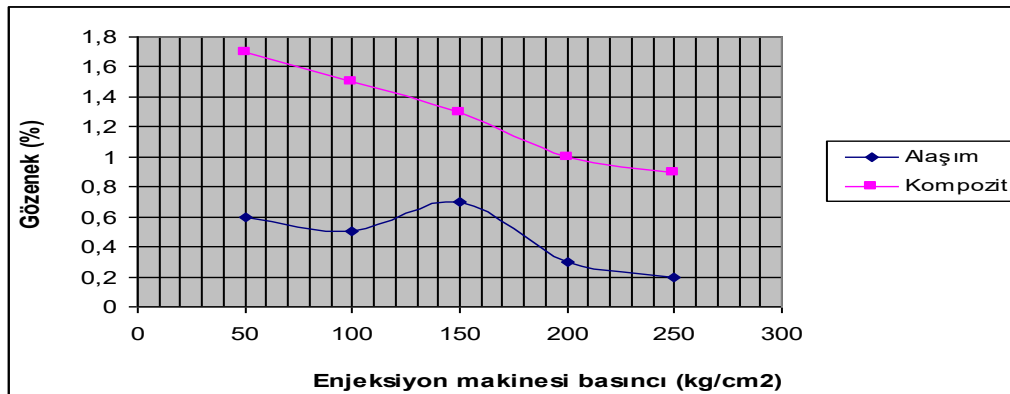
$$\% \text{ gözenek} = ((d_{\text{teorik}} - d_{\text{deneysel}}) / d_{\text{teorik}}) \times 100 \quad (2)$$

Tablo 6. Arşimed prensibine göre gözenek ölçüm değerleri
(Porosity measurements results according to Archimedes' principle)

Malzeme kodu	Uygulanan basınç (kg/cm ²)	Teorik yoğunluk (g/cm ³)	Deneyisel yoğunluk (g/cm ³)	Gözenek (%)
Matris Alaşımı		2,64	2,64	0
A1	50	2,64	2,625	0,6
A2	100	2,64	2,627	0,5
A3	150	2,64	2,622	0,7
A4	200	2,64	2,632	0,3
A5	250	2,64	2,635	0,2
K1	50	2,696	2,651	1,7
K2	100	2,696	2,655	1,5
K3	150	2,696	2,662	1,3
K4	200	2,696	2,670	1,0
K5	250	2,696	2,672	0,9

Şekil 9 incelendiğinde, gözenek yüzdesinin basınç arttıkça düştüğü görülmektedir. Alaşıma göre kompozit malzemelerde gözenek yüzdeleri daha yüksektir. Bunun,

parçacık topaklanması ve matris/takviye elemanı ara yüzeyinde oluşan mikro gözeneklerden kaynaklandığı sonucuna varılmıştır.



Şekil 9. Alaşım ve kompozit numunelerin gözenekliliklerinin basınca bağlı değişimi
(Pressure-dependent change of the pores of the alloy and composite samples)

Gözeneklilik yükün uygulandığı alanı azaltarak malzemenin mekanik özelliklerini olumsuz etkileyen önemli bir parametredir.

Bu çalışmada YBD öncesinde gaz alma işlemleri yapılarak gözenekli yapının oluşması engellenmeye çalışılmıştır. Ayrıca yüksek enjeksiyon basıncı uygulanarak katılaştıran metal içerisinde gaz ve büzülmeden kaynaklanan gözenek oluşması engellenmeye çalışılmıştır. Ancak, yüksek basınç seviyeleri gözenekli bir miktar azaltsa da gözeneksiz bir yapı elde edilememiştir. Buna SiC ile ana malzeme arasında ısıtma olmamasının sebep olduğu düşünülmektedir.

Özdin [25], basınçlı vorteks metodu ile farklı boyut ve hacim oranlarında SiC parçacıkları ile takviye edilmiş Al esaslı (Al-2011) metal matrisli kompozitler üretmiş ve aşınma özelliklerini araştırmıştır. Parçacık oranının artması ve boyutunun düşmesi ile gözenek oranının arttığını gözlemiştir. Bu çalışmada takviye elemanının 64 µm seçilmesi ve takviye oranının düşük (% 10) olması kompozit numunelerdeki gözenek yüzdesinin düşük çıkmasını sağlamıştır.

