

MEKANİK ALAŞIMLAMA SÜRESİNİN Al + % 10 Al₂O₃ KOMPOZİTLERDE EĞME DAYANIMINA ETKİSİ

Hasan KARABULUT*, Ramazan ÇITAK**, Hanifi ÇİNİCİ***

* Karabük Üniversitesi, M.Y.O., İş Sağlığı ve Güvenliği Programı, 78050, Karabük.

** Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Teknik Okullar, 06500, Ankara.

*** Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Teknik Okullar, 06500, Ankara.

hasankarabulut@karabuk.edu.tr, citak@gazi.edu.tr, hcinici@gazi.edu.tr

(Geliş/Received: 14.11.2012; Kabul/Accepted: 11.07.2013)

ÖZET

Bu çalışma, Al+%10Al₂O₃ kompozitlerin mekanik alaşımlama (MA) yöntemi ile üretilerek eğme dayanım (TRS) özelliklerinin belirlenmesini içermektedir. Bu amaçla, Al ve Al₂O₃ tozları 2, 4, 6, 8 ve 10 saat süreyle mekanik alaşımlama işlemine tabi tutulmuş ve MA sonrası tozların tane boyut ölçümü ve SEM analizi yapılmıştır. Tozlar tek eksenli preste 700 MPa basınçla sıkıştırılarak blok numuneler haline getirilmiştir. Blok haline getirilen numuneler 600 °C sıcaklıkta 1 saat süreyle sinterlenmiştir. Ardından numunelerin sertlik değerleri, yoğunluk değerleri ve TRS dayanımları belirlenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, mekanik alaşımlama süresinin artmasıyla toz tane boyutlarında ve yoğunlukta azalma, sertlik ve eğme dayanımlarında artış meydana geldiği tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Mekanik alaşımlama, kompozit, eğme dayanımı, Al₂O₃

EFFECT OF MECHANICAL ALLOYING DURATION ON TRANSVERSE RUPTURE STRENGTH OF Al+10% Al₂O₃ COMPOSITES

ABSTRACT

In this study, Al +% 10Al₂O₃ composites produced by mechanical alloying (MA) method, transverse rupture strengths (TRS) includes determination of the characteristics. For this purpose, Al and Al₂O₃ powders was carried out to mechanical alloying process for 2, 4, 6, 8 and 10 hours. Size of the powder and SEM analyses of particles were done. Powders were pressed under 700 MPa pressure in one direction. The samples were sintered at 600 °C in flowing Ar atmosphere for one hour. Then, hardness, density, porosity and transverse rupture strengths (TRS) of sintered composites were determined. As a result of the experimental studies, it was determined that powder dimension was decreased with increased the duration of MA. It has also been determined that mechanical alloyed samples had lower density but also high hardness and TRS.

Keywords: Mechanical alloying, composite, transverse rupture strengths, Al₂O₃

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Malzeme geliştirme çalışmaları sürekli devam etmekte olup, kompozit malzemeler alanında yapılan çalışmalar çok hızlı bir şekilde ilerlemektedir. Metal matrisli kompozit malzemelerin en popüler olanı seramik parçacıklar ilave edilmiş alüminyum

alaşımlarıdır. Alüminyum matrisli kompozit malzemeler düşük ağırlık, yüksek dayanım ve aşınma dayanımı özelliklerinden dolayı ileri malzemeler grubu olarak kabul edilmektedir. Son yıllarda, alüminyum matrisli kompozit malzemeler otomotiv sektöründe motor pistonu, silindir bloku ve fren diskü üretimi gibi alanlarda kullanılmaktadır[1]. Takviye

elamanı olarak Al₂O₃ seramik paçacıkları SiC paçacıklarından sonra en popüler olanıdır. Al₂O₃, SiC ile kıyaslandığında daha yüksek termal kararlılığa sahiptir. Ayrıca Al₂O₃ yüksek sıcaklıkta metal matris ile reaksiyona girmez ve gevrek yapı oluşturmaz[2]. Seramik paçacıkları ilave edilen alüminyum matrisli kompozitler toz metalurjisi yöntemi ile üretilebilmektedir[3, 4]. Bu yöntemin ergitme yöntemine göre en önemli avantajı düşük maliyet, seramik paçacıklarının homojen karışımı ve düşük işlem sıcaklığıdır[5, 6].

