

## Sıcak Pres ile Üretilmiş Al-Nano SiC Kompozitin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi

Rıdvan YAMANOĞLU\*<sup>1</sup>, Erdinç EFENDİ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 41380, Kocaeli, Türkiye

<sup>2</sup>Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 41380, Kocaeli, Türkiye

(Alınış / Received: 16.02.2019, Kabul / Accepted: 31.07.2019, Online Yayınlanma / Published Online: 30.08.2019)

### Anahtar Kelimeler

Nano SiC,  
Kompozit,  
Sıcak pres,  
Sinterleme

**Özet:** Bu çalışmada saf alüminyum (Al) matris içerisine ağırlıkça % 0.25, 0.5 ve 1 oranlarında nano silisyum karbür partikülleri ilave edilmiş ve ardından toz karışımları önce mekanik alaşımlama, daha sonra sıcak pres ile sinterleme işlemine tabi tutulmuştur. Sinterleme sonrasında elde edilen numuneler metalografik işlemler ile hazırlanıp aşınma ve eğilme testlerine tabi tutulmuştur. Aşınma testleri sonucunda, saf Al matrisine artan miktarda nanopartikül ilavesinin, belli orana kadar aşınma direncini arttırdığı gözlenmiştir. Benzer şekilde, artan nanopartikül takviyesiyle, eğilme testi sonuçlarında da gözle görülür artışın olduğu gözlenmiştir. Takviye partiküllerinin yapı içerisindeki dağılımını incelemek amacıyla numunelere EDX analizi ile elementel dağılım analizi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar literatür ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

## Investigation of Mechanical Properties of Al-Nano SiC Composite Produced by Hot Pressing

### Keywords

Nano SiC,  
Composite,  
Hot pressing,  
Sintering

**Abstract:** In this study, nano SiC particles with different ratios of 0.25, 0.5 and 1 wt% were added to the pure Al, and then the powder mixtures were subjected to mechanical alloying and sintering by hot press. After sintering process, samples were metallographically prepared for wear and bending tests. The results showed that the addition of a certain amount of nano SiC particles increased the wear resistance of pure Al matrix. The similar results were obtained after bending test results. In order to study the distribution of reinforcement particles in the structure, elemental distribution analysis was performed with EDX analysis. The results were evaluated in detail.

### 1. Giriş

Son 20 yıl dikkate alındığında; havacılık, otomotiv ve savunma sanayinde metal matrisli kompozitlerin (MMK) öneminin giderek arttığı gözlenmektedir. Bu tür malzemelerin en ilgi çekici yanları hafiflik, yüksek dayanım, uzun yorulma ömrü ve ısı kararlılık olarak sıralanabilir. Metal matrisli kompozitler metal bir matris ve bu matris içerisine dağılmış (genellikle seramik) takviye fazından oluşmaktadır. Genellikle metal matris içerisine ilave edilen takviye fazı mikrometre ölçüsündedir. Ancak bu durum sünekliği çok fazla düşürdüğünden son dönemde yapılan çalışmalar matris fazı içerisine nano boyutlu takviye malzemelerinin ilavesi üzerine yoğunlaşmıştır [1, 2]. Metal matrisli kompozitlerde en çok kullanılan matris fazları, çoğunlukla Al, Ti ve Mg gibi hafif metallerden oluşmaktadır. Bu elementler arasında da Al alaşımları sahip oldukları düşük yoğunluk, yüksek mekanik

özellik, yüksek korozyon direnci ve düşük maliyet gibi özelliklerinden dolayı kullanımına en çok başvurulan matris fazı olarak kabul edilmektedir [3]. Matris fazı içerisine ilave edilen takviye fazları ise fiber veya partikül şeklinde olabilmektedir. Partikül takviyesi, matris fazı içerisinde dağılımının daha kontrollü ve daha kolay olması sebebiyle fiber takviyesine göre daha fazla tercih edilir. Özellikle SiC partikül takviyesi düşük maliyet, yüksek elastisite modülü, yüksek aşınma direnci ve yüksek sıcaklıklarda sergilediği üstün mekanik özellikler ile en çok tercih edilen partikül takviyelerinden biridir [4, 5].