Ayrıca çalışmada takviye elemanlarının enjeksiyon makinesinin piston silindir ve kalıp yolluk sistemine enjeksiyon sırasında çizgisel izler bırakarak zarar verdiği gözlemlenmiştir. Laboratuvar ortamında geliştirilen bu tür kompozitlerin seri üretim ürüne dönüştürülmesi sürecinde karşılaşılabilecek olumsuzlukların ve olumsuzlukların bu çalışmada elde edilen bulgular ışığında da ele alınması uygun olacaktır.

4. SONUÇLAR (RESULTS)

Matris ile SiC parçacıkları arasında iyi bir ıslanmanın olmaması kompozit malzemelerin çekme ve akma mukavemet değerlerinin takviyesiz alaşım numunelerine göre yaklaşık % 18 daha düşük olmasına neden olmuştur.

1. Yüzde uzama değeri 5,5 civarında olan takviyesiz alaşımın, hacimce %10 oranında SiC parçacık ilavesi ile kompozit çekme numunelerinin yüzde uzama değeri %2'ye düşmüştür.

2. SiC parçacık ilavesi ile numunelerin darbe dayanımları düşmüştür. En yüksek darbe dayanımı en yüksek basınçta dökülmüş olan A5 numunesine aittir. En düşük darbe dayanımı SiC takviyeli düşük basınçlı numunede elde edilmiştir.

3. Hacimce %10 SiC parçacık ilavesi kompozit numunelerin sertliğini yaklaşık 10 HBN arttırmıştır.

4. Enjeksiyon basıncının artmasıyla sertlik miktarında çok az artış görülmüştür. Enjeksiyon basıncının sertlik üzerinde fazla bir etkisi olmadığı sonucuna varılmıştır.

5. Kompozit malzemelerde gözeneklilik miktarının takviyesiz alaşımın gözenek miktarından daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Matris/takviye elemanı arayüzeyinde oluşan mikro gözeneklerin bu sonuca sebep olduğu sonucuna varılmıştır.

6. YBD tekniği ile en yüksek enjeksiyon basıncında üretilmiş numunelerde en düşük gözenek miktarı % 0,2 olarak elde edilmiştir.

7. Döküm işlemi sırasında yirmi beş baskı yapılmış olmasına rağmen, SiC parçacıkları sıvı metalin doldurulduğu piston silindir düzeneğini ve kalıp yüzeyini aşındırmıştır. Kalıpta ve pistonda meydana gelen bu aşınmalar alüminyumun yüzeylere sıvanmasına ve yapışmasına neden olmuştur. Bu çalışmada kullanılan YBD yönteminin, SiC parçacık takviyeli kompozit malzemenin seri üretimi için uygun olmayacağı sonucuna ulaşılmıştır.

Simge ve kısaltmalar

Pp: Enjeksiyon basıncı

Pe: Enjeksiyon makinesi basıncı

Ae: Hidrolik piston alanı

Ap: Enjeksiyon piston alanı

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Ji, S., Yan, F. and Fan, Z., "Development of a high strength Al-Mg₂Si-Mg-Zn based alloy for high pressure die casting", *Materials Science and Engineering: A*, 626, 165-74, 2015.
- [2] Long, A., Thornhill, D., Armstrong, C. and Watson, D., "Predicting die life from die temperature for high pressure die casting aluminium alloy", *Applied Thermal Engineering*, 44, 100-107, 2012.
- [3] Surappa, M.K., "Aluminium matrix composites: Challenges and opportunities", *Sadhana*, 28, 319-334, 2003.
- [4] Diler, E.A. ve İpek, R., "Partikül Takviyeli Kompozitlerde Faktör Etkileşimlerinin Mekanik Özellikler Üzerindeki Etkisi", *Mühendis ve Makine*, 55, 24-30, 2014.
- [5] Schwankl, M., Rübner, M., Flössel, M., Gebhardt, S., Michaelis, A., Singer, R.F., et al. "Active functionality of piezoceramic modules integrated in aluminum high pressure die castings", *Sensors and Actuators A: Physical*, 207, 84-90, 2014.
- [6] Li, X., Xiong, S.M., Guo, Z., "On the porosity induced by externally solidified crystals in high-pressure die-cast of AM60B alloy and its effect on crack initiation and propagation", *Materials Science and Engineering: A*, 633, 35-41, 2015.
- [7] Shi, J., Pries, H., Stammen, E., Dilger, K., "Chemical pretreatment and adhesive bonding properties of high-pressure die cast aluminum alloy: AlSi10MnMg", *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 61, 112-121, 2015.
- [8] Özkan, S., "Alüminyum Matrisli SiC Parçacık Takviyeli Kompozitlerin Mekanik Alaşımlama Yöntemiyle Üretimi ve Kuru Aşınma Davranışlarının İncelenmesi", *Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, 2007.
- [9] Ekici, R., "Alüminyum Esaslı SiC Partikül Takviyeli Metal Matrisli Kompozit Malzemelerin Darbe Davranışlarının İncelenmesi", *Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, 2004.