Metal matrisli kompozitlerin üretiminde seramik paçacıkları ile matris malzeme arasında güçlü bir arayüzeyin oluşması önemlidir [7]. Toz metalurjisi (TM) yöntemiyle işlemler katı halde gerçekleştiği için, matris takviye elemanı arasında istenmeyen arayüzey reaksiyonlarının oluşmaması ya da en aza indirilmesi [7-9] sebebiyle bu çalışmada özellikle alüminyum matrisli ve seramik paçacık takviyeli kompozitlerin üretiminde bir katı hal işlem tekniği olan mekanik alaşımlama yöntemi tercih edilmiştir.

Bu çalışmada Al+%10 Al₂O₃ kompozitler farklı mekanik alaşımlama sürelerinde üretilmiştir. Mekanik alaşımlama süresinin toz tane boyutuna etkisi belirlenmiş, ardından üretilen kompozitlerde MA süresinin mikroyapı, yoğunluk, gözeneklilik, sertlik ve eğme dayanımlarına etkisi araştırılmıştır. Kırık yüzey incelemeleri için SEM analizi yapılmıştır.

1. DENEYSEL METOT (EXPERIMENTAL METHOD)

% 99,7 saflıkta ve ortalama toz tane boyutu 72,24 µm olan alüminyum tozlarına, ağırlıkça % 10 oranında 15,40 µm ortalama toz tane boyutuna sahip Al₂O₃ tozları ilave edilerek üç boyutlu turbula cihazında 1 saat süreyle karıştırılmıştır. Karıştırılan tozlar Szegvari dikey atritörde 350 rpm hızda 2, 4, 6, 8 ve 10 saat süre ile mekanik alaşımlama işlemine tabi tutulmuştur. Mekanik alaşımlama işlemi 1/10 toz/bilye oranında 12 mm çapındaki çelik bilyeler kullanılarak, argon atmosferinde gerçekleştirilmiştir. Bu süreler sonunda toz boyutları Malvern Master Sizer-E Ver. 1.2b cihazında ölçülmüş ve SEM analizleri yapılmıştır. Mekanik alaşımlama yapılan tozlar, 700 MPa presleme basıncında tek yönlü olarak preslenerek 31,7x12,7x6,35 mm ölçülerinde blok numuneler elde edilmiştir. Bu numunelerin ham yoğunlukları belirlenmiştir. Elde edilen blok numuneler yatay tüp fırın içerisinde 5 °C/dakika ısıtma hızı kullanılarak 600°C sıcaklıkta 1 saat süreyle akan argon ortamında sinterlenmiştir. Yoğunluk

ölçümlerinde Arşimet prensibi kullanılmıştır. Üretilen kompozit malzemelerin gözenek oranının belirlenmesinde aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır.

$$\% \text{ Gözeneklilik} = \frac{q_{teorik} - q_{deneysel}}{q_{teorik}} \times 100$$

Burada;

q_{teorik} : Teorik yoğunluk (g/cm³)

$q_{deneysel}$: Deneysel yoğunluk (g/cm³) şeklindedir.

Numunelerin sertlik ölçümleri Instron Wolpert Testor marka Brinell sertlik ölçüm cihazında 2,5 mm bilye uç ve 31,25 kgf yük uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Eğme dayanımları ise ASTM B528-05 standartlarına uygun olarak 5 kN kapasiteli bilgisayar kontrollü Shimadzu marka cihaz ile 0,5 mm/dak çene hızında ve 3 mm çapında mesnet ve mandrel ile 25,4 mm mesnet aralığında 3 noktalı eğme deney düzeneği kullanılarak yapılmıştır.

2. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA (EXPERIMENTAL RESULTS AND DISCUSSION)

Al + %10 Al₂O₃ tozlarının MA süresine bağlı olarak toz boyut değişimi Şekil 1.'de verilmiştir. 2 saat MA uygulanmış tozların boyutlarında, MA uygulanmayan ve sadece homojen bir karışım oluşturmak için üç eksenli turbula cihazında harmanlanan (TK) tozların boyutlarına göre küçük bir artış olmuştur. Bu artışın MA'nın ilk anlarında genel olarak oluşan, tozlar arasındaki soğuk kaynaklanmadan meydana geldiği düşünülmektedir. 4 saatlik MA süresinde paçacık boyutunda az da olsa bir düşme görülürken daha uzun MA sürelerinde toz boyutunda önemli ölçüde düşmeler görülmüştür. Özellikle 10 saat MA uygulanan tozların boyutlarında % 50'den fazla bir düşme oluşmuştur. Bunun sebebi daha öncede yapılan benzer çalışmalarda da [10-13] belirtildiği gibi artan deformasyon ve pekleşmenin sonucunda kırılma mekanizmasının etkili olmasıdır.

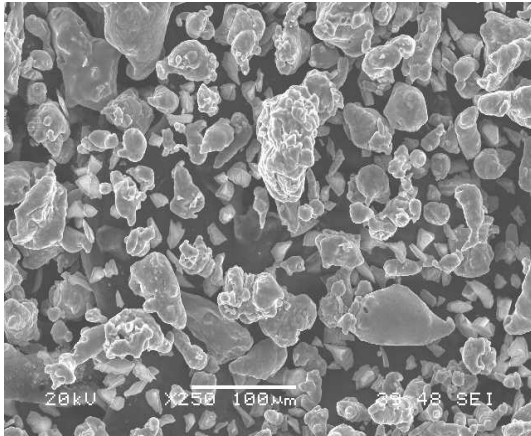
Özellikle numunelere uygulanan 10 saat MA süresinde toz boyutundaki küçülmenin sebebinin MA süresinin uzamasıyla artan deformasyonla birlikte, iyonik bağlı, gevrek ve kırılmalı yapıya Al₂O₃ paçacıklarının da kırılması olduğu düşünülmektedir. Atomları iyonik bağlı malzemeler çok gevreklerdir. İyon düzlemlerinin birbirleri üzerinde kaymasıyla farklı iyonların elektrik alanları birbirleriyle zıtlaşır ve bu sebeple oluşan itme kuvveti malzemelerde kırılmalara neden olur [14].



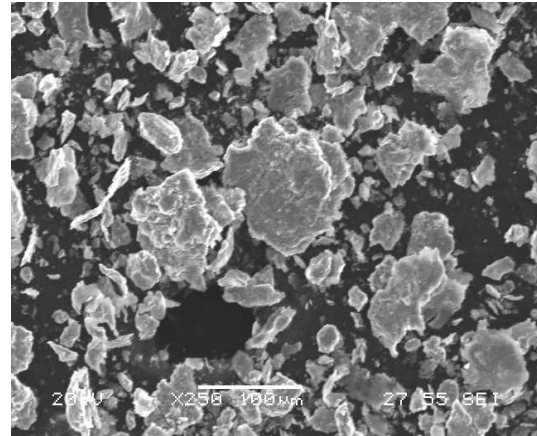
Şekil 1. Toz boyut analiz sonuçları, (Particle size analysis results)

Şekil 2’de verilen SEM fotoğraflarında, TK yapılmış toz numunelerde herhangi bir deformasyon etkisi görülmezken, 2 saat MA yapılmış numunelerde öğütme şartlarından oluşan pullaşma ve deformasyonun etkisi belirgindir. MA süresinin 10 saate çıkarılmasıyla kısmen iri pullaşmış tozlar olmakla beraber genel olarak ortalama toz boyutunda oluşan küçülmeler açık bir şekilde görülmektedir.

