|  |
| --- |
| **Metal Matrisli Al2O3/Al-Mg Kompozitinin Yoğunluğunun Üretim Parametrelerine Bağlı Olarak Değişimi**  **Gül TOSUN[[1]](#footnote-1)\* , Mehmet KURT2**  1 Makine Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ  2 Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ  1\*[gultosun@firat.edu.tr](mailto:gultosun@firat.edu.tr), 2[mehmetkurt\_27@mynet.com](mailto:mehmetkurt_27@mynet.com) |
| **(Geliş/Received: 27/01/2018; Kabul/Accepted: 15/12/2018)** |

**Özet:** Metal matrisli kompozit malzemeler üstün mekanik özellikler ve düşük ağırlıklarından dolayı birçok alanda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu malzemelerden biri de alüminyum matrisli kompozitlerdir. Alüminyum matrisli kompozitlerin üretim yöntemlerden biri olan toz metalürjisi yöntemi, sürecin basitliği, düşük maliyeti ve yüksek mekanik özellikler elde edilmesi nedeni ile daha çok tercih edilmektedir. Bu çalışmada, farklı hacim oranlarında (%15-%30) mikro boyutta Al2O3 partiküllerin Al-Mg matrisine eklenerek, toz metalurjisi yöntemi ile üretilen Al-Mg/Al2O3 kompozitlerin yoğunluk ve mikro yapı karakterizasyonu araştırıldı. Hazır olarak temin edilen tozlar, homojen karışımının sağlanması amacıyla, torna tezgâhında 16 dev/dak hızında 24 saat süre ile karıştırıldı. Karıştırılan tozlar 300 ve 600 MPa basınç altında preslendi. Farklı basınçlardaki üretilen kompozit malzemeler 300, 400 ve 500oC sıcaklıklarda, 30, 60 ve 90 dak sinterleme işlemine tabi tutularak fırın içerisinde soğumaya bırakıldı. Numunelerin mikroyapı incelemeleri optik mikroskop, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve elektron dağılım spektroskobu (EDX) ile gerçekleştirildi. En yüksek yoğunluk, 300 MPa soğuk presleme basıncı, 500oC sinterleme sıcaklığı ve 30 dak. sinterleme süresinde üretilen hacimce % 15 Al2O3 içeren kompozitlerde, 0.93 olarak elde edildi.

**Anahtar kelimeler:** Metal matrisli kompozit, Al-Mg,Al2O3, yoğunluk.

# The Density Variation of Metal Matrix Al2O3 / Al-Mg Composite Depend on Production Parameters

**Abstract:** Due to its superior mechanical properties and low weight, metal matrix composite (MMC) materials are widely used in many industries. One of these materials is aluminum matrix composites. Powder metallurgy method being one of the manufacturing methods of aluminum matrix composites is preferred because of the simplicity of the process, low cost and high mechanical properties. In this study, the composite materials were investigated characterization of Al-Mg/Al2O3 composites which added micro-sized Al2O3 particles at different volume ratios (%15-%30) to Al-Mg matrix by using powder metallurgy method. Powders which are available as ready were mixed for 1 day at a speed of 16 rpm to form a homogeneous dispersion. The mixed powders were pressed under 300 and 600 MPa pressure. Composite materials produced at different pressures were subjected to sintering for 30, 60 and 90 min at temperatures of 300,400and 500oC and allowed to cool in the oven. The properties such as density, microstructure of Al-Mg/Al2O3 composites were investigated and characterized. Investigations of SEM, EDX, optic microscopy of specimens are made. Maximum porosity is measured as 0.93 at produced 300 MPa cold pressure, 500oC sintering temperature and 30 min. sintering temperature with % 15 Al2O3 composite.

**Key words:** Metal matrix composite, Al-Mg, Al2O3, density.

**1. Giriş**

Hızla gelişen teknoloji, beraberinde sanayinin temel girdisi olan malzeme ve malzeme biliminde de gelişmelerin hızlanmasını sağlamıştır [1]. Teknolojik olarak ileri endüstrilerde kullanılan malzemelerde yüksek mukavemet ve hafiflik istenen en önemli taleplerdir [2]. Bu amaçla, aynı ya da farklı guruplardan iki veya daha çok malzemenin özelliklerini bir araya getirerek, yeni bir özellik ortaya çıkarmak amacıyla kompozit malzemeler oluşturulmuştur [3]. Özellikle Alüminyum Metal Matrisli Kompozit (MMK) malzemeler; uzay ve uçak sanayisinde, otomotiv endüstrisinde (piston, motor parçaları, fan ve kompresörde), spor ve deniz malzemelerinde; hafiflik, rijitlik, ısı direnci, yüksek mukavemet ve aşınma direnci gibi birçok özelliklerinden dolayı geniş bir kullanım alanı bulmuştur [2,4-7]. MMK malzemelerin üretiminde yaygın olarak kullanılan teknikler toz metalürjisi, eriyik emdirme, basınçlı döküm, karıştırma döküm, bilyeli öğütme, mekanik alaşımlama ve yarı-katı karıştırmadır [8-10]. Bu yöntemlerden toz metalürjisi yöntemi, sürecin basitliği, düşük maliyeti ve yüksek mekanik özellikler elde edilmesi nedeni ile daha çok tercih edilmektedir [2].

