

METAL MATRİS KOMPOZİTLERİN VAKUM İNİLTRASYONLA DERECELİ HASSAS DÖKÜM KALIPLARINDA ÜRETİMİ

Alptekin KISASÖZ Metalurji ve Malzeme Mühendisi
Kerem Altuğ GÜLER Metalurji ve Malzeme Mühendisi
Ahmet KARAASLAN Metalurji ve Malzeme Mühendisi

Yıldız Teknik Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Bu çalışmada metal matrisli kompozitlerin üretimi ve karakterizasyonu araştırmalarının sonuçları karşılaştırmalı olarak derlenmiştir. Silisyum karbür (SiC), alümina (Al₂O₃) ve bor karbür (B₄C) seramik takviyeler ile A6063 ve A413 alüminyum alaşımları kullanılarak metal matrisli kompozitler üretilmiştir. Kompozitlerin üretimi dereceli hassas döküm yönteminden yararlanarak gerçekleştirilmiştir. Yöntemde, seramik tozlar yüksek oranda gözenekliliğe sahip olacak şekilde preform (ön şekil) olarak üretilmiş ve ön şekillere hassas döküm kalıbı içerisinde sıvı metal infiltre ettirilmiştir. Döküm sırasında geçirgen sıcak kalıba vakum uygulanması, işlemin başarılı şekilde gerçekleşmesini sağlamıştır. Çalışmalarda, özellikle SiC+B₄C melez (hibrit) takviyeli kompozitlerde yüksek sertlik elde edildiği tespit edilmiştir. Açık kalan yönleri ile konu gelecekte devam ettirilebilir durumdadır.

Anahtar Kelimeler: Metal matris kompozitler, hassas döküm, melez (hibrit) kompozitler

1. GİRİŞ

İstenen amaç için tek başlarına uygun olmayan farklı iki veya daha fazla malzemenin belirgin bir arayüzey oluşturarak, istenen özellikleri sağlayacak şekilde, belirli şartlar ve oranlarda fiziksel olarak, makro yapıda bir araya getirilmesiyle elde edilen malzemeye, kompozit malzeme denir [1].

Kompozit malzemelerde yapıyı oluşturan bileşenler birbiri içinde çözünmezler, kimyasal olarak inert davranırlar. Ancak özellikle metalik sistemlerde düşük oranlarda bile olsa, bir miktar çözünme, bileşenler arasında kompozit özelliklerini etkileyebilen ara yüzey reaksiyonları görülebilir.

Bir malzemenin modern kompozit olarak adlandırabilmesi için en az iki veya daha fazla fiziksel ve mekanik özelliği farklı olan malzemelerin birleştirilmesi, belirgin bir arayüzeye sahip olması ve elde edilen son malzemede tek bir bileşenle elde edilemeyen mekanik özelliklerin elde edilmesi gerekir.

Kompozit malzemelerin avantajları yüksek dayanım, yüksek rijitlik, iyi yorulma dayanımı, mükemmel aşınma direnci, iyi korozyon direnci, iyi termal ve elektriksel iletkenlik, düşük yoğunluk, yüksek dayanım/yoğunluk ve yüksek elastiklik modülü/yoğunluk değerleri (özgül değerler) olarak sıralanabilir. Dezavantajları ise üretimlerinin güçlüğü, pahalı olmaları, yüzey kalitesinin düşük olması, geri dönüşümlerinin olmaması, işleme zorluğu olarak sıralanabilir.

Metal matrisli kompozit üretiminde, çok çeşitli bileşimdeki alüminyum alaşımları matris malzemesi olarak geniş bir kullanım alanına sahiptir. Diğer metallere göre daha düşük bir ergime sıcaklığına sahip olması, diğer metallerin kompozitlerine göre daha çeşitlenebilir üretimi mümkün kılar [1-5].

Alüminyum matrisli kompozitlerde takviye elemanı olarak bulunan seramik yapılar sünek matrisin dayanımını ve sertliğini artırır. Örneğin, 6061 alüminyum alaşımına % 20 SiC parçacık takviyesi yapıldığında % 50 oranında dayanım, % 40 oranında sertlik artışı sağlanır. Ayrıca ısı ve elektrik iletkenliği, sürtünme dayanımı gibi özelliklerde de iyileşme gerçekleşir [7-10].

