

# TOZ METALURJİSİ İLE ÜRETİLEN ALÜMİNYUM MATRİSLİ KOMPOZİTLERDE PROSES VE MALZEME DEĞİŞKENLERİNİN MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

**Mutlu Karaoğlu**

*Yüksek Lisans Öğrencisi,  
Ege Üniversitesi,  
Makine Mühendisliği Bölümü,  
İzmir  
mutlukarasoglu@gmail.com*

**Serdar Karaoğlu \***

*Yrd.Doç.Dr.,  
Ege Üniversitesi,  
Makine Mühendisliği Bölümü,  
İzmir  
serdar.karaoğlu@gmail.com*

## ÖZET

Al/SiC<sub>p</sub> kompozit malzemelerin toz metalurjisi ile üretilmesinde; yağlayıcı olarak kullanılan çinko stearat katkısının, sinterleme yardımcısı olarak katılan Mg katkısının ve sinterleme atmosferi olarak azot ortamının malzemenin yoğunluğuna, içyapısına, sertliğine ve basma dayanımlarına etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Yağlayıcı katkısının ham ve sinter yoğunlukları düşürdüğü, buna bağlı olarak da sertlik ve mukavemetin düştüğü görülmüştür. Sinterleme atmosferi olarak hava yerine azot kullanılmasıyla yoğunluk, sertlik ve mukavemet artmaktadır. %1 oranında Mg katıldığında elde edilen yüksek yoğunluk, Mg oranının %3'e çıkarılmasıyla azalmakta, buna rağmen Mg miktarının artışıyla sertlik ve mukavemet artmaya devam etmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Toz metalurjisi, alüminyum, mikroyapı, mekanik özellikler

# INVESTIGATIONS OF THE EFFECTS OF PROCESS AND MATERIAL FACTORS ON MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES IN ALUMINUM MATRIX COMPOSITES, PRODUCED BY POWDER METALLURGY

## ABSTRACT

Al/ SiC<sub>p</sub> composite materials produced by powder metallurgy and influences of lubricant addition zinc stearate, sintering agent magnesium and sintering environment nitrogen were empirically investigated on densification, microstructure, hardness and strength. Lubricant addition reduced green and sintered densities, therefore hardness and strength of the materials were affected detrimentally. Using nitrogen as sintering atmosphere instead of air; density, hardness and strength were increased. High density values were obtained for 1 % magnesium content, decreased with increment of magnesium up to 3%, nevertheless hardness and strength values increased.

**Keywords:** Powder metallurgy, aluminum, microstructure, mechanical properties

\* İletişim yazarı

Geliş tarihi : 22.01.2014

Kabul tarihi : 14.02.2014

Karaoğlu, M., Karaoğlu, S. 2014. "Toz Metalurjisi ile Üretilen Alüminyum Matrisli Kompozitlerde Proses ve Malzeme Değişkenlerinin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkilerinin İncelenmesi," Mühendis ve Makina, cilt 55, sayı 649, s. 17-23.

## 1. GİRİŞ

Metal matrisli kompozitlerin (MMK); elastiklik modüllerinin, dayanımlarının, aşınma dirençlerinin, ısıl dayanımlarının ve yorulma dayanımlarının yüksek olması, son yıllarda bu malzemelere olan ilgiyi ve MMK'ler üzerine yapılan araştırmaları arttırmıştır [1]. Son şekle yakın üretime imkân sağlaması, malzeme sarfiyatının düşük olması, otomasyona uygunluğu gibi avantajları toz metalurjisi (T/M) yöntemini MMK üretiminde öne çıkarmaktadır [2]. Uzun süredir Al alaşımları hem araştırmalarda hem de endüstride en çok kullanılan matris malzemesi olmaktadır. Alüminyumun düşük yoğunluğu ve diğer düşük yoğunluklu metallere göre düşük maliyeti bu durumu oluşturmuştur [3].

T/M ile son şekil veya son şekle yakın alüminyum parçaların üretiminde boyut kontrolü açısından bazı problemler mevcuttur. Bu durumun kilit noktası sinterleme sırasında alüminyum parçaların değişken fırın koşulları nedeniyle değişken büzülme davranışı göstermesidir. [4].

Alüminyumun yüzeyindeki oksit tabakası hem presleme esnasında toz akışını engellemekte hem de sinterlemeyi kötü etkilemektedir [5]. Bu tabaka metal-metal temasını engelleyerek komşu partiküllerin difüzyonuna bir bariyer teşkil etmektedir [6]. Bu sebeple araştırmalar oksit tabakasının bu kötü etkisini azaltmaya veya ortadan kaldırmaya yönelmiştir. Oksit tabakasını minimize etmek için en çok bilinen metotlardan birisi yüksek basınçlarda sıkıştırma. Yüksek basınçta oksit tabakaları kırılarak Al tozlarının soğuk kaynak olması sağlanmaktadır. Bir diğer metot Mg, Zn, Si gibi oksit tabakalarını parçalayıcı katkıların eklenmesidir. Üçüncü bir metot ise katkılar eklenerek sıvı faz sinterleme oluşturmaktır [5].