Bajpai vd. [2] yaptıkları çalışmada, toz metalürjisi yöntemi ile alüminyum metal matrisini farklı ağırlıklara sahip nano SiC’ler ile takviyelendirerek kompozit malzeme üretmişlerdir. Al-Nano SiC kompozitlerinin gerilme mukavemeti, basma mukavemeti ve sertliği ağırlıkça % 2'ye kadar yükselmektedir ve daha sonra ağırlıkça % 3 oranında azalma meydana gelmektedir. Bunun nedeni, nano SiC parçacıklarının daha yüksek ağırlık yüzdesi ile kümelenmesidir (aglomerasyon). Rashad vd. [11] yaptıkları çalışmada, Mg-3Al-Zn alaşımının mekanik özelliklerine Al2O3 ve SiC parçacıklarının etkisini araştırmış ve Mg-3Al-Zn- matrisine (1.5Al2O3-xSiC) takviyeleri ilave edilerek toz metalürjisi yöntemi ile kompozitleri üretmişlerdir. Kompozitler, gerilme ve basma yüklemelerinde %0.2’lik bir akma mukavemeti göstermiştir. Bileşiklerin mikro sertliği (Vickers sertliği, Hv) takviye parçacıklarının içeriği arttıkça artmıştır. Isıl işlem görmüş numunelerde, güçlendirilmiş kırılma gerilmesi ve az miktarda artmış mikro sertlik, % 0.2 gerilme mukavemeti dayanımı elde edilmiştir. Reddy vd. [12] yaptıkları çalışmada, nano boyutlu SiC parçacıklarının alüminyum alaşımlı matrise eklenmesinin, nano kompozitlerin üstün mekanik ve fiziksel özelliklerini ve ara yüzey özelliklerini artırdığını gözlemlemişlerdir. Mikroyapısal değerlendirmede ise, nano SiC'nin metal matriste dağılımının düzgün bir şekilde dağılmasının yanı sıra ara yüzdeki parçacık ve matris arasında kuvvetli bir bağ oluşturduğunu göstermiştir. Rashad vd. [13] yaptıkları çalışmada, saf Mg elementine mikro boyutta titanyum ve alüminyum ekleyerek toz metalürjisi yöntemiyle kompozit malzeme üretmiştir. Takviyenin değişmesiyle mikroyapı, mekanik özelliklerdeki ve çalışma sertleşmesindeki değişimler incelenmiştir. Mg-10Ti-1Al kompozitinin yüksek kırılma uzaması göstermesinin Al alaşımlama elementinin varlığından dolayı Mg ve Ti partiküllerinin daha iyi uyum göstermesine bağlanılmıştır.

Salvador vd. [14] yaptıkları çalışmada ise toz metalürjisi yöntemini kullanarak alüminyum alaşımını Ti-Al ile takviyelendirerek kompozit malzeme üretmişlerdir. Üretilen kompozite 530oC’de 1, 6, 12, 24 saat yaşlandırma ısıl işlemi uygulanarak maksimum mukavemeti ve uzaması incelenmiştir. Yaşlandırma ısıl işlemi ile takviye tanelerinde irileşme olduğu gözlemlenmiştir. Maximum çekme mukavemeti takviye oranının artmasıyla yavaş bir şekilde artmıştır. Wang vd. [15] yaptıkları çalışmada, Al matrisli kompozite whisker ve partikül şeklindeki MgAl2O4 ile takviyelendirerek Al esaslı kompozit malzeme üretilmiştir. Takviye içeriği arttırıldıkça kompozitin sertliği, mukavemeti artmış, uzaması ise azalmıştır. Özer [16] yaptığı çalışmada ise Aluminyum matrise %5-10-15 oranında B4C partikülleri eklenerek kompozit malzeme üretimi yapılmış, üretilen numunelerin yoğunluk, sertlik, mikroyapı analizi, üç noktalı eğme testi ve kırık yüzeyleri incelenmiştir. %10 B4C takviyeli numunenin en yüksen basma mukavemetine sahip olduğu görülmüştür. Zhang vd. [17] yaptıkları saf Al içerisine %10 Mg ekleyerek toz metalürjisi yöntemiyle Al esaslı kompozit üretimi yapmışlardır. Mikroyapı incelemeleri ile beraber mekanik testleri yapılmış ve kırık yüzeyler incelenmiştir. Kırık yüzeylerde cleavage kırılma modelinin etkin olduğu görülmüştür. Guobin vd. [18] ise, cam partikül takviyeli Al-mg kompozitini 600oC’de 30 dakika sinterleme yaparak üretmişlerdir.