Metal matrisli kompozitlerin üretiminde toz metalürjisi, sıkıştırılmalı döküm, karıştırmalı (vorteks) döküm gibi yöntemler kullanılmaktadır. Bu çalışmada, alüminyum matrisli kompozitlerin vakum infiltrasyonla dereceli hassas döküm kalıplarında üretimi incelenmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Vakum infiltrasyon (emdirme) ile metal matrisli kompozit malzemelerin üretimi, emdirmenin yapılabilmesi için yeterli gözenekliliğe sahip seramik esaslı ön şekillerin (preform) üretimiyle başlar. Sonrasında dereceli hassas

döküm kalıbının yapılması ile devam eder ve döküm işlemi ile tamamlanır.

2.1. ÖN ŞEKİL ÜRETİMİ

Kompozitlerin takviye fazı olacak seramik tozlarının bir araya getirilerek gözenekli ön şekiller oluşturulmasında bağlayıcı olarak organik esaslı polivinil alkol (PVA) ve inorganik esaslı koloidal silika kullanılmıştır. Manyetik karıştırıcı ile elde edilen dökülebilir karışım silindirik silikon kalıplara doldurularak şekillendirilmiştir. Ön şekil üretim süreci şematik olarak Şekil 1'de görülmektedir.

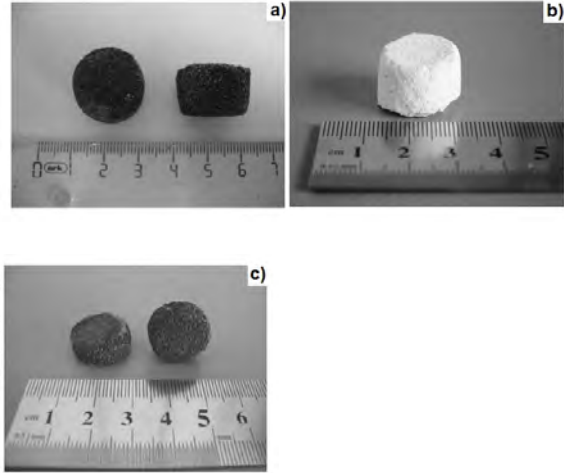


Şekil 1. Seramik esaslı ön şekillerin üretim süreci [11]

Deneysel çalışmalarda SiC, Al₂O₃ ve ağırlıkça % 85 SiC ve %15 (B₄C) içeren SiC+B₄C melez (hibrit) ön şekiller üretilmiştir. SiC, Al₂O₃ ve B₄C seramik tozlarının ortalama tane boyut sırasıyla 60 µm, 55 µm ve 55 µm'dur. Silikon kalıplarda ortalama olarak bir gün süreyle bekletilen tüm ön şekiller 110 °C'de 1 saat süreyle kurutulmuştur. Pişirme işleminin sıcaklık ve süreleri Tablo 1'de verilmiştir. Örnek ön şekil fotoğrafları da Şekil 2'de görülmektedir.

Ön şekil	Pişirme sıcaklığı (°C)	Pişirme süresi (saat)
SiC	1000	3
Al ₂ O ₃	1400	3
SiC + B ₄ C	750	2

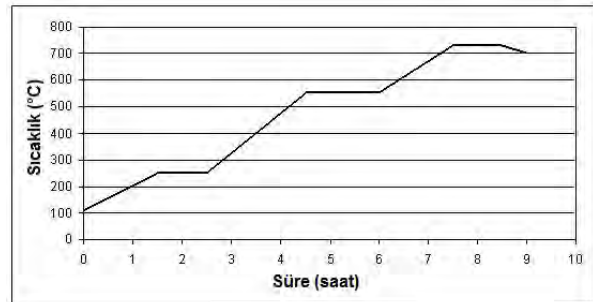
Tablo 1. Ön şekillerin pişirme süresi ve sıcaklıkları [11]



Şekil 2. Seramik ön şekiller a) SiC, b) Al₂O₃, c) SiC+B₄C melez [11]

