

Al₂O₃ PARTİKÜL TAKVİYELİ 2024 ALÜMİNYUM METAL MATRİKSLİ KOMPOZİTLERİN ÜRETİMİ

Metin KÖK

KSÜ Kahramanmaraş MYO, Makine Bölümü, Kahramanmaraş

ÖZET

Bu çalışmada, Vorteks metodu ve basınç ile üç farklı boyut ve hacim oranlarında α -Al₂O₃ partikülleri ile takviye edilmiş 2024Al esaslı Metal Matriksli Kompozitler (MMK) başarılı bir şekilde üretilmiştir. Yoğunluk ölçümleri, porozitenin çok düşük olduğunu; partikül oranının artması ve boyutunun düşmesi ile porozite oranının arttığını göstermiştir. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile yapılan mikroyapı incelemeleri, partikül boyutunun artmasıyla homojen bir dağılım sağlandığını göstermiş; düşük boyutlu partiküllerin, partikül toplanmasına ve porozite oluşumuna neden olduklarını ortaya çıkarmıştır.

FABRICATION OF 2024 ALUMINIUM ALLOY METAL MATRIX COMPOSITES REINFORCED WITH Al₂O₃ PARTICLES

ABSTRACT

In the present work, 2024Al alloy Metal Matrix Composites (MMCs) reinforced with three different sizes and volume ratios of α -Al₂O₃ particles have been successfully produced by using a vortex method and subsequently applied pressure. The density measurements showed that the samples contained little porosity, and the amount of porosity in the composites increased with increasing volume ratio and decreasing size of particles. Scanning Electron Microscopic (SEM) observations of the microstructures revealed that the dispersion of the coarser sizes of particles was more uniform while finer particles led to agglomeration of the particles and porosity.

GİRİŞ

Günümüzde hızla gelişen modern teknolojinin ihtiyaçlarını karşılayacak, konvansiyonel malzemelere oranla daha üstün özelliklere sahip yeni malzemelerin arayışı içinde MMK malzemeler yoğun ilgi görmektedir ve özel uygulama alanlarında kullanımları hızla artmaktadır (1). MMK'lerin konvansiyonel malzemelere olan üstünlükleri; sahip oldukları yüksek mukavemet, elastik modül, tokluk, mükemmel sürünme, yorulma ve aşınma mukavemetleri ve düşük termal genleşme özellikleridir (2,3). Metallerin süneklik ve tokluğu, seramiklerin yüksek mukavemet ve yüksek elastik modül özellikleri ile birleştirmeleri neticesinde son derece önemli mühendislik malzemeleri ortaya çıkmıştır (2).

Son yıllarda geliştirilen kaliteli ve ucuz partikül ve kısa fiberler sayesinde, MMK'ler ekonomik olarak üretilmeye başlanmıştır. Kullanımları başta otomobil

endüstrisi olmak üzere birçok endüstriyel alanda yaygınlık kazanmaktadır (1,4,5). Bu nedenle partikül takviyeli MMK malzemelerin üretimi ve özelliklerinin geliştirilmesi çalışmaları büyük önem arz etmektedir (6). MMK üretiminde Al ve alaşımları, kolay temin edilebilen SiC, Al₂O₃, SiO₂ ve Grafit gibi takviye malzemeleriyle kimyasal ve fiziksel olarak uygunluk gösterdiklerinden dolayı matriks olarak daha çok tercih edilmektedirler (7). Bu alaşımların tercih nedeni, düşük yoğunluk ve ergime sıcaklığına sahip olmaları ve birçok seramik takviye malzemesini kolay ıslatabilmelerinden dolayıdır (8).