Bu çalışmada, farklı hacim oranlarında (%15-30) mikro boyutta Al2O3 partiküllerin Al-Mg matrisine eklenerek, toz metalürjisi yöntemi ile üretilen Al-Mg/Al2O3 kompozit üretildi. Al esaslı kompozite göre daha hafif bir kompozit elde edilmesi amacıyla, matris olarak Al’a Mg ilave edilerek, Al-Mg matris seçildi. Magnezyumun hafif, titreşimleri ve sesi sönümleme özelliğine sahip olması nedeniyle, üretilecek kompozitin de aynı özelliklere sahip olması beklenmektedir [19]. Yaptığımız çalışmada şimdiye kadar kullanılmamış farklı hacim oranlarında Al2O3 partiküllerle takviyelendirilmiş Al-Mg kompoziti, presleme basıncı, sinterleme sıcaklığı ve sinterleme süresi gibi literatürde kullanılmamış farklı üretim parametrelerinde toz metalürjisi ile üretilmiş olup, yoğunluk ve mikroyapı incelenmesi yapıldı.

**2. Materyal ve Metot**

Bu çalışmada, toz metalürjisi yöntemi ile farklı hacim oranlarına sahip Al2O3 partikül takviyeli Al-Mg metal matrisli kompozit üretildi. Toz metalürjisi yöntemiyle kompozit üretiminde matris malzemesi olarak 1 mikron boyutunda Al ve Mg tozları, takviye malzemesi olarak ise 1 mikron boyutunda hacimce %15 ve %30 oranlarında Al2O3 tozları kullanılmıştır. Tozlar hazır olarak Nanografi firmasından temin edilmiştir. Kompozit üretiminde kullanılan tozların özellikleri Tablo 1’de görülmektedir. Al-Mg matris, ağırlıkça % 92.5 Al ve %7.5 Mg’dan oluşmaktadır. Tozların homojen karışımının sağlanması amacıyla, torna tezgâhında 16 dev/dak hızında 24 saat süre ile karıştırıldı. Hazırlanan toz karışımları, tek eksenli olarak 300 ve 600 MPa basınç altında Hidroliksan marka hidrolik pres kullanılarak Φ12 mm çapında bir kalıpta preslendi. Preslenmiş numuneler 30, 60 ve 90 dak sürelerde, Protherm marka yüksek sıcaklıklara dayanıklı sinterleme fırını kullanılarak 300, 400 ve 500°C sıcaklıklarda sinterleme işlemine tabi tutuldu. Deney şartları faktöriyel tasarıma uygun olarak belirlenmiştir. Faktöriyel denemede deneysel planı oluştururken her faktör belirlenen seviyelerde alınır. Bu çalışmada, sinterleme sıcaklığı ve süresi 3, presleme basıncı ve takviye oranı 2 seviye olmak üzere 3x3x2x2=32 farklı deney kombinasyonunda deneyler yapılmıştır. Her bir deney 4 defa tekrar edilerek insan kaynaklı hatalar minimize edildi.

Tablo 1. Deneysel çalışmalarda kullanılan tozlara ait özellikler

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Özellik** | **Al** | **Mg** | **Al2O3** |
| Toz safiyeti (%) | 99.97 | 99.70 | 99 |
| Yoğunluk (g/cm3) | 2.71 | 1.7 | 3.95 |
| Erime sıcaklığı (oC) | 660 | 650 | 2072 |
| Sertlik (HV) | 20 | 28 | 880 |

Numunelerin ağırlıkları 0.001 gr hassasiyetli Radwag marka hassas terazi ile belirlendi. Numunelerin sinterleme sonrası ölçülen yoğunluklarının belirlenmesinde Arşimet prensibinden faydalanıldı. Numunelerin teorik yoğunlukları karışım kanununa göre belirlendi (Eşitlik 1).

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1) |

Burada, *dg* görünür yoğunluğu, *Wk* numunenin havadaki ağırlığı, *Wa* numunenin sudaki ağırlığı ve *p* ise saf suyun 25oC deki yoğunluğudur (0.998 gr/cm3).

Numunelerin relatif yoğunluk değerleri ise 2 no.lu eşitlik ile hesaplandı.

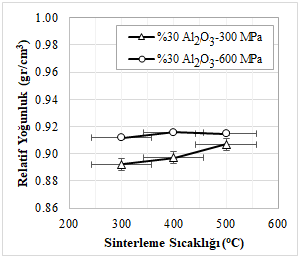
|  |  |
| --- | --- |
|  | (2) |

Burada, *dr* relatif yoğunluk, *dg* görünür yoğunluk ve *dt* ise teorik yoğunluktur. Sinterlenmiş numunelerin optik mikroskop ve SEM’de mikroyapı incelemelerinin yapılabilmesi için 600, 800, 1000 ve 1500 meşlik zımparalar ile zımparalandı. Daha sonra 3 µm’lik elmas solüsyon ile parlatılan numuneler Keller çözeltisi (2 ml HF – 3 ml HCl – 5 ml HNO3 - 190ml saf H2O) ile dağlandıktan sonra mikroyapı görüntüleri alındı. Mikroyapı incelemelerinde Nikon MA-100 markalı Optik mikroskop ve Zeiss marka taramalı elektron mikroskobu kullanıldı.