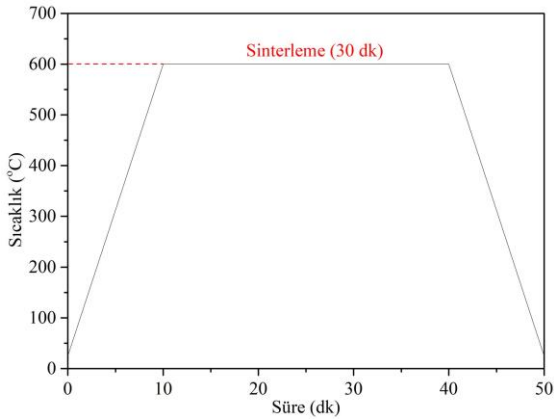
Metal matrisli kompozitlerin üretiminde genellikle döküm ve toz metalurjisi yöntemi kullanılmaktadır [6]. Ancak döküm yöntemi açısından bakıldığında, partikül boyutunun küçülmesi sonucu yüzey gerilimindeki artış bazı problemlere neden

olmaktadır. Sıvı metal-partikül arasında düşük ıslatma kabiliyetinden dolayı üretim prosesi zorlaşır [1, 3]. Toz metalurjik üretim yönteminin karmaşık şekilli parçaların kolay üretimi, düşük enerji gerekliliği ve nihai şekle yakın parça üretimi gibi birçok avantajı vardır. Bu sebeple sinterleme işlemi seri üretimde en ekonomik üretim yöntemlerinden biri olarak kabul edilmektedir [7]. Özellikle Al matrisli kompozit malzemelerin üretiminde toz metalurjisi yöntemi, diğer yöntemlere göre daha üstün mekanik özellikler ortaya koymaktadır [8].

Bu çalışmada da Al matris içerisine nano SiC partikülleri ilave edilmiş, ardından toz metalurjik işlemlerden mekanik alaşımlama ve sıcak pres ile sinterleme işlemine tabi tutulmuştur.

## 2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada toz formunda saf Al içerisine ağırlıkça % 0.25, 0.5 ve 1 oranlarında nano SiC (60 nm) ilave edilmiş, ardından toz karışımları bilyeli değirmen içerisinde mekanik alaşımlama işlemine tabi tutulmuştur. Alaşımlama işlemi, 8 mm çapında zirkonya bilyeler kullanılarak 5 saat süre ile uygulanmıştır. Cihaz, yapı içerisinde ısınmayı önlemek amacıyla her saatte bir yarım saat bekleme yapacak şekilde ayarlanmıştır. Alaşımlama sonrası elde edilen toz karışımları sıcak pres ile sinterleme işlemine tabi tutulmuştur. Sinterleme çevrimi Şekil 1'de gösterildiği gibi 600°C'de 30 dakika olarak tayin edilmiştir. Isıtma ve soğutma süreleri ise 10'ar dakika olarak uygulanmıştır.