MMK'ler arasında en çok çalışılan seramik partikül takviyeli kompozitlerdir. Bu tür kompozitler gerek kullanım alanının genişlemesi ve yüksek üretim potansiyeli ve gerekse üretim ekonomisi açısından tercih edilmektedir. Ancak üretimde karşılaşılan problemler nedeniyle, özellik ve yöntem geliştirme çalışmaları devam etmektedir (9). Partikül takviyeli MMK üretimi için çok değişik metotlar olmasına rağmen, bu metotlardan en kolay ve en ucuz olanı seramik partiküllerin ergimiş sıvı metal içerisinde karıştırılması şeklinde olan Vorteks (sıvı metalürji) metodudur. Bu metot MMK çalışmalarında yaygın olarak kullanılan metotlardan biridir (1). Vortex metoduyla iyi nitelikli MMK malzeme elde edebilmek için karıştırma hızı, karıştırıcı kabiliyeti, karıştırma sıcaklığı, takviye hızı gibi işlem parametrelerinin hassas olarak kontrol edilmesi gerekmektedir. Kontrolün sağlanamadığı sistemlerde, düşük partikül boyutu ve yüksek hacim oranlarında, özellikle partiküller etrafında porozite oluşmakta ve partikül yığılması görülmektedir. Öyle ki, porozite oranı %25-30'a kadar çıkabilmektedir (1,10). Bu metotta iki önemli problem görülmektedir: Birincisi, seramik partiküller genellikle sıvı metal tarafından ıslatılmamaktadır (11). İkincisi, partiküller sıvı metalin yoğunluğuna bağlı olarak sıvı metal içerisinde metalin yüzeyinde yüzme ya da dibe çökme eğilimi göstermektedirler (7). İslatmanın geliştirilmesi için: a) Katı yüzey enerjisinin arttırılması, b) Sıvı metal yüzey geriliminin azaltılması, c) Katı-sıvı arayüzey enerjisinin azaltılması gibi tedbirler alınmaktadır. Bu tedbirlerden; örneğin sıvı metalin sıcaklığının artırılması, partikül yüzeyinin kaplanması ya da partiküllerin ısıl işleme oksitlendirilmesi, matriks sıvı yüzey geriliminin azaltılması için bileşim ayarlaması gibi yöntemler uygulanmaktadır (9).

Bu çalışmada, 16µm, 32µm ve 66µm boyutlu Al₂O₃ (alüminyum oksit) partikülleri ile hacimce %7, 15 ve 23 oranlarında takviye edilen 2024 Al alaşım matriksli MMK'lerin Vorteks metodu ve basınç ile üretilmesi; elde edilen bu MMK'lerin yoğunluklarının, porozitelerinin belirlenmesi; kompozitlerin mikroyapılarının taramalı elektron mikroskop (SEM) fotoğraflarının çekilmesi amaçlanmıştır.

MATERYAL VE METOT

Matriks Alaşımı ve Takviye Malzemeleri

Matriks olarak yoğunluğu 2.8 gr/cm³ olan 2024 (ETIAL-24) alüminyum alaşımı kullanılmıştır. Bu alaşımın taramalı elektron mikroskopunda (SEM) yapılmış olan

elementsel (EDX) spektroskopik analiz sonuçlarına göre, ağırlıkça içerdiği elementler Tablo 1'de görülmektedir.

Tablo 1. 2024 Al Matriks Alaşımının Kimyasal Analizi (% Ağırlıkça)

Al	Cu	Mg	Si	Mn	Zn	Zr	Fe	Ti	Cr
94.33	3.23	0.81	0.74	0.54	0.13	0.09	0.06	0.05	0.02

Takviye elemanı olarak 66 µm, 32 µm ve 16 µm tane boyutlarında ve 3.95 gr/cm³ yoğunluğundaki beyaz renkli α-Al₂O₃ (α-alümina) parçacıkları kullanılmıştır. Alüminyum oksidin kimyasal bileşenleri Tablo 2'de verilmiştir. Alümina (alüminyum oksit) parçacıklar matriks içerisine hacimce % 7, % 15 ve % 23 oranlarında ilâve edilmiş ve kompozit malzemeler Sıvı Metal Karıştırma (Vortex) metoduyla birlikte basınç uygulanarak üretilmişlerdir.

Tablo 2. Takviye Malzemesi Alüminyum Oksidin Kimyasal Bileşenleri (%)

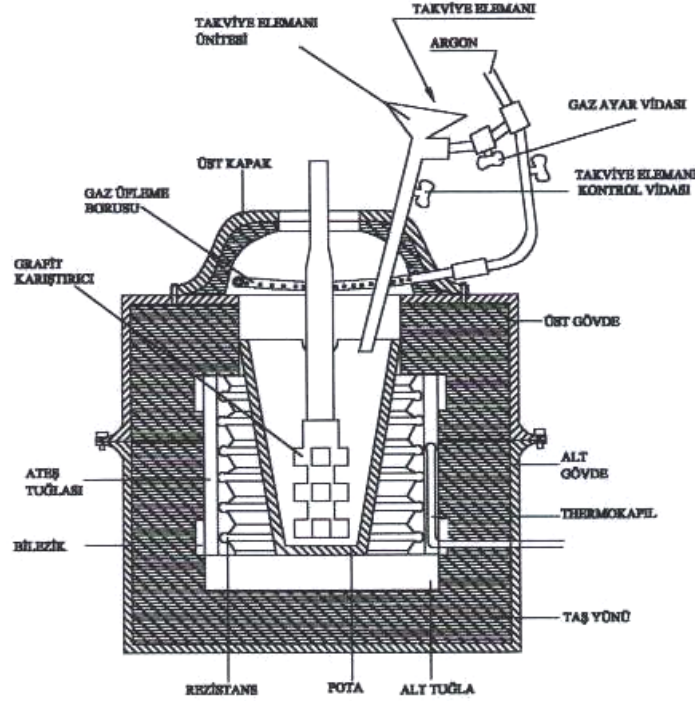
Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	Diğerleri
Min 93	max 0.8	min 1.8	max 1.1	max 0.2