Sinterleme işlemi genellikle atmosfer koruması altında yapılır. Atmosferin rolü, uçucu reaksiyon ürünlerini fırın ortamında uzaklaştırmak, istenmeyen reaksiyonları engellemek veya azaltmak, oluşması istenen reaksiyonlar için de uygun ortam oluşturmaktır [7].

Parçaların toz metalurjisiyle üretilmesinde kalıp ile metal tozları arasında oluşan sürtünmeyi azaltmak için yağlayıcıların kullanılması gerekir. Uygulamalarda toz karışımına katı yağlayıcılar eklenir [8].

Bu çalışmada; Mg katkısının, sinterleme atmosferinin ve yağlayıcı kullanımının toz metalurjisi (T/M) ile üretilen Al/SiC MMK'lerde sıkıştırılabilirliğe, sinterlenebilirliğe ve dayanıma olan etkileri araştırılmıştır.

## 2. MATERYAL VE METOT

SiC takviyeli Al matrisli kompozit malzemelerin T/M ile üretiminde Mg katkısının, yağlayıcı katkısının ve farklı sin-

terleme atmosfer koşullarının etkilerinin incelendiği bu çalışmada; takviye oranı, partikül boyutu, karıştırma süresi, sıkıştırma basıncı, sinterleme süre ve sıcaklığı parametreleri sabit tutulmuştur. Ağırlıkça % 0, %1, %3 oranında magnezyum, ağırlıkça %0, %1 oranında yağlayıcı çinko stearat ve sinterleme atmosferi olarak hava ve azot kullanılmıştır (Tablo 1).

### 2.1 Malzeme

Toz Metalurjisi (T/M) ile Metal Matrisli Kompozit (MMK) numune üretimi aşağıdaki sıra ile gerçekleştirilmiştir:

Karıştırma: T/M ile numune üretiminin ilk aşamasında; matris malzemesi olan saf alüminyum tozu ve takviye malzemesi olan SiC tozu, deney tasarımına göre belirli oranlarda magnezyum tozu ve çinko stearat (yağlayıcı) katkıları ile karıştırılmıştır.

Sıkıştırma: Karıştırma işleminin ardından sıkıştırma aşamasına geçmeden önce kalıp aşınmasını önlemek ve numunelerin kalıptan kolay çıkışını sağlamak için, kalıbın içi ve zımbalar, etil alkol ve çinko stearat karışımı ile püskürtme yoluyla yağlanmıştır. Sıkıştırma kalıbı 10 mm çapında silindirik bir boşluğa sahiptir. Tablo 1'de bileşenleri ve işlem değişkenleri verilen tozların çeşitli kombinasyonlardaki 3'er gramlık karışımları kalıba yerleştirilmiştir. Sıkıştırma işlemi için 80 ton kapasiteli tek eksenli hidrolik pres kullanılmıştır. Bütün toz karışımları 600 MPa basınçta sıkıştırılmıştır. Bütün kombinasyonlardan 3'er adet numune üretilmiştir.

Sinterleme: Presleme sonrası numuneler sinterleme işlemine tabi tutulmuştur. Bütün numuneler fırında 20°C/dk hızla 600°C'ye ısıtılmış ve bu sıcaklıkta 1 saat sinterlenmiştir. 1 saat sonunda numuneler oda sıcaklığına gelene kadar fırında bekletilmiştir. Azot atmosferinde yapılan sinterleme işlemleri 3 litre/dk debide N<sub>2</sub> gazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Tablo 1. Deneyde Kullanılan Malzeme ve İşlem Değişkenleri

Alüminyum (matris) - Ort.tane boyutu	90 µm
SiC (takviye) - Ort.tane boyutu	90 µm
Magnezyum - Ort.tane boyutu	45 µm
SiC oranı (Ağ.)	% 10
Magnezyum oranı (Ağ.)	% 0, % 1, % 3
Yağlayıcı (çinko stearat) oranı (Ağ.)	% 0, % 1
Presleme basıncı	600 MPa
Sinterleme atmosferi	Hava, Azot
Sinterleme sıcaklığı & süresi	600 °C, 1 h

### 2.2 Yoğunluk ve Gözenek Hesaplama

Sinterleme öncesi ve sonrası numunelerin ağırlıkları ve boyutları ölçülerek ham ve sinter yoğunlukları hesaplanmıştır.

Sinterleme sonrası, hesaplanan teorik yoğunluğa göre gözenek miktarları ve hacimsel değişim oranları belirlenmiştir. Teorik yoğunluk ve gözenek hesaplarında aşağıdaki formülasyonlar kullanılmıştır:

$$\text{Teorik yoğunluk} = (\text{Al} \times \rho_{\text{Al}}) + (\text{SiC} \times \rho_{\text{SiC}}) + (\text{Mg} \times \rho_{\text{Mg}}) + (\text{Yağ.} \times \rho_{\text{çinkostearat}}) \quad (1)$$

Al, SiC, Mg, Yağ.: Bileşenlerin ağırlıkça oranları

$$\rho_{\text{Al}} : 2,71 \text{ (g/cm}^3\text{)}, \rho_{\text{SiC}}:3,21 \text{ (g/cm}^3\text{)},$$

$$\rho_{\text{Mg}} : 1,738 \text{ (g/cm}^3\text{)}, \rho_{\text{çinkostearat}}: 1,095 \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

$$\text{Gözenek (\%)} = \frac{\rho_{\text{teorik}} - \rho_{\text{gerçek}}}{\rho_{\text{teorik}}} \times 100 \quad (2)$$