2.2. KALIP YAPIMI

Ön şekillerin içerisine yerleşebileceği kalıp boşlukları oluşturabilmek için 21 mm çapında 50 mm yüksekliğinde silindirik mum modeller kullanılmıştır. Kalıp altına sabitlenen model çevresine 70 mm çapında 150 mm yüksekliğinde paslanmaz çelik delikli derece gerilmiştir. Delikler yapışkan bant ile kapatıldıktan sonra alçı bağlı ticari dereceli hassas döküm kalıp tozu 0,40 oranında su ile karıştırılmış, elde edilen çamur titreşim altında derecelere doldurulmuştur. Sertleşmeyi takiben ortalama 1 saat bekletilen kalıplar yapışkan bant çıkarıldıktan sonra fırına yerleştirilerek 90 °C'de mum alma işlemine tabi tutulmuş, arkasından ön şekiller kalıpların içerisine yerleştirilerek kademeli olarak pişirilmiş ve uygun döküm sıcaklığına getirilmiştir. Pişirme rejimi grafiği Şekil 3'te görülmektedir.



Şekil 3. Alçı bağlı dereceli hassas döküm kalıplarının pişirme rejimi [12]

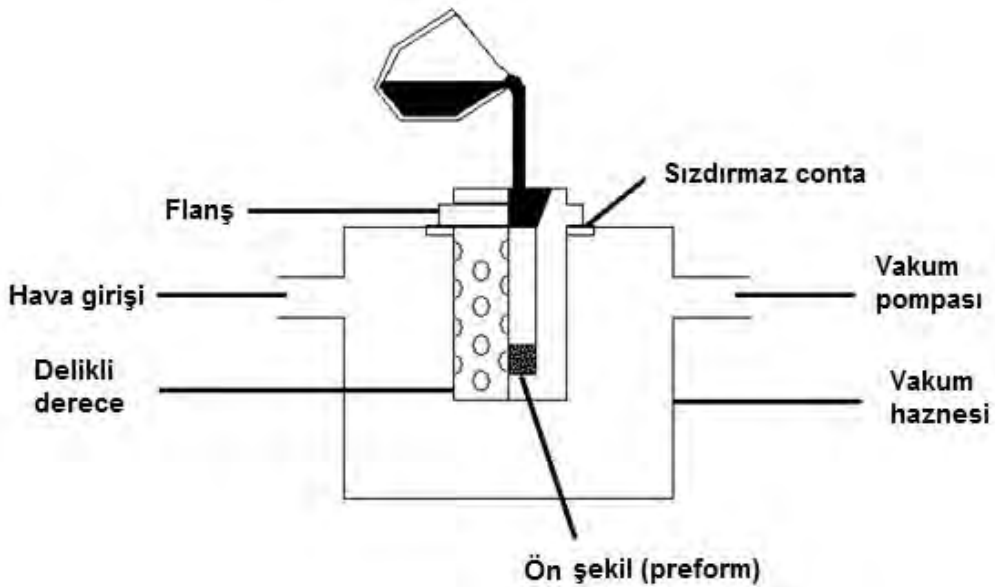
2.3. DÖKÜM

SiC ve SiC+B₄C melez ön şekillerin yerleştirildiği kalıplara A6063 alüminyum alaşımı, Al₂O₃ ön şekil bulunana ise A413 alaşımı dökülmüştür. Alaşımların kimyasal bileşimleri Tablo 2'de verilmiştir. A6063 yaygın kullanılan bir işlem alaşımıdır, A413'te yüksek silisyum oranına sahip çok bilinen bir döküm alaşımıdır.