**3. Deney Sonuçları ve Tartışma**

Toz metalürjisi ile üretim yönteminin son aşaması olan sinterleme işlemi sonrası parça içerisinde oluşan boşluk ya da gözenek miktarı, malzemenin mekanik ve tüm işlevsel özelliklerine etkiler [15,20]. Her ne kadar bu oluşumlarda presleme basıncı ve malzemenin özellikleri etkinse de, sinterleme sonrası gözeneklilik miktarı çok önemlidir. Sinterleme sırasında parça boyutlarında değişiklik istenmez, boşlukların giderilmesi için sinterleme esnasında katı transfer işlemlerinin olması beklenir. Bunlar, hacim difüzyonu, tane sınırı difüzyonu, plastik akış ve sıvı akışı şeklindedir [21-23]. Farklı üretim parametreleri kullanılarak üretilen Al2O3/Al-Mg kompozitlerin yoğunluklarının sinterleme sıcaklığı ve sinterleme süresine bağlı olarak değişimi Şekil 1 ve Şekil 2’de görülmektedir.

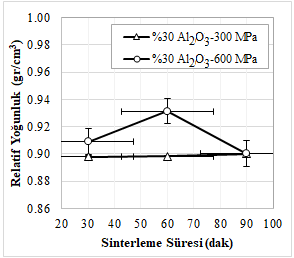
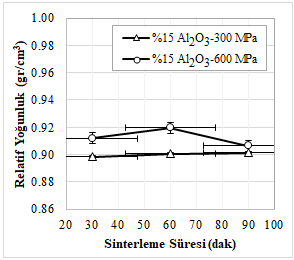
%15 Al2O3 içeren kompozitlerde tüm presleme basınçları için (Şekil 1), sinterleme sıcaklığının 300oC’den 400oC’ye artırıldığında, relatif yoğunluk %3.55 azalırken, 400oC’den 500oC’ye artırıldığı zaman ise yoğunluk 300 MPa presleme basıncında % 4.73 ve 600 MPa presleme basıncında ise %2 artmıştır. %30 Al2O3 içeren kompozitlerde ise sinterleme sıcaklığı arttıkça yoğunluğun arttığı Şekil 1’de görülmektedir. 300 MPa presleme basıncında sinterleme sıcaklığı 300oC’den 400oC’ye artırıldığı zaman yoğunluk %0.55, sinterleme sıcaklığı 400oC’den 500oC’ye artırıldığı zaman ise % 1 artmıştır. 600 MPa presleme basıncında ise, sinterleme sıcaklığı 300oC’den 400oC’ye artırıldığı zaman yoğunluk %0.45, sinterleme sıcaklığı 400oC’den 500oC’ye artırıldığı zaman da yoğunluk %0.11 arttı. Sinterleme sıcaklığının artması sinterleme olayı kolaylaştıracağı için daha yoğun numuneler elde edilir [24]. Tüm Al2O3 takviyeli kompozitlerde, 300 MPa soğuk presleme basıncı ile üretilen numunelerde sinterleme süresinin herhangi bir etkisi gözlenmez iken, 600 MPa presleme basıncında üretilen kompozitlerde sinterleme süresi 30 dak’dan 60 dak’ya artırıldığı zaman, yoğunluğun %2 arttığı ve sinterleme süresi 60 dak’dan 90 dak’ya artırıldığı zaman ise yoğunluğun %2 azaldığı tespit edilmiştir. Presleme basıncı düşük olduğu zaman (300 MPa) tozlar arası mesafe fazla olduğu için sinterleme süresinin uzamadığı, tozlar arası bağ oluşumuna herhangi bir olumlu katkı sağlamadığı sonucuna varılmıştır. Kompozitteki Al2O3 partiküllerin yüksek sertliğe sahip olması (880 HV) neticesinde sıkıştırılabilirliğin zayıf olmasına ve yoğunluktaki düşüşün ise toz yüzeylerinde oluşması muhtemel oksitlere dayandırılabilir [21]. Çünkü uzun alaşımlama işlemleri koruyucu gaz atmosferi altında yapılmış olsa dahi, toz yüzeylerinde oksitlenmeler oluşabilmekte ve bu oksitler kompozitlerde düşük yoğunluk, nispeten yüksek gözeneklilik oluşturmaktadır [22, 23]. 600 MPa basınçta üretilen numuneler için 60 dak sinterleme süresi Threshold (eşik) süredir. Bu süreye kadar sinterlemeye tabi tutulan numunelerin yoğunlukları artmış, bu sürenin üzerindeki herhangi bir sürede ise yoğunlukta düşme görülmüştür. Gözeneklilik değerindeki artış toz yüzeylerinde oluşması muhtemel oksitlerden kaynaklanmaktadır. Aynı durumdan Karabulut ve arkadaşları [24] yapmış oldukları çalışmadan bahsetmişlerdir.