$\rho_{\text{teorik}}$  : Teorik yoğunluk

$\rho_{\text{gerçek}}$  : numune boyutları ve ağırlığına göre hesaplanan gerçek yoğunluk

### 2.3 Sertlik Ölçümü ve Mikroyapı İnceleme

Numuneler sertlik ölçümü ve mikroyapı incelemesi için sıcak bakelite alınmıştır. Sertlik değerleri Vickers sertlik ölçüm cihazıyla 2.0 kg yük uygulanarak ölçülmüştür. Mikroyapıları incelenecek olan numuneler 600, 800, 1000, 1200 numaralı zımparalardan geçirilmiş ve 1 mikronluk alümina solüsyonuyla keçeden geçirilerek parlatılmıştır. Parlatma işleminden çıkan numuneler optik mikroskopta incelenmiştir.

### 2.4 Basma Testi

Numuneler basma testine tabi tutularak akma dayanımları ( $\sigma_{0,2}$ ) tespit edilmiştir. Basma testi öncesinde numunelerin cihazın basma plakalarıyla temas eden yüzeyleri yağlanarak sürtünmeleri azaltılmıştır. Basma testi 1mm/dk hızda gerçekleştirilmiştir.

## 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

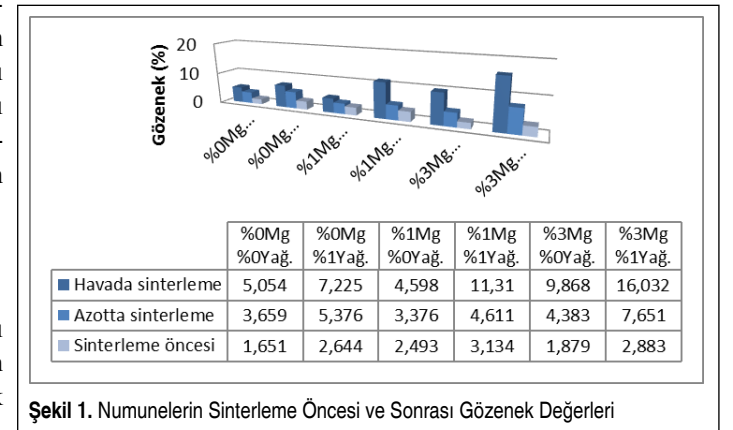
### 3.1 Yoğunluk ve Gözenek

Çeşitli Mg ve yağlayıcı içerikleri ile preslenip, hava veya azot ortamlarında sinterlenen numunelerin, sinterleme öncesi (ham) ve sinterleme sonrası gözenek değerleri Şekil 1'de görülmektedir.

Presleme sonrası (sinterleme öncesi) en iyi sıkıştırılabilirlik yani en az gözenek değerleri, yağlayıcı içermeyen numunelerde ölçülmüştür. Yağlayıcı kullanımıyla sıkıştırılabilirliğin (ham yoğunluğun) artacağı öngörüsünün aksine yağlayıcı karıştırılmış numunelerde gözenek miktarının daha fazla olduğu, buna göre de yağlayıcının sıkıştırılabilirliğe kötü yönde etki ettiği görülmüştür. Bunun, çinko stearat miktarının gereğinden fazla oluşundan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Bu durumda toz parçacıklarının yüzeyleri kalın bir yağlayıcı tabaka ile kaplanacağından, parçacıklar arası açık gözenek kanallarının oluşumu zorlaşırken, sıkıştırma sırasında gaz çıkışı zorlaşmaktadır. Sonuçta kompakt içinde hava ve yağlayıcı ile dolu kapalı gözenekler oluşur [9]. Gözeneklerin içinde yüksek gaz basıncı ortaya çıkar. Kalıptan çıkartılan parçanın yağlayıcı parçalara göre daha fazla genleştiği görülür.

Literatürde yağlayıcıların tozların sıkıştırılmasına kötü etkilerinin bildirildiği bazı çalışmalar mevcuttur. Örneğin; Kehl ve ark. [10] çeşitli yağlayıcı katkılarının Al-Cu kompaktlarda boyutsal stabiliteye, ham yoğunluğa ve sinter yoğunluğuna etkilerini inceledikleri çalışmalarında, eklenen yağlayıcıların ham yoğunluğu ve ham mukavemeti azalttığını, ayrıca boyutsal kararsızlık yarattığını ifade ederek, basit geometrilik parçalarda sadece kalıp cidarının yağlanması daha iyi sonuç vereceğini bildirmişlerdir. Mg tozlarının sıkıştırılmasının araştırıldığı bir çalışmada yüksek bir ham yoğunluk ve ham mukavemet ile sıkıştırılabilirlik için yağlayıcı (%0.1-0.2 EBS) eklenmesi gerektiği ifade edilmiştir [11]



Şekil 1. Numunelerin Sinterleme Öncesi ve Sonrası Gözenek Değerleri

Hem hava, hem de azot atmosferinde sinterleme sonucu ham yoğunluğa göre yoğunluk artışı elde edilememiştir. Hacimde büzülme yerine genleşme oluşumu sinterlenebilirliğin zayıflığına işaret etmektedir. En yüksek gözenek oranları havada sinterlenen numunelerde gözlenirken, azot altında sinterlenen numunelerde daha yüksek yoğunluklar ölçülmüştür.