Alaşım	Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Ni	Ti	Pb	Sn	Cr	Al
A413	0,6	11,5 - 13,5	0,1	0,4	0,1	0,1	0,1	0,15	0,1	0,05	-	Kalan
A6063	0,3	0,3-0,7	0,1	0,2	0,4-0,9	0,1	-	0,1	-	-	0,05	Kalan

Tablo 2. Matris olarak kullanılan alüminyum alaşımlarının kimyasal bileşimleri %ağ. [13, 14]

700 °C'ta fırından alınan sıcak kalıplar vakum döküm makinesine yerleştirilmiştir. A6063 ve A413 alaşımlarının döküm sıcaklıkları sırasıyla 830 °C ve 750 °C olarak belirlenmiştir. Ergitme işlemi kil/grafit veya SiC potalar kullanılarak elektrik dirençli bir fırında gerçekleştirilmiştir. Doldurmadan katılaşma tamamlanmaya kadar yaklaşık 15-20 dk kalıplara 10⁻⁵Pa (-1 bar) vakum desteği uygulanmıştır. Döküm makinesi ve işlemi şematik olarak Şekil 4'te görülmektedir.



Şekil 4. Döküm işleminin şematik görünümü [13]

Katılaşmanın ardından vakum işlemi sona erdirilmiş, makineden çıkarılan kalıplar suya daldırılarak bozulmuş ve döküm parçalar çıkartılmıştır.

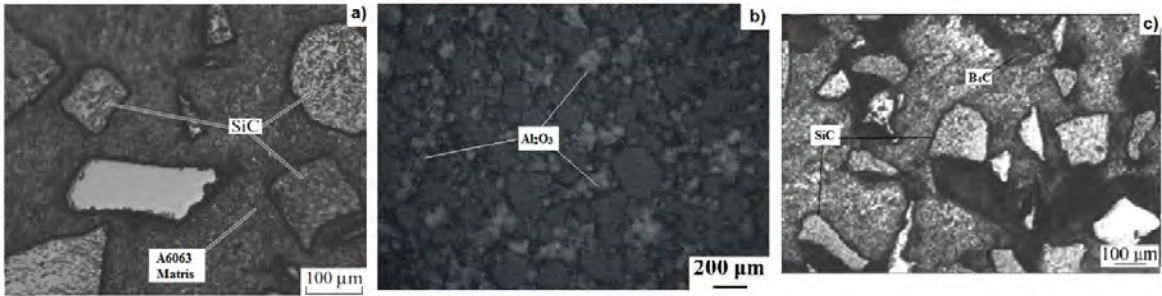
2.4. KARAKTERİZASYON

Ön şekillere döküm öncesi Arşimet yoğunluk testi uygulanarak yaklaşık boşluk oranları hesaplanmıştır. Döküm parçaların kompozit uç bölgelerinden testere ile kesilen numuneler metalografik incelemeler için zımparalama ve parlatma işlemlerine tabi tutulmuştur. Işık metal mikroskobu ve tarama elektron mikroskobu (SEM) ile incelenen numunelerde görüntü analizi yapılarak görünen ortalama seramik parçacık oranı hesaplanmıştır. Ayrıca 62,5 kg yük ve 2,5 mm biye çapı ile Brinell serlik testi uygulanmıştır.