1. b)

Şekil 1. Relatif yoğunluğun sinterleme sıcaklığı ve basıncı ile değişimi a) %15 Al2O3 b) %30 Al2O3

Al2O3/Al-Mg kompozitlerinde soğuk presleme basıncı arttıkça, kompozitin yoğunluğu artmaktadır (Şekil 2 ve Şekil 3). Presleme işlemi esnasında tozlara uygulanan basınç tozlar arasındaki mesafeyi belirler. Tozlar ne kadar yüksek basınç ile preslenirse o kadar sıkışır, birbirlerine temas eden noktaları artar ve birbirine yakınlaşır. Zamanla her temas eden noktadan bir boyun gelişir.

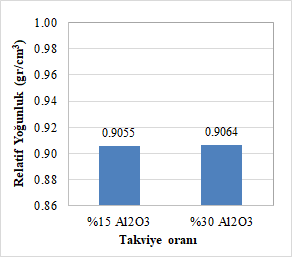


1. b)

Şekil 2. Relatif yoğunluğun sinterleme süresi ve basıncı ile değişimi a) %15 Al2O3 b) %30 Al2O3

Temas noktalarının artması sinterleme işlemi esnasında meydana gelecek boyunların da artmasına sebep olur. Böylece tozlar arasındaki boşluklar difüzyon yoluyla daha rahat doldurulur. Yani daha rahat sinterleme işlemi meydana gelerek, yüksek yoğunluğa sahip bir ürün elde edilir. Hacimce %15 Al2O3 içeren kompozitlerde maksimum yoğunluk 300 MPa soğuk presleme basıncı, 500oC sinterleme sıcaklığı ve 30 dak sinterleme süresinde üretilen numunede elde edilmiş olup 0.93’dir. Minimum yoğunluk ise 300 MPa basınç, 400oC sinterleme sıcaklığı ve 30 dak sinterleme süresinde üretilen numunede 0.86 olarak elde edilmiştir. Hacimce %30 Al2O3 içeren kompozitlerde ise; maksimum yoğunluk 600 MPa soğuk presleme basıncı, 500oC sinterleme sıcaklığı ve 60 dak sinterleme süresinde üretilen numunede 0.93 olarak elde edilmiş, minimum yoğunluk ise 300 MPa basınç, 300oC sinterleme sıcaklığı ve 90 dak sinterleme süresinde üretilen numunede 0.85 olarak elde edilmiştir.

Şekil 3 incelendiğinde, takviye oranı arttıkça kompozitin yoğunluğunun arttığı görülmektedir. Kompozit malzemenin mekanik özellikleri üzerinde, kompoziti oluşturan matris ve takviye malzemelerinin özellikleri, hacim oranları, matris takviye arasındaki bağın özellikleri, takviye malzemesinin şekli, yapısı ve kompozit içerisindeki yönlenmesi etkili olmaktadır.



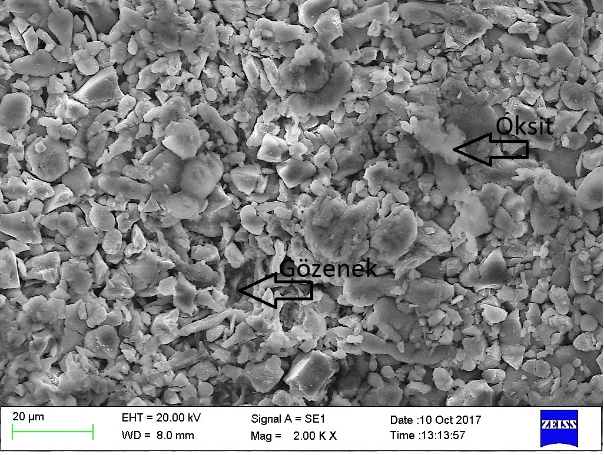
Şekil 3. Relatif yoğunluğun takviye oranı ile değişimi

Matris-takviye ara yüzeyinin yapısı ve özellikleri, homojenliği kompozit malzemenin mekanik ve fiziksel özelliklerini büyük ölçüde etkiler [25,26]. %15Al2O3 ile takviyelendirilmiş Al-Mg kompozitinin SEM görüntüleri Şekil 4’de görülmektedir. Şekil 4’te görüldüğü gibi, sinterleme sıcaklığı 300oC iken homojen bir dağılımın, sinterleme sıcaklığını 400oC’ye çıkarıldığı zaman ise takviyelerin belli bir bölgede toparlandığı ve matris ile takviyenin homojen bir şekilde karışmadığı görülmektedir [1,19]. Bu heterojen yapı yoğunluğun düşmesine ve gözenek miktarının artmasına neden olur. Sinterleme sıcaklığını daha fazla artırarak 500oC’ye çıkardığımız zaman da, heterojen yapının yerini homojen kompozit yapısına bıraktığı [27], fakat yüksek sinterleme sıcaklığının yapıda süngerimsi bir matris oluşumuna sebep olduğu tespit edilmiştir. Bu ise yoğunluk miktarında artışa ve gözenek miktarında düşüşe sebep olmuştur.