Azotun sinterlenebilirliğe pozitif bir etkisinin olduğu net olarak görülmektedir. Mg içeren numunelerde azot ortamında sinterlemenin etkisi çok daha belirgin olup, havada sinterlemeye göre bazı numunelerde gözenek miktarında %50'nin üzerinde azalma meydana gelmiştir (Şekil 1).

En düşük yoğunluk (en yüksek gözenek) değerleri hava atmosferinde sinterlenen, magnezyum ve yağlayıcı içeren numunelerde görülmüştür. Yağlayıcı eklenmiş numunelerin gözenek miktarı yağlayıcı içermeyenlere göre daha yüksek çıkmıştır. Yüksek basınç altında sıkıştırılan numunelerde kapalı gözenek etkisi sinter yoğunluğunu azaltabilmektedir. Yağlayıcının

yanma ürünlerinin dışarı çıkışı bu durumda zorlaşmaktadır [8]. Gökçe ve Fındık Acrawax yağlayıcının alüminyumun sinter yoğunluğunu azaltmasını, geniş yanma aralığı ve sinterleme sırasında artıklı yanmasına bağlamışlardır [12].

Mg miktarı ile yoğunluk arasında bir doğru orantı gözlenmiştir. Mg kullanımıyla (%0 → %1) gözeneklilik azalırken, Mg miktarının %1 den %3'e çıkartılması ile gözenek miktarı artmaktadır. Sinterleme sonrası en iyi sonuç %1 magnezyum %0 yağlayıcı içeren azot atmosferinde sinterlenmiş numunelerde ortaya çıkmıştır.

Yoğunlaşma için magnezyumun optimum değeri vardır ve bu optimum değer toz partiküllerinin boyutu ve oksit miktarına bağlıdır. Magnezyumun kritik değeri aşıldığında, fazla olan magnezyum yağlayıcı ile reaksiyona girerek magnezyum stearat oluşturur veya alüminyum matris içerisinde katı eriyik olarak kalır. Bu durum yoğunlaşmayı azaltıcı bir etki oluşturur [13]. %3 oranında magnezyum içeren numuneler yüksek gözenek değerleri vermiştir.

Atmosfer korumasının, reaksiyon sonucu ortaya çıkan ürünlerin süpürülmesi, istenmeyen reaksiyonların önlenmesi ve oluşması istenilen reaksiyonları sağlaması gibi rolleri bulunmaktadır. Sinterleme atmosferi olarak kullanılan azotun difüzyonu hızlandırıcı, sinterlemeyi doğrudan etkileyen olumlu etkileri bulunmaktadır. Azotun yararlı etkisi, sinterleme sırasında oluşan AlN'in kütle artışı oluşturmasıdır. AlN oluşumu sırasında, reaksiyonda azot gazının kullanılması gözenek içerisinde basınç düşüşü sağlamakta ve gözeneklerin dolumunu kolaylaştırıcı bir etki oluşturmaktadır [14].



Reaksiyonu egzotermik bir reaksiyon olduğu için, reaksiyonun oluştuğu bölgelerde yerel sıcaklık artışlarına neden olarak difüzyonu hızlandırmakta ve sinterlemeye katkı sağlamaktadır [14].

Azot atmosferinde sinterlenen numunelerin gözenek değerlerinin daha düşük olmasının sebebi azot atmosferinin numuneleri oksidasyona karşı koruma görevi görmesi ve tozların sinterlenebilirliğini artırmasıdır. Üstelik azot atmosferi boyutsal kontrol sağlayarak numunelerdeki genleşme oranını düşürmüştür, daha iyi yoğunluk değerleri elde edilmiştir.

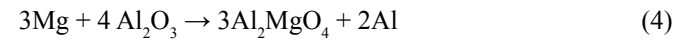
Alüminyumun toz metalurjisinde, tozların yüzeyinde her zaman bulunan ince Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tabakası sinterleme için bir engel teşkil eder. Sinterlemenin gerçekleşmesi için bu oksit tabakasının kırılması veya kaldırılması gerekir.

Alüminyumun toz metalurjisinde sinterleme atmosferi nem ve oksitleyici gazları içermemelidir. Yüksek çığ noktası parçada genleşme yaratır [1]. Hava atmosferinin yüksek gözeneklilik yaratmasının, alüminyumun sinterlenmesi için uygun olmayı-

şının sebebi içerdiği gazlardır. Oksitleyici hava atmosferinde alüminanın etkisiz hale getirilmesi ve etkin bir sinterleme gerçekleşmesi mümkün değildir.