- [10] Turk Standartları Enstitüsü, "Metalik malzemeler-Çekme deneyi", 1996.
- [11] Kaynak, C., Boylu, S., "Effects of SiC particulates on the fatigue behaviour of an Al-alloy matrix composite", *Materials & Design*, 27, 776-782, 2006.
- [12] Shan, D. and Nayeb-Hasemi, H., "Fatigue-life prediction of SiC aluminum composite using a Weibull model", *NDT&E International*, 32, 265-274, 1999.
- [13] Lu, Y.X., Meng, X.M., Lee, C.S., Li, R.K.Y., Huang, C.G., Lai, J.K.L., "Microstructure and mechanical behaviour of a SiC particles reinforced Al-5Cu composite under dynamic loading", *Journal of Materials Processing Technology*, 94, 175-178, 1999.
- [14] Bekheet, N.E., Gadelrab, R.M., Salah, M.F., Abd El-Azim A.N., "The effects of aging on the hardness and fatigue behavior of 2024 Al alloy/SiC composites", *Materials & Design*, 23, 153-159, 2002.
- [15] Dong, S.L., Mao, J.F., Yang, D.Z., Cui, Y.X., Jiang, L.T., "Age-hardening behavior of a SiCw/Al-Li-Cu-Mg-Zr composite", *Materials Science and Engineering: A*, 327, 213-223, 2002.
- [16] ASTM, "Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials", American National Standard.
- [17] Ganesh, V.V., Chawla, N., "Effect of particle orientation anisotropy on the tensile behavior of metal matrix composites: experiments and microstructure-based simulation", *Materials Science and Engineering: A*, 391, 342-353, 2005.
- [18] Milan, M.T., Bowen, P., "Tensile and fracture toughness properties of SiCp reinforced Al alloys: Effects of particle size, particle volume fraction, and matrix strength", *J of Materi Eng and Perform*, 13, 775-783, 2004.
- [19] Chawla, N., Jones, J.W., Andres, C., Allison, J.E., "Effect of SiC volume fraction and particle size on the fatigue resistance of a 2080 Al/SiC p composite", *Metall and Mat Trans A*, 29, 2843-2854, 1998.
- [20] Narayanasamy, R., Ramesh, T., Prabhakar, M., "Effect of particle size of SiC in aluminium matrix on workability and strain hardening behaviour of P/M composite", *Materials Science and Engineering: A*, 504, 13-23, 2009.
- [21] Hall, J.N., Wayne Jones J., Sachdev, A.K., "Particle size, volume fraction and matrix strength effects on fatigue behavior and particle fracture in 2124 aluminum-SiCp composites", *Materials Science and Engineering: A*, 183, 69-80, 1994.
- [22] Song, M., "Effects of volume fraction of SiC particles on mechanical properties of SiC/Al composites", *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 19, 1400-1404, 2009.
- [23] Liu, Z.Y., Wang, Q.Z., Xiao, B.L., Ma, Z.Y., "Clustering model on the tensile strength of PM processed SiCp/Al composites" *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 41, 1686-1692, 2010.
- [24] Slipenyuk, A., Kuprin, V., Milman, Y., Spowart, J.E., Miracle, D.B., "The effect of matrix to reinforcement particle size ratio (PSR) on the microstructure and mechanical properties of a P/M processed AlCuMn/SiCp MMC", *Materials Science and Engineering: A*, 381, 165-170, 2004.
- [25] Özdin, K., "Alüminyum Esaslı SiC Takviyeli Kompozitlerin Üretimi Ve Aşınma Özelliklerinin Araştırılması", Doktora tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.