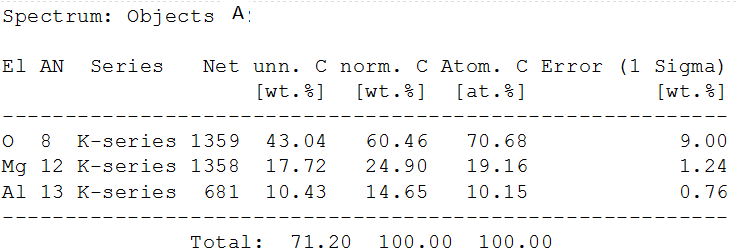
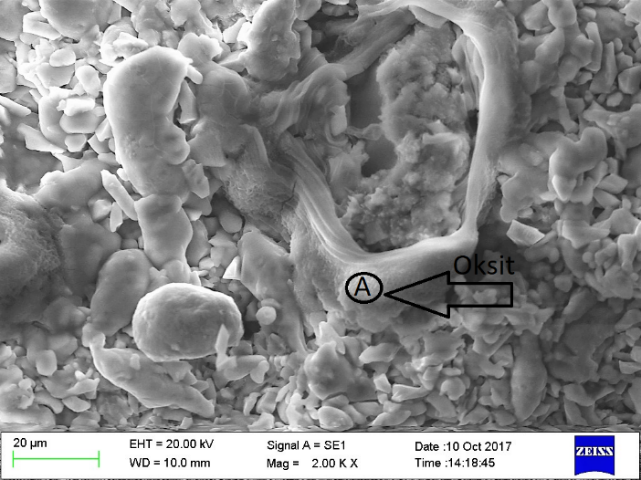
**D:\Lisansüstü\Mehmet Kurt\Mehmet KURT\SEM ve EDX\15al2o3-300-6-90d\1_0604.tifD:\Lisansüstü\Mehmet Kurt\Mehmet KURT\SEM ve EDX\15al2o3-400-6-90d\1_0686.tif**a) b)

Şekil 4. %15 Al2O3 takviyeli 90 dak sinterleme süresi 600 MPa presleme basıncı a) 300oC b) 400oC sinterleme sıcaklığında üretilmiş numunenin SEM görüntüsü

Alüminyum tozları yüzeyinde bulunan oksit tabakasının sinter için gereken koşulları belirlemek için göz önünde bulundurulması zorunludur. Bu oksit tabakasının üretim süreçlerinde sinterlemede ve nihai ürünün mekanik özellikleri üzerinde büyük etkilere sahip olduğu bilinmektedir. Sinterleme mekanizmasının etkin olmasında en önemli etken, preslenen ve sinterlenen tozların yüzeyinde oksit veya sinterlemeyi olumsuz etkileyen katmanların oluşmamasıdır. Toz yüzeylerinde oluşan oksit katmanları nedeniyle sinterleme verimsiz olmaktadır [28, 29]. Özellikle katı faz sinterlemede oksit tabakası sinter süresinin uzamasına sebep olur. Sinter süresinin az olması (30 dak) katı faz sinterlemede taneler arasında boyunların oluşmasını engeller (Şekil 5a) ve sinterleme tam olarak gerçekleşmez. Sinterleme süresinin artması ile boyun oluşumuna imkân verilir, fakat soygaz atmosferi altında yapılmamasından kaynaklı artan sıcaklıkla beraber oksit miktarında artma meydana gelir. 60 dak sinterleme süresinde üretilen kompozitlerde, homojen yapı meydana geldiği ve gözeneklerin boyutunun düştüğü gözlemlendi (Şekil 5b). Sürenin fazla (90 dak) olması durumunda ise, mevcut oksit filmleri kırılarak tanelerin büyümeye başladığı ve sadece tane sınırlarında oksit gözlemlendi (Şekil 5c,d). Tane üzerindeki oksit film tabakası sinterleme sonrası mikroyapıda tane sınırlarında birikip kalarak malzemelerin mekanik mukavemetinin düşmesine neden olmaktadır [20].

**D:\Lisansüstü\Mehmet Kurt\Mehmet KURT\SEM ve EDX\30al2o3-6-500-30d\1_0601.tif **

a) b)

****

c) d)

**Şekil 5**. %30 Al2O3 takviyeli 500oC sinterleme sıcaklığı 600 MPa presleme basıncında, a) 30 dak b) 60 dak ve c) 90 dak sinterleme süresinde üretilen numunenin SEM görüntüsü d) 90 dak sinterleme süresinde üretilen numunenin A bölgesinden alınan EDX analizi

**4. Sonuç**

Bu çalışmada, toz metalürjisi yöntemiyle Al-Mg alaşımına hacimce %15 ve %30 Al2O3 takviyeleri ilave edilerek kompozit malzemeler üretilmiştir. Üretilen kompozit malzemelerde takviye cinsi, takviye oranı, presleme basıncı, sinterleme sıcaklığı ve sinterleme süresinin yoğunluk ve mikroyapı üzerindeki etkileri araştırılmış ve deneysel çalışmalar neticesinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