Azot atmosferinde de yeterince yoğunlaşma sağlanamamasının sebebi, kullanılan azotun yeterince saf olmayışı olarak değerlendirilmektedir. Saf alüminyumun sinterleme sonrası çekme oluşturarak büzülmesi ancak saf ve kuru azot ortamında gerçekleşebilir [3]. Süreç nitrür ve oksitür oluşumuyla devam ederken azot tek başına alüminayı (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) indirgeyemez. Al içindeki çok az miktardaki Mg, parçacıkların yüzeyinde birikerek alüminanın lokal olarak indirgenmesini sağlayabilir [3].

Sinterleme işlemi sırasında magnezyum katkısı spinel (MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) oluşturarak, alümina tabakasının kısmen indirgenmesini sağlar. Magnezyumun alümina ile reaksiyona girerek spinel (Al<sub>2</sub>MgO<sub>4</sub>) oluşturduğu reaksiyon şu şekildedir [15]:



Böylece metalik alüminyumun açığa çıkmasıyla difüzyon, dolayısı ile sinterleme gerçekleşir [16].

### 3.2 Sertlik ve Basma Testi

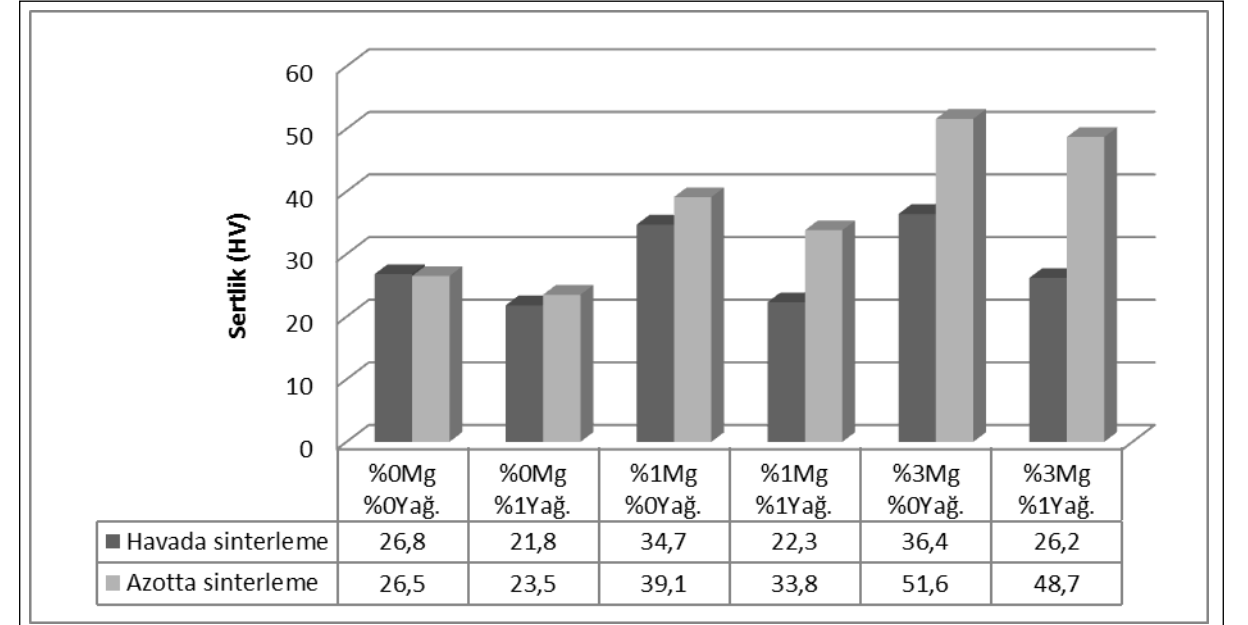
Sinterleme aşamasından çıkan numunelerin ortalama sertlik değerleri Şekil 2'de, basma testinden elde edilen verilerden tespit edilen akma dayanımları Şekil 3'te verilmiştir.

Sertlik ve basma deneyi sonuçlarından elde edilen mukavemet değerleri arasında bir paralellik olduğu görülmektedir. Şekil 1'de verilmiş olan gözenek değerleriyle beraber ele alındığında aynı içerikteki numunelerde gözenek azaldıkça sertlik ve mukavemet genel olarak artmaktadır.