Kompozit Malzemelerin Üretilmesi

Kompozitlerin üretiminde laboratuarda imal edilmiş olan 2kW gücünde, 1100°C sıcaklığa kadar çıkabilen, ergitme hızı ve argon gazlı koruyucu atmosfer kontrollü Şekil 1'de şematik olarak gösterilen devrilebilir elektrikli fırın ile takviye elemanı ünitesi kullanılmıştır. Ergitme işlemi grafit pota içerisinde gerçekleştirilirken, karıştırma işlemi için özel olarak laboratuarda yapılmış, dört kanada sahip ve bir çelik mil üzerine monte edilmiş olan 55 mm çaplı grafit karıştırıcı kullanılmıştır. Argon gazı iki kola ayrılarak birisi ergimiş metalin atmosferle temasını önlemek için pota üzerine verilirken, diğeri de takviye elemanının akış hızını kontrol etmek için takviye elemanı ünitesine bağlanmıştır.

Matriks alaşımı, elektrikli fırındaki (Şekil 1) üst çapı 102 mm ve alt çapı 70 mm olan grafit potada ergitildikten sonra sıcaklığı 700°C'ye çıkarılmıştır. Ergimiş metalin sıcaklığı ile fırının sıcaklığı arasında bir fark olduğundan, ergimiş metalin gerçek sıcaklığı kontrol ünitesindeki aynı termostata bağlı diğer bir termokapılın potaya daldırılmasıyla ölçülerek 700°C'ye ayarlanmıştır. Ön ısıtılmış ve 900 dev/dk hızla döndürülmüş 55 mm çaplı grafit karıştırıcı sıvıya daldırıldıktan sonra, nemini almak ve ıslanabilirliğini geliştirmek için diğer bir fırında 400°C'de 10 dk bekletilerek havada soğumaya bırakılmış olan alüminyum oksit parçacıkları oda sıcaklığında (25°C'de) 5 gr/dk hızla takviye elemanı ünitesindeki bakır boru vasıtasıyla kontrollü bir şekilde karıştırıcı ucun ergimiş metal içerisinde oluşturduğu girdabın (vorteks) ortasına vermeye başlanmıştır. Ergitme ve ilâvelerin tümü % 99.99 saflıktaki Argon gazı atmosferinde yapılmıştır. Argon gazının basıncı 0.5 MPa ve debisi 4 lt/dk olacak şekilde sabit tutulmuştur. Argon gazı sürekli fırının içerisine verilerek potanın yüzeyinde koruyucu bir atmosfer oluşturulduğundan, içeride oluşan gazların dışarıya atılması için

karıştırıcı ucun daldırıldığı fırının üzerindeki kapak sürekli olarak açık bırakılmıştır. Parçacık ilâvesi tamamlandıktan sonra, parçacıkların pota dibine çökmeden sıvı metal içerisinde homojen olarak dağılmasını sağlamak için karıştırma işlemine 5 dakika daha devam edilmiştir. Daha sonra karıştırıcı uç hızlı bir şekilde dışarıya çıkarılmış ve sıvı karışım, fırın devrilerek 550°C'ye ön ısıtılmış 40 mm çapında ve 200 mm uzunluğundaki silindirik dökme demir kokil kalıba dökülmüştür. Porozitenin en az seviyede tutulabilmesi için, hemen akabinde kalıp hidrolik pres altına götürülmüş ve sıvı karışıma yaklaşık 6 MPa'lık bir basınç uygulanmıştır. Kalıp 5 dakika sonra açılmış ve numuneler havada soğumaya terk edilmişlerdir. Bu şekilde 40x140mm ölçülerinde silindirik kompozit numuneler elde edilmiştir. Ayrıca üretilen kompozitlerin özelliklerinin, matriks alaşımın özellikleri ile kıyaslanabilmesi için takviyesiz matriks alaşım da aynı üretim şartları altında hazırlanmıştır.



Şekil 1. Ergitme ve Parçacık İlâvelerinin Yapıldığı Kompozit Üretim Ünitesinin Şematik Görünüşü.

Yoğunlukların ve Porozite Oranlarının Belirlenmesi

Üretilen kompozitlerin yoğunluk ölçümleri Arşimed prensibine göre,

ağırlıklarının ve su içinde hacimlerinin belirlenmesi ile yapılmıştır. Kompozit malzemelerle aynı şartlarda üretilen takviyesiz 2024Al alaşımının ölçülen yoğunluğu esas alınarak ve üretilen kompozitlerin içerdikleri Al₂O₃ parçacık hacim oranına bağlı olarak karışım kuralına göre, kompozitlerin hesaplanan teorik ve ölçülen deneysel yoğunluk farklarından içerdikleri porozite oranları

$$\% \text{ porozite} = \frac{\rho_{\text{teorik}} - \rho_{\text{deneysel}}}{\rho_{\text{teorik}}} \times 100$$

formülü ile hesaplanmıştır.