* Kompozit içerisindeki takviye miktarı değiştikçe sinterleme sıcaklığının yoğunluk üzerindeki etkileri de değişmiştir. Takviye miktarının %15 seçilmesiyle sinterleme sıcaklığında bir eşik değerin oluşumu gözlenmiştir. Bu eşik değer ise 400oC’dir. Eşik değer altında sinterleme sıcaklığının artışı yoğunluğu azaltmış, eşik değerin üzerinde ise sinterleme sıcaklığının artışı yoğunluğu artırmıştır. Takviye miktarı %30 seçildiğinde ise sinterleme sıcaklığı arttıkça yoğunluk artmıştır. %30’luk takviye miktarında muhtemelen eşik değer mevcuttur, fakat deneysel olarak seçtiğimiz sinterleme sıcaklık aralığının bu eşik değeri belirlemek için uygun olmadığı düşünülmektedir.
* Sinterleme süresinin yoğunluğun üzerindeki etkisi ise sinterleme basıncına bağlı olarak değişkenlik göstermiştir. 300MPa basınçta üretilen numunelerde sinterleme süresinin etkisi net olarak gözlemlenemez iken 600MPa basınçta üretilen numunelerde optimum yada eşik sinterleme süresinin mevcut olduğu görülmüştür. Belirlenen eşik sinterleme süresinin ise 60 dak. olduğu görülmüştür. Sinterleme süresi 30 dak’tan 60 dak’ya artırıldığı zaman yoğunluk artmış daha yoğun numuneler elde edililrken sinterleme süresinin 60 dak’tan sonra muhtemelen meydana gelen oksitlenmelerin katkısıyla yoğunlukta düşmenin meydana geldiği görülmüştür.
* Tüm deneylerde, soğuk presleme basıncı arttıkça ile kompozitin yoğunluğu artmıştır.
* %15 Al2O3 içeren kompozitlerde maksimum yoğunluk 300 MPa soğuk presleme basıncı, 500oC sinterleme sıcaklığı ve 30 dak sinterleme üretilen numunede, 0.935 olarak elde edilmiştir.
* %30 Al2O3 içeren kompozitlerde ise; maksimum yoğunluk 600 MPa soğuk presleme basıncı, 500oC sinterleme sıcaklığı ve 60 dak sinterleme süresinde üretilen numunede, 0.934 olarak elde edilmiştir.

**Teşekkür**

Bu çalışma, Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (FÜBAP) tarafından desteklenen TEKF.16.09 nolu proje kapsamında tamamlanmıştır. FÜBAP’a sağladığı finansal katkıdan dolayı teşekkür ederiz.