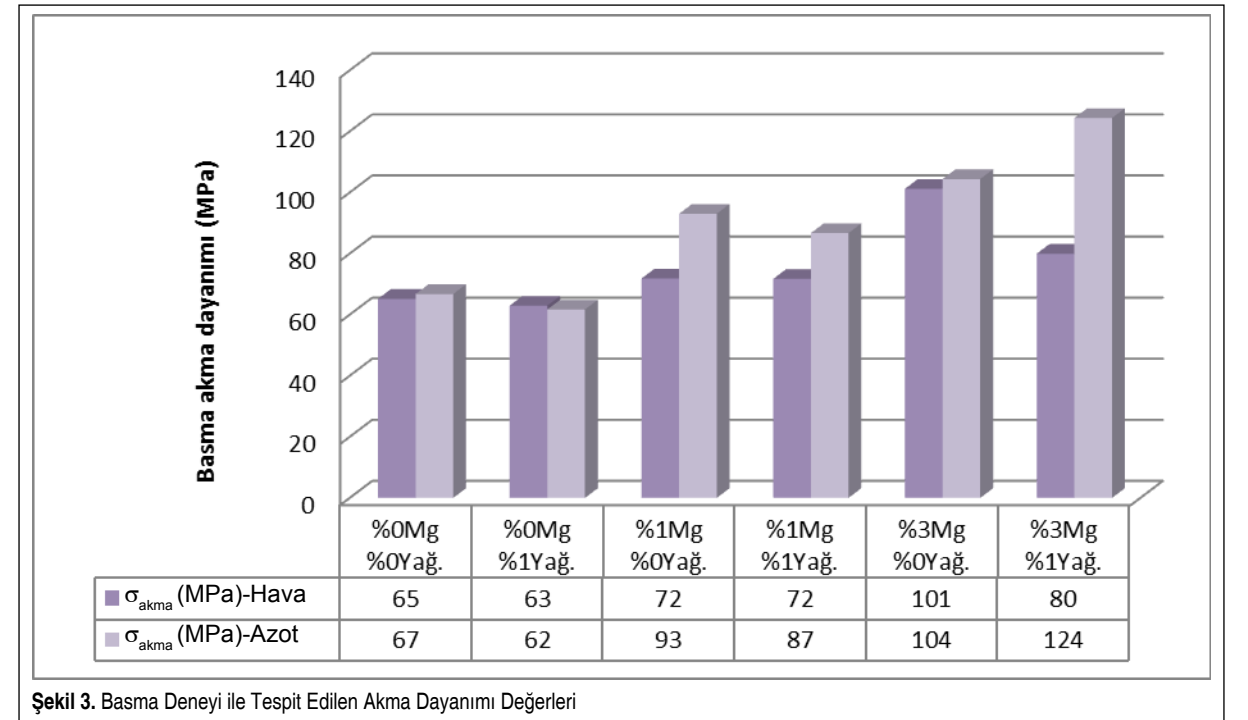
En yüksek sertlik ve basma mukavemeti değerleri %3 oranında magnezyum içeren azot atmosferinde sinterlenmiş numunelerde görülmektedir. Her iki deneyde de en düşük değerler %0 oranında magnezyum %1 oranında yağlayıcı içeren, hava atmosferinde sinterlenmiş numunelerde ölçülmüştür.

Düşük gözenek ve daha yüksek yoğunlaşma azot atmosferinde sinterlenen numunelerde daha yüksek sertlik değerleri sağlar [7]. Deney sonuçlarına göre azot atmosferi altında sinterlenmiş numunelerden daha yüksek sertlik ve basma mukavemeti değerleri elde edilmiştir. Azot atmosferinin, hava ortamına göre yoğunluğu arttırdığı oluşabilecek oksidasyonları engelleyerek sinterlemeyi iyileştirdiği anlaşılmaktadır.

Magnezyumun miktarı %1'den %3'e çıkarıldığında sinter yoğunluğu azaldığı halde, mukavemet ve sertlik, magnezyumun katı eriyik sertleştirilmesi sebebiyle artmaktadır. Elde edilen bu sonuçlar Lumley ve arkadaşlarının [13] sonuçlarıyla uyumludur.



Şekil 2. Sertlik Ölçüm Sonuçları



Şekil 3. Basma Deneyi ile Tespit Edilen Akma Dayanımı Değerleri

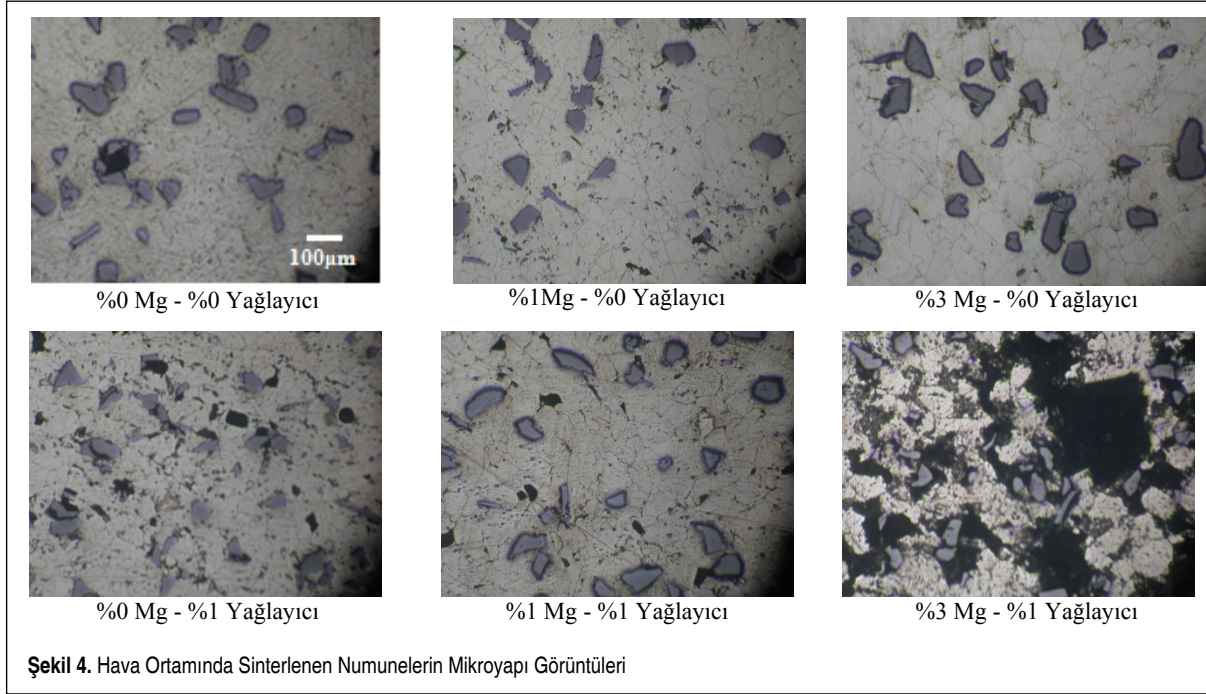
Yağlayıcı içeriğinin mekanik özellikleri genel olarak azalttığı gözlenmiştir. Bu durumun, yağlayıcının sinterleme sırasında gözeneklerden dışarıya çıkamayıp içerde sinterleme işlemi sırasında oluşması gereken yoğunlaşmayı engelleyerek büyük boşluklar oluşturmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