Mikroyapı İncelemelerine Ait Çalışmalar

Elde edilen kompozit malzemelerin mikroyapı incelemeleri için, malzemelerden alınan numuneler sırasıyla 120-400-600 mesh'lik zımpara kademelerinden sonra 6µm ve 1µm'lik elmas pasta ile parlatılmış; mikroyapı fotoğrafları LEO 440 taramalı elektron mikroskobunda (SEM) çekilmiştir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Kompozitlerin Üretimi İle İlgili Sonuçlar

Kompozitlerin üretimi için yapılan değişik denemeler sonucunda optimum sonuçlar; 700°C ergimiş metal sıcaklığı, 900 dev/dk karıştırma hızı, 550°C kalıp sıcaklığı, 5 gr/dk takviye elemanı ilâve hızı, 6 MPa basınç ve 5 dk takviye bittikten sonraki karıştırma süresi şartlarında elde edilmiştir. Daha önce yapılan bazı çalışmalarda da bu değerlere yakın optimum sonuçların elde edildiği belirtilmiştir (7,9,12,13,14).

Bu çalışma esnasında, daha yüksek ergimiş metal sıcaklığında Al₂O₃ parçacıkları dibe çökelmiş, daha düşük sıcaklıkta ise parçacıklar metalin içerisine girememiş ve metalin yüzeyinde topaklanmışlardır. Daha yüksek karıştırma hızlarında, Al₂O₃ parçacıkları karıştırıcının meydana getirdiği rüzgârla savrulmuş bir kısmı potanın dışına gitmiş ve bir kısmı da potanın yan yüzeylerine sıvanarak orada birikmiştir. Daha düşük karıştırma hızlarında ise; karıştırıcı uç, parçacıkları metalin içerisine itememiş ve parçacıklar metalin yüzeyinde topaklanarak birikip kalmıştır. Kalıp sıcaklığı daha düşük olduğunda, karışım kalıba dökülür dökülmez katılaşmış ve uygulanması gereken basınç uygulanamamış, dolayısıyla malzemedeki porozite miktarı artmıştır. Daha yüksek kalıp sıcaklığında ise, katılma hızı düşük olduğundan Al₂O₃ parçacıkları kalıbın alt tarafına doğru çökelmiş ve homojen bir dağılım sağlanamamıştır. Yine daha yüksek takviye elemanı hızlarında, parçacıkların bir kısmı metalin içerisine karışmayarak yüzeyde topaklanmış ve karışım homojen olmamıştır.

Yoğunluk Ölçüm ve Porozite Oran Sonuçları

Kompozitlerin hesaplanan teorik ve ölçülen deneysel yoğunlukları Tablo 3’de verilmiştir. Her bir kompozit için teorik ve deneysel yoğunluk farklarından hesaplanan, içerdikleri porozite oranları da yine bu tabloda gösterilmiştir. Ayrıca malzemelerin yoğunluklarının ve içerdikleri porozite miktarlarının Al_2O_3 partikül oranı ile değişimi sırasıyla Şekil 2 ve Şekil 3’te verilmiştir.

Şekil 2’de, malzemelerin teorik yoğunluk değerlerinin karışım kuralından bekleneceği gibi ideal bir şekilde doğrusal olarak arttığı görülmektedir. Ölçülen deneysel yoğunluklarda da doğrusal bir artış görülmesine rağmen, artış hızı teorik artışın hızından düşüktür. Burada görüldüğü gibi, takviye elemanı Al_2O_3 partiküllerinin boyutunun ve hacim oranının artmasıyla malzemelerin yoğunlukları da artmaktadır.

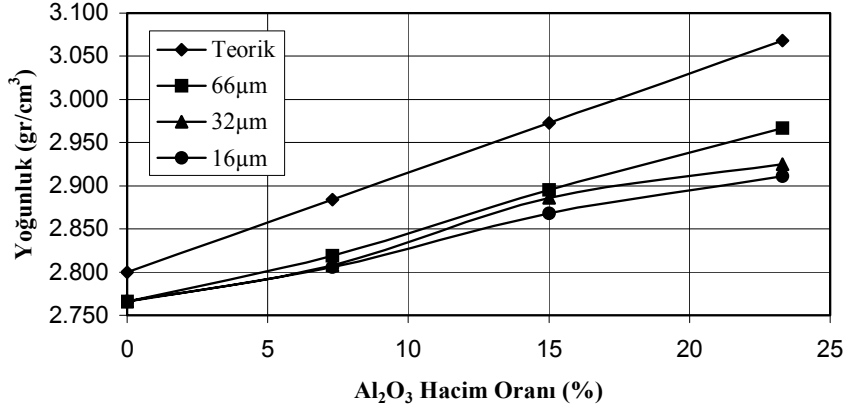
Şekil 3’te, Al_2O_3 parçacıklarının hacim oranının artması ve tane boyutunun azalmasıyla MMK malzemelerdeki porozite oranlarının arttığı görülmektedir. Bu sonuç daha önceki çalışmalarda da gözlenmiştir (1,14).