# 

# Kaynaklar

1. Tosun G. 2124 AL/SiC Kompozitinin İşlenmesinde Matris Özelliklerinin İşleme Şartlarına Etkisinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, 98s. 2004.
2. Bajpai G, Purohit R, Rajpurohit RS, Saurabh S, Rana A. Investigation and Testing of Mechanical Properties of Al-Nano SiC Composites through Cold Isostatic Compaction Process. Mater Today: Proceess 2017; 4(2): 2723-2732.
3. Gatea S, Ou H, McCartney G. Deformation and fracture characteristics of Al6092/SiC/17.5p metal matrix composite sheets due to heat treatments. Mater Charact 2018;142: 365–376.
4. Rashad M, Pan F, Guoa W, Lin H, Asif M, Irfan M. Effect of alumina and silicon carbide hybrid reinforcements on tensile, compressive and microhardness behavior of Mg–3Al–1Zn alloy. Mater Charact 2015;106: 382–389.
5. Jin P, Xiao BL, Wang QZ, Ma ZY, Liu Y, Li S. Effect of solution temperature on aging behavior and properties of SiCp/Al–Cu–Mg composites. Mater Sci Eng 2011; A 528: 1504–1511.
6. Krasnowski M, Kulik T. Nanocrystalline or amorphous matrix Al60Fe15Ti15(Co/Mg/Zr)5e5%B composites produced by consolidation of mechanically alloyed powders e lightweight materials with high hardness. Intermetallics 2012; 28: 120-127.
7. Liu X, Zhang P, Xu Q, He S, Dou Z, Wang H. Aging behavior of Be/6061Al composite fabricated by hot isostatic pressing technique. J Alloys Compd 2018;764:460-466.
8. Ghanaraja S, Vinuth KL, Ravikumar K S, Madhusudan B M. Mechanical Properties of Al2O3 Reinforced Cast and Hot Extruded Al based Metal Matrix Composites. 5th International Conference of Materials Processing and Characterization (ICMPC 2016). Mater Today: Proceess 2017; 4: 2771–2776.
9. Xu R, Tan Z, Fan G, Ji G, Xiong D-B, Guo Q, Su Y, Lia Z, Zhang D. High-strength CNT/Al-Zn-Mg-Cu composites with improved ductility achieved by flake powder metallurgy via elemental alloying. Composites Part A 2018;111: 1-11.
10. Rashad [M,](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1044580315002399#!) Pan [F,](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1044580315002399#!)  Guo [W,](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1044580315002399#!) Lin [H ,](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1044580315002399#!) Asif [M,](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1044580315002399#!) Irfan [M](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1044580315002399#!) . Effect of alumina and silicon carbide hybrid reinforcements on tensile, compressive and microhardness behavior of Mg–3Al–1Zn alloy. Mater Charact [2015; 106](https://www.sciencedirect.com/science/journal/10445803/106/supp/C): 382-389.
11. [Reddy AP,](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785317305060#!)  [Krishna PV,](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785317305060#!)  [Rao RN,](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785317305060#!)  [Murthy NV.](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785317305060#!) Silicon Carbide Reinforced Aluminium Metal Matrix Nano Composites-A Review. Mater Today: Proceess 2017;4(2) A: 3959-3971.
12. Rashad M, Fusheng P, Asif M, She J. Ahsan Ullah. Improved mechanical proprieties of “magnesium based composites” with titaniumealuminum hybrids. J Magnesium Alloy 2015; 3: 1-9.
13. Salvador MD, Amigó V, Martinez N, Busquets DJ. Microstructure and mechanical behaviour of Al–Si–Mg alloys reinforced with Ti–Al intermetallics. J Mater Process Techn 2003;143–144: 605–611.
14. Wang F, Li J, Shi C, Zhao N, Liu E, He C, He F. Preparation and mechanical properties of in-situ synthesized nano-MgAl2O4 particles and MgxAl(1-x)B2 whiskers co-reinforced Al matrix composites. Mater Sci & Eng A 2018; 735: 236-242.
15. Sarıtaş S, Türker M, Durlu N. Toz Metalurjisi ve Parçacıklı Malzeme İşlemleri. Türk Toz Metalurjisi Derneği Yayınları. Ankara. Türkiye 2007; 574s.
16. Ozer A. The microstructures and mechanical properties of Al-15Si-2.5Cu-0.5Mg/(wt%)B4C composites produced through hot pressing technique and subjected to hot extrusion. Mater Chem Phys 2016; 183: 288-296.
17. Zhang W, Chai D, Ran G, Zhou J. Study on microstructure and tensile properties of in situ fiber reinforced aluminum matrix composites. Mater Sci Eng 2008; A 476: 157–161.
18. Guobin [L,](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924013604009665#!) Jibing [S,](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924013604009665#!)  Quanmei [G,](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924013604009665#!)  Yuhui [W.](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924013604009665#!) Interfacial reactions in glass/Al–Mg composite fabricated by powder metallurgy process. J Mater Process Techn 2005;161 (3): 445-448.
19. Chen J, Bao C, Chen W, Zhang L, Liu J. Mechanical Properties and Fracture Behavior of Mg-Al/AlN Composites with Different Particle Contents. J Mater Sci & Techn 2017; 33: 668–674.
20. Yao X, Zheng YF, Liang JM, Zhang DL. Microstructures and tensile mechanical properties of an ultrafine grained AA6063–5 vol % SiC metal matrix nano composite synthesized by powder metallurgy. Mater Sci&Eng 2015; A648: 225–234.
21. Ay H. Toz Metalurjisi Yöntemi İle Üretilen Aa7075 Alüminyum Alaşımına Ti Ve B4c İlavesinin Aşınma Davranışı Üzerine Etkisinin İncelenmesi. Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü 2014; 97s.
22. Chou T, Nieh T, McAdams S, Pharr G, Oliver W. Mechanical properties and microstructures of metal/ceramic microlaminates: Part II. A Mo/Al 2 O 3 system. J Mater Res 1992; 7(10): 2774-2784.
23. Arik H. Production and characterization of in situ Al 4 C 3 reinforced aluminum-based composite produced by mechanical alloying technique. Mater & Design 2004; 25(1): 31-40.
24. Karabulut H, Çıtak R, Çinici H. Mekanik Alaşımlama Süresinin Al+% 10 Al2O3 Kompozitlerde Eğme Dayanımına Etkisi. Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi 2013; 28(3):635-643.
25. Rahimian M, Parvin N, Ehsani N. The effect of production parameters on microstructure and wear resistance of powder metallurgy Al–Al2O3 composite. Mater & Design 2011; 32(2): 1031-1038.
26. Rodrigo P, Poza P, Utrilla V, Urena A. Effect of reinforcement geometry on precipitation kinetics of powder metallurgy AA2009/SiC composites J Alloys Compd 2009; 479: 451–456.
27. Nazik C. Alüminyum Matrisli B4C Parçacık Takviyeli Kompozitlerin Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretimi Ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi Selçuk Üniversitesi. 2013;108s.
28. Li XP, Liu CY, Maa MZ, Liu RP. Microstructures and mechanical properties of AA6061–SiC composites prepared through spark plasma sintering and hot Rolling. Mater Sci&Eng A2016; 650: 139–144.
29. Gökçe A. Yapısal uygulamalar için alüminyum esaslı malzemelerin toz metalurjisi kullanılarak geliştirilmesi. Yüksek lisans tezi Sakarya Üniversitesi 2007; 88.

1. \* Sorumlu yazar: [gultosun@firat.edu.tr](mailto:gultosun@firat.edu.tr) , Yazarların ORCID Numarası: 10000-0001-8828-827X, 20000-0001-5021-7601 [↑](#footnote-ref-1)