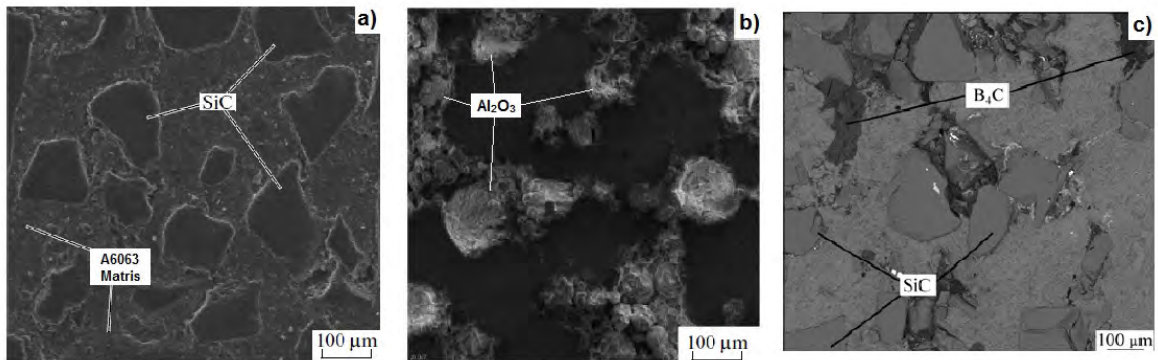
3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Araştırma çalışmalarında, alüminyum esaslı metal matris kompozitlerin üretiminde seramik ön şekillere metal infiltrasyonu için dereceli hassas döküm yöntemi tercih edilmiştir. Bunun iki önemli nedeni vardır; Birincisi seramik kalıpların belli bir geçirgenliğe sahip olması ve uygun donanım ile vakum desteğinin uygulanabilmesi, ikincisi ise işlemin doğası gereği sıcak kalıba döküm yapılmasıdır. Bilindiği gibi dereceli hassas döküm yöntemi endüstride kuyumculuk (taki) parçaları ve diş protezleri gibi son derece küçük parçaların dökümünde kullanılmaktadır. Küçük parçaların dökümle tam ve sağlam imali için yerçekimi kuvveti yeterli olmamakta, vakum desteği veya savurma (merkezkaç) gibi ilave doldurma basıncı sağlayan tekniklerden yararlanmak gerekmektedir. Bunun yanında metalin yürüyebilmesi için kalıpların da belli bir sıcaklığa ısıtılması gereklidir. Bu iki önemli unsur, dereceli hassas döküm yönteminin aynı zamanda başarılı bir kompozit üretme tekniği olmasına olanak sağlamaktadır. Vakum desteği ile sıvı metal ön şekil boşluklarına doğru çekilmekte, bu sırada kalıbın ve kalıp ile birlikte pişen ön şeklin sıcak olması alüminyum alaşımlarının uzun süre sıvı kalmasını sağlayarak infiltrasyona destek olmaktadır. Şekil 5'te numunelerin ışık metal mikroskobu ile alınan mikroyapı görüntüleri, Şekil 6'da da aynı numunelerin tarama elektron mikroskop (SEM) görüntüleri verilmiştir.

Mikroyapı görüntüleri vakum infiltrasyonun başarılı olduğunu ortaya koymaktadır. Sıvı metal ön şekillerdeki boşluk ağını takip ederek dışarıdan merkeze doğru ilerlemiştir. Numunelerden alınan bu görüntüler tek bir bölgeye ait değildir. Çeşitli bölgelerden alınan görüntüler arasından gelişigüzel seçilmiştir. Metal ilerlemesi sadece ön şekil dış bölgelerinde gerçekleşmemiş, aynı zamanda gözenek ağı da büyük oranda doldurulmuştur. Tablo 3'te verilen hesaplanan ön şekil boşluk oranları ile görünen seramik parçacık oranları bu durumu desteklemektedir.



Şekil 5. Işık metal mikroskobu mikroyapı görüntüleri a) A6063-SiC, b) A413-Al₂O₃, c) A6063-SiC+B₄C melez [12, 13, 15]



Şekil 6. Tarama elektron mikroskobu (SEM) mikroyapı görüntüleri a) A6063-SiC, b) A413-Al₂O₃, c) A6063-SiC+B₄C melez [12, 13, 15]

Tablodan da görüldüğü gibi, en yüksek doldurma oranı A6063-SiC kompozitinde gerçekleşmiştir. Ön şekillerdeki gözenek oranı, toz tane boyutu, bağlayıcı cinsi ve oranı, pişirme sıcaklığına ve süresine bağlıdır. Dökülen alaşımın cinsi, döküm sıcaklığı, kalıp sıcaklığı ve ön şeklin gözenek yapısı da metal infiltrasyonunu etkilemektedir. Konunun bu yönü araştırmaya açıktır, değişken parametreler ile ön şekil üretimi ve döküm uygulamaları ile ileri bir çalışma

gerçekleştirilebilir. Tablo 4'te Kompozit numunelerin Brinell sertlik değerleri matris sertlikleri ile kıyaslamalı olarak verilmiştir.