Partikül hacim oranının artışı ile MMK malzemelerin üretimleri esnasında partikül ilâve süresinin uzun olması ve partikül boyutunun düşmesi ile hava ile temas eden yüzey alanı arttığından dolayı porozitenin artması doğaldır ve bu durum birçok araştırmacı tarafından da ifade edilmektedir (10,14).

Buna rağmen, bu çalışmada dökümden sonra basınç uygulanması porozite oranlarını azaltmış ve üretilen MMK malzemelerin porozite oranları oldukça düşük olmuştur.

Tablo 3. Numunelerin Teorik ve Ölçülen Yoğunlukları ve Porozite Miktarları

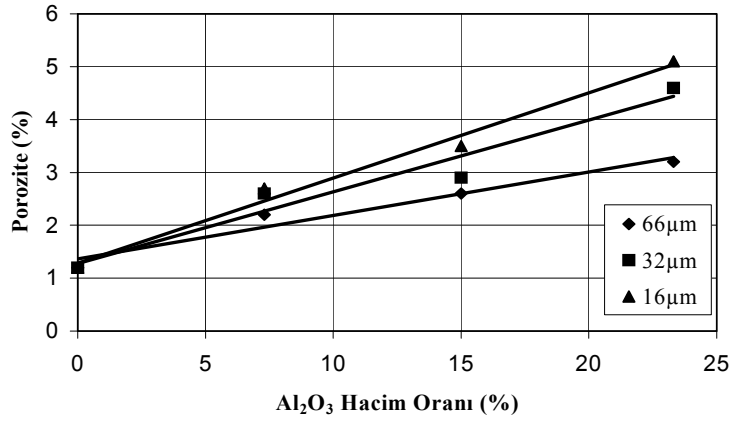
Malzeme	Al_2O_3 (%) (Hacimce)	Teorik Yoğunluk (gr/cm^3)	Deneysel Yoğunluk (gr/cm^3)	Porozite (%)
2024Al matriks	0	2.800	2.766	1.2
66 μm Al_2O_3 -2024Al	7	2.884	2.819	2.2
66 μm Al_2O_3 -2024Al	15	2.973	2.895	2.6
66 μm Al_2O_3 -2024Al	23	3.068	2.967	3.2
32 μm Al_2O_3 -2024Al	7	2.884	2.808	2.6
32 μm Al_2O_3 -2024Al	15	2.973	2.886	2.9
32 μm Al_2O_3 -2024Al	23	3.068	2.925	4.6
16 μm Al_2O_3 -2024Al	7	2.884	2.806	2.7
16 μm Al_2O_3 -2024Al	15	2.973	2.868	3.5
16 μm Al_2O_3 -2024Al	23	3.068	2.911	5.1



Şekil 2. Kompozitlerin Teorik ve Deneysel Yoğunluklarının Al₂O₃ Hacim Oranı ile Değişimi.

Mikroyapılar

Elde edilen kompozitlerden alınan numunelerin metalografik olarak hazırlanmasından sonra çekilen SEM mikroyapı fotoğrafları Şekil 4-9'da görülmektedir.



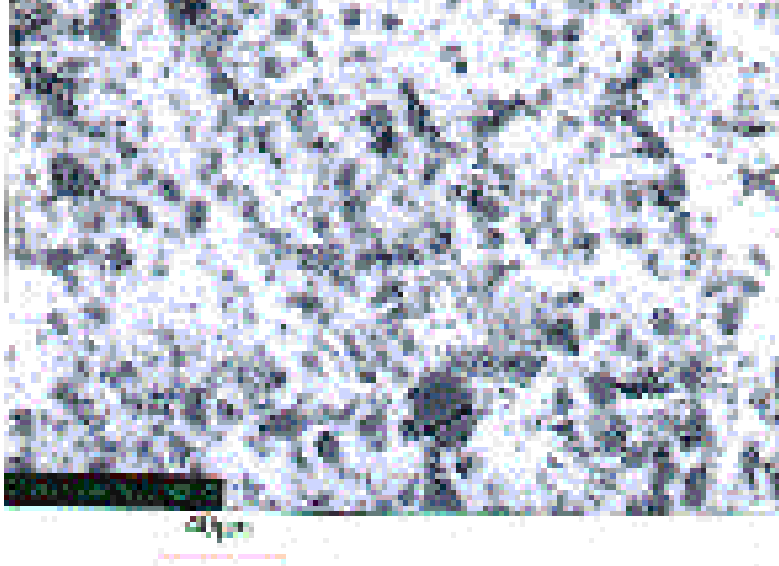
Şekil 3. Kompozitlerin İçerdikleri Porozite Miktarının Al₂O₃ Hacim Oranı ile Değişimi.