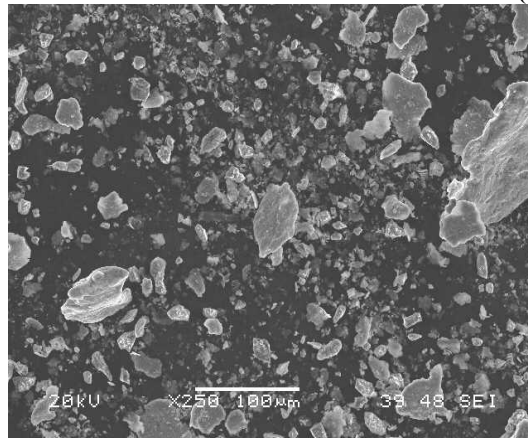
Şekil 3’de TK, 2 saat ve 10 saat MA uygulanmış kompozit numunelerin toz boyut analiz diyagramları verilmiştir. Diyagramlarda görüldüğü gibi TK ve 2 saat MA yapılmış numunelerin değerleri birbirine çok yakınken MA süresinin 10 saate çıkarılmasıyla bu değer 27,78 µm’na düşmüştür.



(a) TK

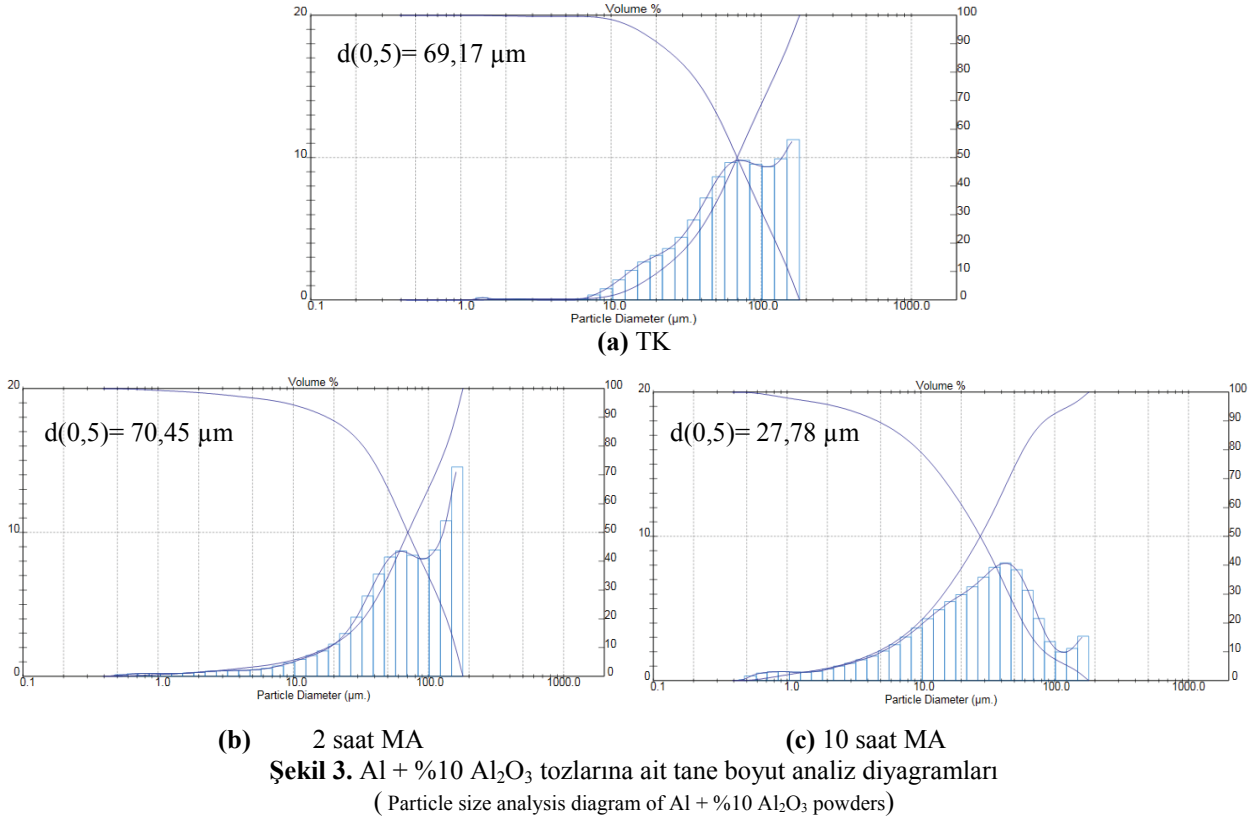


(b) 2 saat MA



(c) 10 saat MA

Şekil 2. Al + %10 Al₂O₃ tozlarına ait SEM görüntüleri, (Al + %10 Al₂O₃ powders SEM pictures)