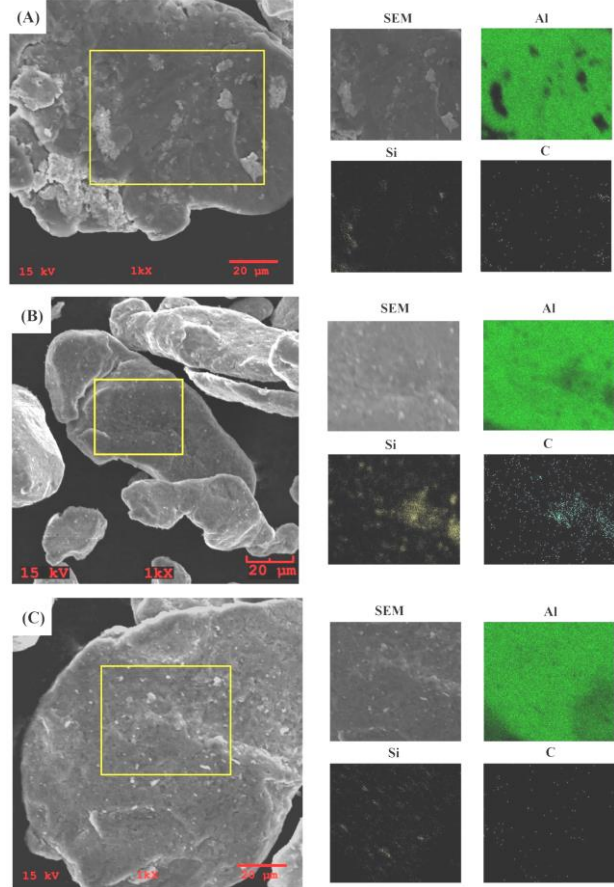


Şekil 1. Sinterleme çevrimi

Sıcak pres işlemi ardından 20 mm çapında ve 5 mm kalınlığında numuneler elde edilmiştir. Bu numuneler sırasıyla 600, 1000 ve 2000 gridlik zımparalar ile zımparalanmış ve kuru sürtünme aşınma işlemine tabi tutulmuştur. Aşınma işlemi 150 rpm'de, 250 m mesafe ve 5 N yük altında yapılmıştır. Aşınma izleri SEM ile karakterize edilmiştir. Numuneler aynı zamanda 3 nokta-eğilme testine tabi tutulmuş ve test sonrası elde edilen eğilme mukavemeti-yer değiştirme grafikleri elde edilmiştir.

## 3. Bulgular

Metal matrisli seramik partikül takviyeli kompozit üretimi sürecinde karşılaşılan en önemli problemler yüksek yüzey alanına sahip nano partiküllerin topaklanması ve matris fazı içerisinde homojen bir şekilde dağıtılamamalarıdır. Bu tarz problemlerin önlenmesinde yönelik uygulanan en önemli proseslerden birisi de toz metalurjik mekanik alaşımlamadır. Bu sayede sert bilyelerin mekanik etkilerine sürekli maruz kalan metal ve seramik partikülleri homojen bir şekilde dağılım gösteren karışımların oluşumuna müsaade etmektedir.

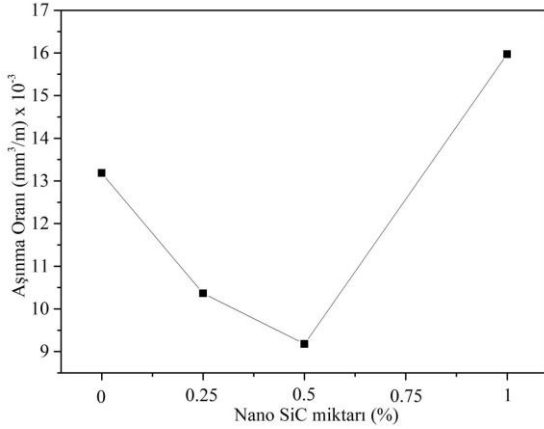


Şekil 2. (a) Al-0.25 nano SiC, (b) Al-0.5 nano SiC ve (c) Al-1 nano SiC (5) toz karışımlarına ait SEM görüntüsü ve elementel dağılım analizi

Alüminyum sahip olduğu yüksek süneklik özelliğinden dolayı, bilyalar ile etkileşim sürecinde deforme olacak, yeni yüzeyler oluşacak ve sistemde bulunan SiC partikülleri yeni oluşan yüzeylere tutunacak ve bu işlem prosesi boyunca sürekli devam edecektir. Alaşımlama sonrası elde edilen toz karışımlarının SEM görüntüleri ve elementel dağılım analizleri Şekil 2'de gösterilmiştir. Al partikülü üzerinde SiC nanopartikülleri homojen bir şekilde dağılmıştır. Bu sebeple, yapılan karıştırma işleminin yeterli olduğu söylenebilir.

Sinterlenmiş nano SiC takviyeli Al numunelerine uygulanan ball-on disc aşınma testinden sonra ortaya çıkan aşınma oranları Şekil 3'te gösterilmiştir. Saf Al'a