Bu fotoğraflar incelendiğinde, 66 µm boyutlu Al₂O₃ partiküllerinin homojen dağıldığı; 32 µm ve 16 µm partiküllerinin dağılımının ise homojen olmadığı ve bu partiküllerin bir araya toplandığı gözlenmektedir. En çok partikül toplanmasının ve porozitelerin 16 µm boyutlu Al₂O₃ takviyeli kompozitlerde olduğu bu fotoğraflardan

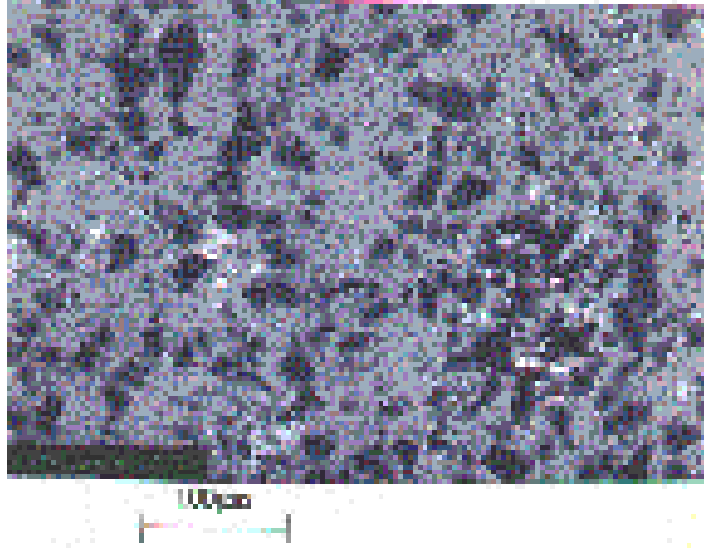
açıkça anlaşılmaktadır. Ayrıca Şekil 9'daki fotoğrafta partiküller arasındaki koyu siyah renkli bölgenin porozite olduğu çok net bir şekilde görülmektedir.

MMK'lerin üretiminde en önemli faktör, takviye elemanlarının homojen dağılımıdır. Pratikte vorteks metodu ile MMK üretiminde homojen bir partikül dağılımı elde etmek çok güçtür ve işlem parametrelerinin çok iyi kontrol edilmesi gerekir (10). Kompozitin katılaşması sırasında katı partiküller, büyüyen dendritlerden katı-sıvı ara yüzüne doğru itilirler. Ötektik altı Al-Si alaşımlarında ilk katılan dendritler takviye elemanı partiküllerini ötektiğe itip, bu bölgeleri takviyece zenginleştirirler. Bu olay düşük partikül boyutlu metal-seramik sistemlerinde daha da fazla olur ve partiküller dendritler arasına sıkışarak bir araya toplanmalar meydana getirirler (1,8). Bu durumun bu çalışmadaki 16 µm ve 32 µm boyutlu Al₂O₃ partikül takviyeli kompozitlerde de olduğu görülmüştür.

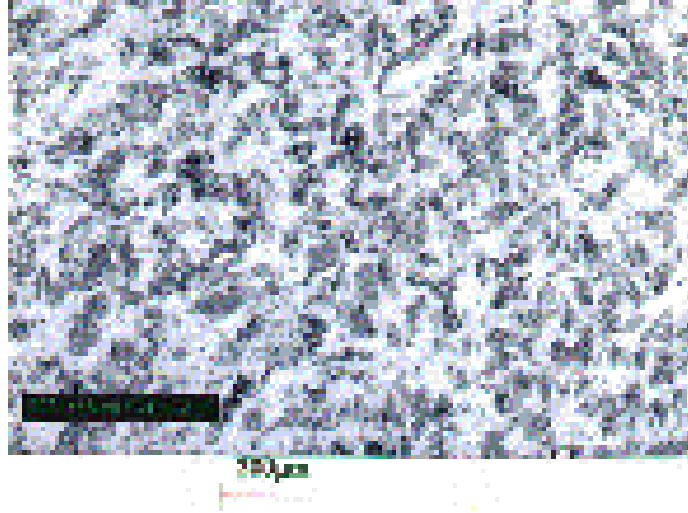
Sonuç olarak bu çalışmada elde edilen kompozitlerde, büyük boyutlu Al₂O₃ partiküllerinin homojen olarak dağıldığı, buna karşın küçük boyutlu Al₂O₃ partiküllerinin homojen dağılmadığı ve bu partiküllerle takviyeli kompozitlerde partikül yığılmasının olduğu gözlenmiştir (Şekil 4-9). Bu partikül yığılmasının nedeninin de, kompozitin katılaşması sırasında partiküllerin büyüyen dendritler tarafından katı-sıvı arayüzüne doğru itilmeleri ve partiküllerin dendritler arasına sıkışarak bir araya toplanmalarının olduğu sanılmaktadır. Ayrıca basınç uygulanmasına rağmen, küçük boyutlu Al₂O₃ takviyeli kompozitlerde büyük boyutlu Al₂O₃ takviyeli kompozitlere göre porozite oranı daha fazla olmuştur.