Numune	Ön şekil boşluk oranı (%)	Seramik takviye oranı (%)
A6063 - SiC	57,5	52
A413 - Al ₂ O ₃	56	33
A6063 - SiC+B ₄ C	46	37

Tablo 3. Ön şekil boşluk ve seramik takviye oranları [12, 13, 15]

A6063	A413	A6063 - SiC	A413 - Al ₂ O ₃	A6063 - SiC+B ₄ C
38,25	77,07	80,35	123,41	160,58

Tablo 4. Matris ve kompozitlerin Brinell sertlik değerleri (HB) [12, 13, 15]

Öngörüldüğü gibi seramik takviye, üretilen kompozitin sertliğini, matrise göre belirgin ölçüde arttırmıştır. Burada en çok dikkat çeken SiC+B₄C melez ön şeklin sağladığı yüksek sertlik artışıdır. SiC seramik takviyeye ağırlıkça sadece % 15'lik bir B₄C ilavesi, sertliğin yaklaşık iki kat artışına yol açmıştır. Melez (hibrit) kompozitlerin üretimi de konunun açık yönüdür, farklı oranlarda ikili, üçlü takviye karışımları ile ön şekiller yapılarak kompozit dökümleri gerçekleştirilebilir. Melez kompozitlerin gelecekte adından daha çok bahsettirecek bir malzeme grubu olacağına hiç şüphe yoktur.

4. KAYNAKLAR

- [1] K.K. Chawla, (1998), Composite Materials, Science and Engineering, USA.
- [2] S.L. Donaldson, (2001), ASM Handbook Composites Volume 21, ASM International.
- [3] Y. Şahin, (2006), Kompozit Malzemelere Giriş, Seçkin Yayıncılık San. Ticaret A.Ş., Ankara.
- [4] P. DeGarmo, J.T. Black, R.A. Kohser, (1999), Materials and Process in Manufacturing, John Wiley & Sons Inc, USA.
- [5] ASTM, (2002), Composite Materials Handbook Volume 4 Metal Matrix Composites, ASTM International, Washington.
- [6] A. Kelly, C. Zweben, (2000), Comprehensive Composite Materials Volume 3 Metal Matrix Composites, Pergamon Pres, United Kingdom.
- [7] M. Kok, Production and Mechanical Properties of Al₂O₃ Particle-Reinforced (2024) Aluminium Alloy Composites, Journal of Materials Processing Technology, (2005), 161 (3), pp 381-387.
- [8] G. Fu, L. Jiang, J. Lui, Y. Wang, Fabrication and Properties of Al Matrix Composites Strengthened by In-Situ Alumina Particulates, Journal of University of Science and Technology, Beijing, (2006), 13 (3), pp 263-266.
- [9] M. Thu, O. Beffort, S. Kleiner, U. Vogt, Aluminum Matrix composites Based on Pre-ceramic-Polymer-Bonded SiC Preforms, Composite Science and Technology, (2007), 67 (11-12), pp 2377-2383.
- [10] A. Onat, H. Akbulut, F. Yılmaz, Production and Characterisation of Silicon Carbide Particulate Reinforced Aluminium-Copper Alloy Matrix Composites by Direct Squeeze Casting Method, Journal of Alloys and Compounds, (2007), 436 (1-2), pp 375-382.
- [11] A. Kisasoz, K.A. Guler, A. Karaaslan, Fabrication and characterization of SiC preforms for metal matrix composites, MP Materials Testing-Materials and Components Technology and Application, (2011), 53 (1), pp. 634-637.
- [12] A. Kisasoz, K.A. Guler, A. Karaaslan, Infiltration of A6063 aluminium alloy into SiC-B₄C hybrid preforms using vacuum assisted block mould investment casting technique, Transactions of Nonferrous Metals Society of China, (2012), 22 (7), pp. 1563-1567.
- [13] K.A. Guler, A. Kisasoz, A. Karaaslan, The Fabrication and Characterization of Al/SiC MMC Castings Produced by Vacuum Assisted Solidmould Investment Casting Process, Russian Journal of Non-Ferrous Metals, (2013), 54 (4), pp. 320-324.
- [14] K.A. Guler, A. Kisasoz, A. Karaaslan, A novel method for Al/SiC composite fabrication: Lost foam casting, International Journal of Materials Research, (2011), 102 (3), pp. 304-308.
- [15] A. Kisasoz, K.A. Guler, A. Karaaslan, Production of Al₂O₃-Al composites using vacuum assisted block mold investment casting, 8th International PhD Foundry Conference, Brno, Czech Republic, (2011).