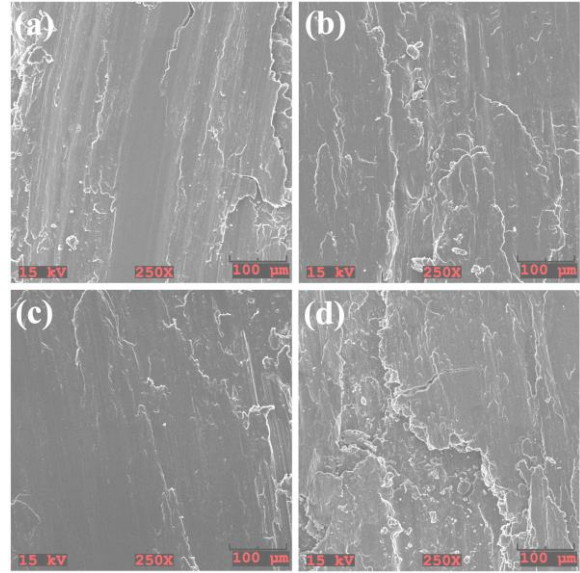
yapılan % 0.25 nano SiC takviyesi, referans numuneye göre aşınma oranında bir düşüşe sebep olmuştur. % 0.5 nano SiC takviyeli numune ise en düşük aşınma oranına sahip olan numune olmuştur. Daha fazla miktarda yapılan nano SiC takviyesinde ise (%1) aşınma oranı ani bir artış göstererek matris malzemesinden de yüksek aşınma özelliği sergilemiştir. Böylelikle optimum aşınma şartlarının % 0.5 takviyeli numunede olduğu söylenebilir. Murthy, yaptığı çalışmada karıştırmalı döküm yöntemini kullanarak Al AA2219 matris malzemesi içerisine % 0.5, 1, 1.5 ve 2 oranlarında nano SiC ilave etmiş ve artan nanopartikül oranıyla spesifik aşınma oranında sürekli düşme olduğunu gözlemlemiştir [9]. Benzer şekilde Padmavathi ve Ramakrishnan, çalışmalarında Al6061 alaşımına % 0.5, 1 ve 1.5 oranlarında nano SiC takviye etmişler ve artan SiC oranıyla aşınma oranında azalma kaydetmişlerdir [10]. Bu çalışmada ise %0.5 nano SiC ilavesinden sonra aşınma oranındaki artışın, nanopartiküllerin topaklanmalarının ve matris ile partiküller arasındaki bağlantının zayıflamasının bir sonucu olduğu düşünülmektedir.



Şekil 3. Nano SiC takviyesi ile aşınma oranındaki değişim

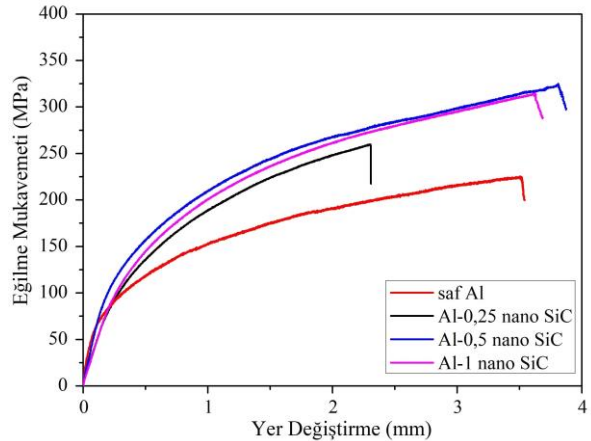
Aşınma sonrası elde edilen yüzeylerin SEM görüntüleri Şekil 4'te gösterilmiştir. Şekil 4a saf Al'a ait aşınma yüzeyini göstermektedir. Alüminyumun sahip olduğu yüksek sünekliğin sonucu olarak aşınma yüzeyinde yoğun deformasyon izleri görülmektedir. % 0.25 nano SiC takviye ilaveli numunede (Şekil 4b) ise nispeten daha az deformasyon etkisi görülmektedir. En düşük aşınma oranına sahip numunenin yüzey görüntüsü ise diğer yüzeylere göre daha pürüzsüz bir yüzeye sahiptir (Şekil 4c). Deformasyon etkisinin çok düştüğü ve buna bağlı olarak da aşınma oranının azaldığı görülmektedir. Şekil 4d ise şiddetli delaminasyon sonucu yüzeyden oldukça fazla miktarda malzeme kaybının olduğu ve aşınma oranının en yüksek değerini verdiği net bir şekilde görülebilir.