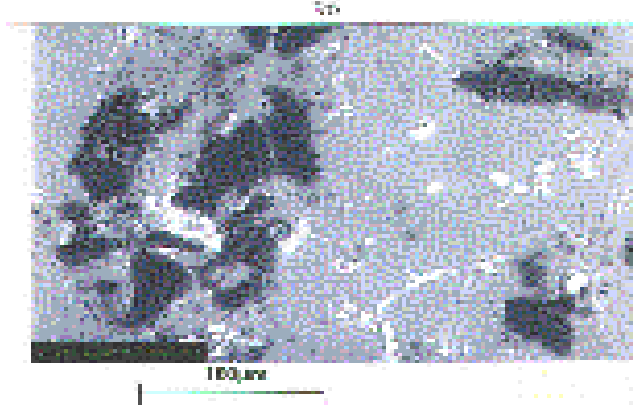
Şekil 4. Hacimce %23 16µm Al₂O₃ Takviyeli Kompozitlerin SEM Mikroyapı Fotoğrafi.



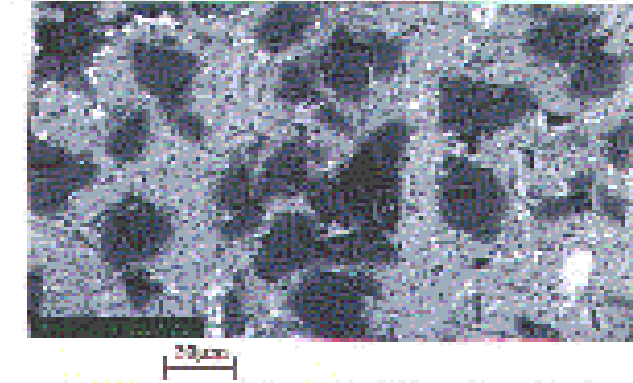
Şekil 5. Hacimce %23 32µm Al₂O₃ Takviyeli Kompozitlerin SEM Mikroyapı Fotoğrafi.



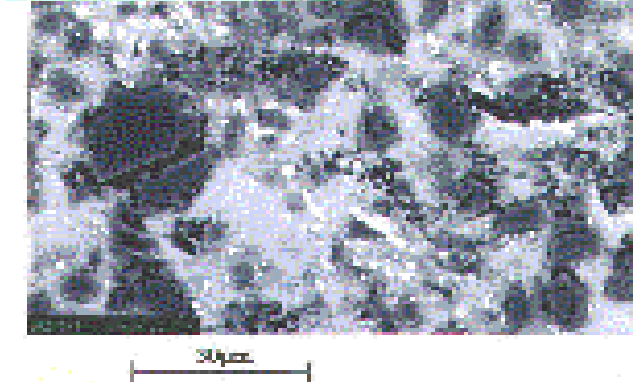
Şekil 6. Hacimce %23 66µm Al₂O₃ Takviyeli Kompozitlerin SEM Mikroyapı Fotoğrafi.



Şekil 7.
Hacimce %7 66µm
Al₂O₃ Takviyeli
Kompozitlerin SEM
Mikroyapı Fotoğrafi.



Şekil 8.
Hacimce %23 32µm
Al₂O₃ Takviyeli
Kompozitlerin SEM
Mikroyapı Fotoğrafi.



Şekil 9.
Hacimce %23 16µm
Al₂O₃ Takviyeli
Kompozitlerin SEM
Mikroyapı Fotoğrafi.