### 3.3 Mikroyapı

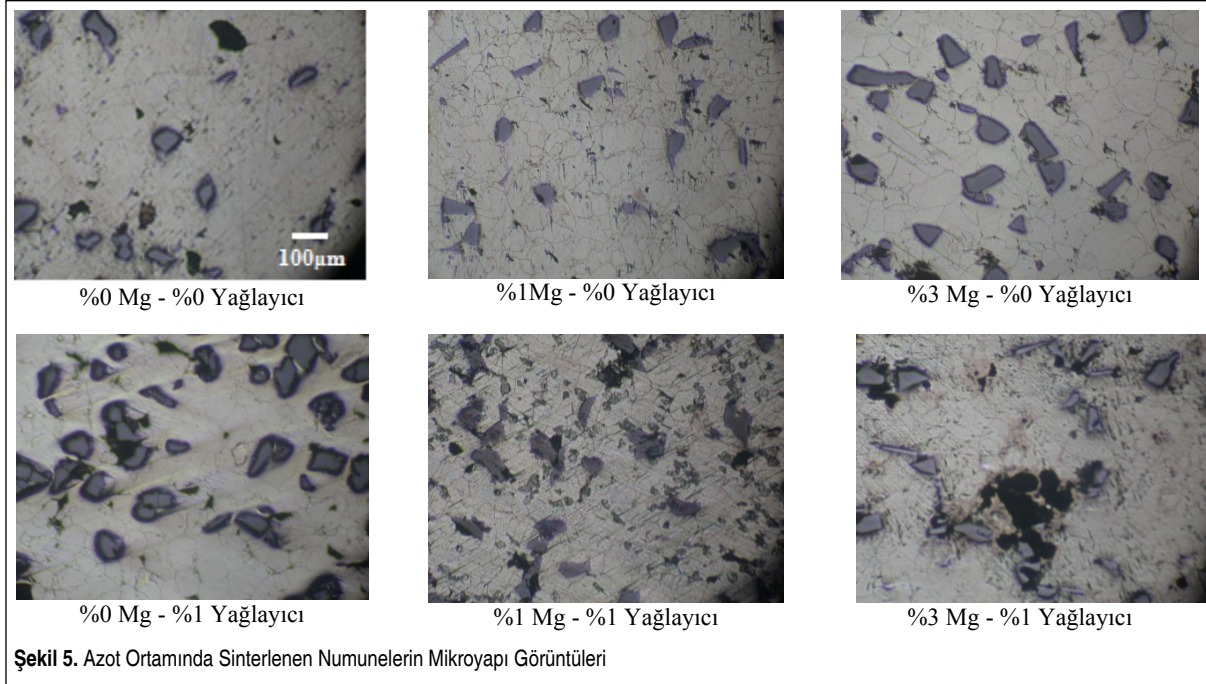
Hava ve azot ortamlarında sinterlenen numunelerin içyapı gö-

rüntüleri sırasıyla Şekil 4 ve Şekil 5'te görülmektedir.

Mikroyapı görüntüleri; magnezyum miktarı, yağlayıcı ve atmosfer korumasının etkilerini desteklemektedir. Şekillerde görüldüğü üzere %1 magnezyumun içeren numunelerde en az boşluklu yapılar oluşmuştur. Yağlayıcı içermeyen numunelerin içerene göre daha iyi sinterlendiği, azot korumasının olumlu etki ettiği görülmektedir.



Şekil 4. Hava Ortamında Sinterlenen Numunelerin Mikroyapı Görüntüleri



Şekil 5. Azot Ortamında Sinterlenen Numunelerin Mikroyapı Görüntüleri

#### 4. GENEL SONUÇLAR

- Alüminyum matrisli MMK'lerin T/M ile üretiminde çinko stearat yağlayıcı kullanımı hem ham yoğunluğu hem de sinterlenmiş yoğunluğu düşürmüştür. Sadece kalıp cidarlarının yağlanması daha iyi sonuç vermektedir.
- Yağlayıcı içeren numunelerde mekanik özelliklerin içermeyenlere göre daha kötü olduğu gözlenmiştir.
- Sinterleme atmosferinde oksitleyici gazların ve su buharının bulunması sinterlenebilirliği düşürmektedir.