Şekil 5'te 3 nokta eğilme testine tabi tutulan numunelerden elde edilen eğilme mukavemeti-yer değiştirme grafiği verilmiştir. Aşınma sonuçlarına benzer şekilde saf Al'a yapılan nano partikül takviyesinin eğilme mukavemetini arttırdığı



Şekil 4. (a) Saf Al, (b) Al-0.25 nano SiC, (c) Al-0.5 nano SiC ve (d) Al-1 nano SiC aşınma yüzeylerinin SEM görüntüleri

gözlenmiştir. Saf Al'un sergilediği eğilme mukavemeti yaklaşık 200 MPa iken % 0.25 nano SiC takviyesi ile eğilme mukavemetinde 50 MPa'lık bir artış gözlenmiştir. % 0.5 ve 1 nano SiC takviyeli numuneler ise çok az bir farkla, neredeyse benzer bir eğilme mukavemeti-yer değiştirme eğrisi sergilemiştir. Bu iki numune arasında benzer eğilme davranışı gözlenmiş ancak aşınma oranlarında önemli bir fark oluşmuştur.



Şekil 5. Artan nanoSiC miktarı ile eğilme dayanımındaki değişim

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Metal matrisli nanopartikül takviyeli kompozit malzemelerde karşılaşılan en büyük problem, daha önce de bahsedildiği gibi, yüksek yüzey enerjisine sahip nanopartikül takviye fazının matris fazı içerisinde homojen dağıtılamaması sonucu kümeleşerek mekanik özelliklerde kötüleşmeye sebebiyet vermesidir. Bu sebeple bu çalışmada homojen karışım elde edilene kadar, öncelikli bir alaşımlama süresi optimizasyonu yapılmıştır. Uygun alaşımlama süresi tespit edildikten sonra yapının da homojen dağılıma sahip olduğu gözlenmiştir.

Farklı nanopartikül takviyeli numunelerden en yüksek aşınma direncine sahip olan 0.5 nano SiC takviyeli numune olmuştur. Bu sonuç aşınma izlerinden elde edilen SEM görüntüleri ile de desteklenmiştir. Benzer bir sonuç 3 nokta eğilme testinde de gözlenmiştir. 0.5 nano SiC takviyeli numune en yüksek eğilme mukavemeti değerine (~350MPa) ulaşmıştır.

### Teşekkür

Bu çalışma Kocaeli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir.

### Kaynakça

- [1] Yang, Y., Lan, J., Li, X. 2004. Study on bulk aluminum matrix nano-composite fabricated by ultrasonic dispersion of nano-sized SiC particles in molten aluminum alloy. *Materials Science and Engineering: A*, 380(1), 378-383.
- [2] Yamanoglu, R. 2013. Effect of heat treatment on the tribological properties of Al-Cu-Mg/nanoSiC composites. *Materials & Design*, 49, 820-825.
- [3] Amouri, K. 2016. Microstructure and mechanical properties of Al-nano/micro SiC composites produced by stir casting technique. *Materials Science and Engineering: A*, 674, 569-578.
- [4] Li, C. P., Wang, Z. G., Wang, H., Zhu, X. 2016. Fabrication of nano-SiC particulate reinforced Mg-8Al-1Sn composite by powder metallurgy combined with hot extrusion. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 25(11), 5049-5054.
- [5] Yamanoglu, R., Zeren, M., German, R. M. 2012. Solidification characteristics of atomized AlCu4Mg1-SiC composite powders. *Journal of Mining and Metallurgy B: Metallurgy*, 48(1), 73-79.
- [6] Nassar, A. E., Nassar, E. E. 2017. Properties of aluminum matrix nano composites prepared by powder metallurgy processing. *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*, 29(3), 295-299.
- [7] Tavakol, M. Mahnama, M., Naghdabadi, R. 2016. Shock wave sintering of Al/SiC metal matrix nano-composites: A molecular Dynamics study. *Computational Materials Science*, 125, 255-262.
- [8] Abdullahi, K., Al-Aqeeli, N. 2014. Mechanical alloying and spark plasma sintering of nano-SiC reinforced Al-12Si-0.3Mg alloy. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 39(4), 3161-3168.
- [9] Murthy, N. V. 2016. Preparation of SiC based aluminium metal matrix nano composites by high intensity ultrasonic cavitation process and evaluation of mechanical and tribological properties. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 149(1), 012106.
- [10] Padmavathi, K. R., Ramakrishnan, R. 2017. Tribological properties of micro and nano SiC reinforced aluminium metal matrix composites. *International Journal of ChemTech Research*, 10(6), 367-372.