SONUÇLAR

Vorteks metodu ve basınç altında 2024Al alaşımına, hacimce %7, 15 ve 23 oranlarında 16 µm, 32 µm ve 66 µm boyutlu Al₂O₃ partiküllerinin takviye edilmesiyle MMK malzemelerin üretimi için yapılan bu çalışmada, aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

MMK malzemeler vorteks metodu ve basınçla başarılı bir şekilde üretilmiştir. Optimum sonuçlar; 700°C ergimiş metal sıcaklığı, 900 dev/dk karıştırma hızı, 550°C kalıp sıcaklığı, 5 gr/dk takviye elemanı ilâve hızı, 6 MPa basınç ve 5 dk takviye bittikten sonraki karıştırma süresi şartlarında elde edilmiştir.

Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile yapılan mikroyapı incelemeleri sonucunda, 66 µm boyutlu Al₂O₃ partiküllerinin matrikste homojen olarak dağıldığı gözlenirken, 16 µm ve 32 µm boyutlu Al₂O₃ partiküllerinin homojen olarak dağılmadığı; bu partiküllerin toplanmalarına ve porozite oluşumuna neden oldukları gözlenmiştir.

Kompozitlerin; partikül hacim oranının ve boyutunun artmasıyla yoğunlukları; partikül hacim oranının artması ve partikül boyutunun azalmasıyla porozite oranı artmıştır. Bu çalışmada üretilen MMK malzemelerde porozite oldukça düşük olmuştur. Dökümden sonra basınç uygulanması; porozite miktarının azalmasına, Al alaşımı ile Al₂O₃ partikülleri arasındaki bağ kuvvetinin ve ıslanabilirliğin iyileşmesine neden olmuştur.

KAYNAKLAR

1. AKBULUT, H., DURMAN, M., YILMAZ, F. 1993. SiC Seramik Partikül Takviyeli Alüminyum-Silisyum Metal Esaslı Kompozitlerin Üretimi ve Özelliklerinin İncelenmesi. 7. Uluslararası Metalürji ve Malzeme Kongresi, Ankara, 1183-1194.
2. İBRAHİM, İ.A., MOHAMMED, F.A., LAVERNIA, E.J. 1991. Particulate Reinforced Metal Matrix Composites a Review. J. Mater. Sci., 26, 1137-1156.
3. TAYA, M., ARSENAULT, R.J. 1989. Metal Matrix Composites, Thermomechanical Behavior. Pergamon Press, Oxford, United Kingdom, 209-221.
4. ROHATGI, P.K. 1991. Cast Aluminum Matrix Composites for Automotive Applications. Journal of Metals, 43, 4, 10-15.
5. ŞAHİN, Y., MURPHY, S. 1996. The Effect of Fibre Orientation of the Dry Sliding Wear of Borsic-Reinforced 2014 Aluminium Alloy. Journal of Materials Science, 34, 5399-5407.
6. SUKUMARAN, K., PILLAI, S.G.K., PILLAI, R.M., KELUKUTY, V.S., PAI, B.C., SATYARAYANA, K.G., RAVIKUMAR, K.K. 1995. The Effect of Magnesium Additions on the Structure and Properties of Al-7Si-10sic_p Composites. Journal of Materials Science, 30, 1469-1472.
7. HANUMANTH, G.S., IRONS, G.A. 1993. Particle Incorporation by Melt Stirring for the Production of Metal-Matrix Composites. Journal of Materials Science, 28, 2459-2465.

8. MORTENSEN, A., CORNIE, J.A., FLEMINGS, M.C. 1988. Solidification Processing of Metal-Matrix Composites. JOM, 40, 2, 12-19.
9. GÜL, F., İNEM, B. 1997. Döküm Yoluyla SiC Takviyeli Kompozitlerin Geliştirilmesi. Savunma Sanayindeki Teknolojik Gelişmeler Sempozyumu, 5-6 Haziran, Kara Harp Okulu, Ankara.
10. GHOST, P.K., RAY, S. 1988. Influence of Process Parameters on the Porosity Content in Al(Mg)-Alumina Cast Particulate Composite Produced by Vortex Method. AFS Trans., 775-782, 88-214.
11. LLOYD, D.J. 1994. Particle Reinforced Aluminum and Magnesium Matrix Composites. International Materials Reviews, 39, 1, 1-23.
12. MILLIERE, C., SUERY, M. 1988. Fabrication and Properties of Metal Matrix Composites Based on SiC Fibre Reinforced Aluminium Alloys. Materials Science and Technology, vol. 4, 41-51.
13. SEO, Y.H., KANG, C.G. 1995. The Effect of Applied Pressure on Particle-Dispersion Characteristics and Mechanical Properties in Melt-Stirring Squeeze-Cast SiC_p/Al Composites. Journal of Materials Processing Technology, 55, 370-379.
14. LUT, H., DURMAN, M., YILMAZ, F. 1995. 8.Uluslararası Metalürji ve Malzeme Kongresi, 6-9 Haziran, İstanbul, 1329-1334.