- Azot ortamında sinterleme, havada sinterlemeye göre daha düşük gözenek, daha yüksek sertlik ve mukavemet vermektedir.
- Sinterleme atmosferi olarak kullanılan azotun yüksek safılıkta olması gerekmektedir.
- Magnezyum katkısı sinter yoğunluğunu artırarak sinterlemeye yardımcı olmaktadır. Magnezyum katkısı ile sertlik ve mukavemet de artmaktadır.

- %1 oranda eklenen magnezyumun yoğunluğa olumlu etkisi olmuştur. %3 oranında kullanıldığında veya hiç kullanılmadığında daha düşük yoğunluk (daha fazla gözenek) ortaya çıkmıştır.
- Azot atmosferi kullanımının ve artan magnezyum eklenmesinin malzemenin mekanik özelliklerini artırdığı görülmüştür.

#### SEMBOLLER

Al	Alüminyum
AlN	Alüminyum nitrür
Al <sub>2</sub> MgO <sub>4</sub>	Spinel
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Alümina
Cu	Bakır
HV	Sertlik vickers
Mg	Magnezyum
MMK	Metal matrisli kompozit
MPa	Mega paskal
SiC <sub>p</sub>	Silisyum karbür
N	Azot
T/M	Toz metalurjisi
°C	Derece santigrat
cm <sup>3</sup>	Santimetre küp
dk	Dakika
g	Gram
kg	Kilogram
mm	Milimetre
µm	Mikrometre
σ	Sigma

#### KAYNAKÇA

- ASME. 2001. ASM Metals Handbook, Volume 21, Composites, Ohio, USA.
- Groover, M.P. 2010. Fundamentals of Modern Manufacturing, 4th Ed., John Wiley & Sons., USA.
- Torralba, J. M., da Costa, C. E., Velasco, F. 2003. "P/M Aluminum Matrix Composites: An Overview," Journal of Materials Processing Technology 133, p. 203–206.
- Joys, J. 2009. "Aluminum Powder Metallurgy (PM) Technology – High Strength Materials and Optimization of Processing Conditions for Superior Performance," International Powder Metallurgy Congress & Exhibition; Copenhagen, Euro PM2009 Proceedings; p. 261-266.
- Oh, M.C., Ahn, B. 2013. "The Effect of Mg Composition on Sintering Behaviors and Mechanical Properties of Al-Cu-Mg Alloy," 9th International Conference on Fracture & Strength of Solids, June 9-13, Jeju, South Korea.
- MacAskill, I.A., Hexemer, Jr. R.L., Donaldson, I.W., Bishop, D.P. 2010. "Effects of Magnesium, Tin and Nitrogen on the Sintering Response of Aluminum Powder," Journal of Materials Processing Technology, 210, p. 2252–2260.
- Johar, B., Rejab, N.A., Su, N.K., Talib, M.S., Adzali, N.M.S., Musa, M.H., Mohamed, A.R. 2007. "Effect of Sintering Environment to the Physical Properties of Al/Calcined Dolomite Composite," Proceeding of 1st International Conference on Sustainable Materials (ICoSM2007), p. 120-123.
- Lefebvre, L. P., Thomas, Y., White, B. 2002. "Effects of Lubricants and Compacting Pressure on the Processability and Properties of Aluminum P/M Parts," Journal of Light Metals 2, p. 239-246.
- Gaidarov, V.A., Mamedov, A.T. 1987. "Soviet Powder Metallurgy and Metal Ceramics," August 1987, 26 (8), p. 636-640.
- Kehl, W., Bugajska, M., Fischmeister, H.F. 1983. "Internal or Die Wall Lubrication for Compaction of Al Powders," Powder Met. 26 (4), p. 221.
- Huang, H.S., Lin, Y.C., Hwang, K.S. 2002. "Effect of Lubricant Addition on the Powder Properties and Compacting Performance of Spray-dried Molybdenum Powders," International Journal of Refractory Metals & Hard Materials 20, p. 75–180.
- Gökçe, A., Fındık, F. 2008. "Mechanical and Physical Properties of Sintered Aluminum Powders," Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, 30, 2, p. 157-164.
- Lumley, R.N., Sercombe, T.B., Schaffer, G.B. 1999. "Surface Oxide and the Role of Magnesium During the Sintering of Aluminum," Metallurgical and Materials Transactions A, 30A, p. 457-463.
- Schaffer, G.B., Hall, B.J., Bonner, S.J., Huo, S.H., Sercombe, T.B. 2006. "The Effect of the Atmosphere and the Role of Pore Filling on the Sintering of Aluminium," Acta Materialia 54, p. 131–138.
- Schubert, Th., Pieczonka, T., Baunack, S., Kieback, B. 2005. "The Influence of the Atmosphere and Impurities on the Sintering Behaviour of Aluminium," European Powder Metallurgy Association, Powder Metallurgy Congress & Exhibition, EURO PM 2005, p. 3-8.
- Schaffer, G.B. 2004. "Powder Processed Aluminium Alloys," Materials Forum, 28, p. 65-74.