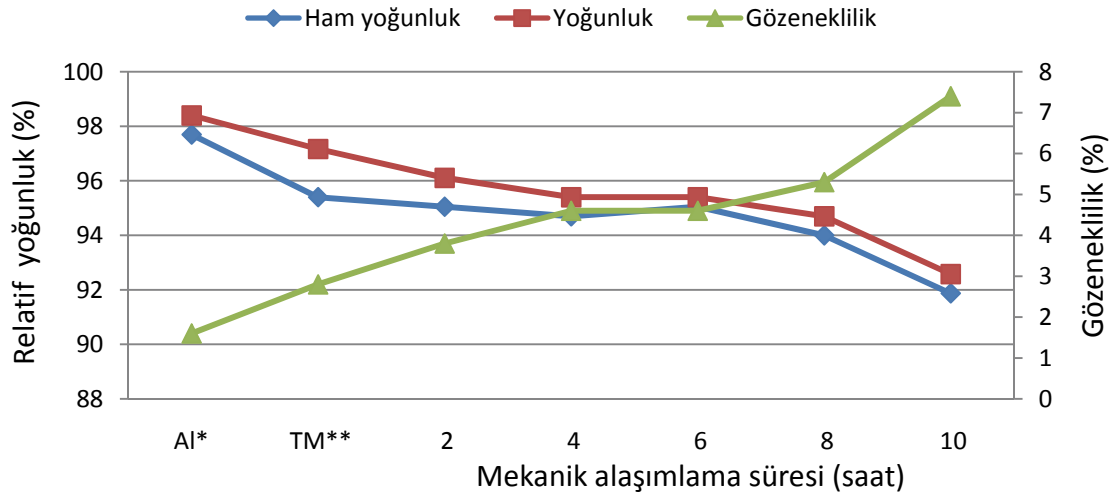
Şekil 4'te kompozit numunelerin sinterleme öncesi/sonrası relatif yoğunluk ve gözeneklilik değerleri bir arada verilmiştir. Yoğunluk değerleri MA süresi uzadıkça düşerken, doğal olarak gözeneklilik değerleri de artmıştır. Kompozit numuneler için matris malzemesi olan Al tozlarından aynı şartlarda üretilen blok numunelerin relatif yoğunluk değerleri %98 olarak hesaplanmıştır. Üretilen kompozit blok numunelerin sinterleme öncesi ve sonrası yoğunluk ölçümlerinde TK numunelerinin MA numunelerine göre daha yüksek yoğunluğa ve daha az gözeneklilik değerine sahip olduğu belirlenmiştir. TK numunelerinin sinterleme öncesi relatif yoğunlukları % 95 iken; MA yapılmış numunelerin sinterleme öncesi relatif yoğunluklarının % 92'lere kadar düştüğü belirlenmiştir (Şekil 4). Sinterleme sonrası ise tüm numunelerin yoğunluk değerlerinin ortalama % 1,5 oranında artış gösterdiği belirlenmiştir. Mekanik alaşımlanmış numunelerin yoğunluklarının düşük, gözeneklilik değerinin nispeten yüksek olmasının sebebinin MA sırasında yüksek deformasyonun etkisiyle tozlarda oluşan pekleşmenin numunelerin presleme esnasında sıkıştırılabilirliğini olumsuz etkilemesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

MA süresinin 10 saate çıkarılmasıyla en düşük yoğunluk ve en yüksek gözeneklilik değeri elde edilmiştir. MA süresinin artmasıyla toz boyutunda meydana gelen küçülme de tozların sıkıştırılmasını olumsuz etkilemiştir. Çünkü, küçük tozlar sıkıştırmaya direnç göstermekte ve özellikle nano

boyutlu tozların sıkıştırılabilirliği çok zor olmaktadır [15].

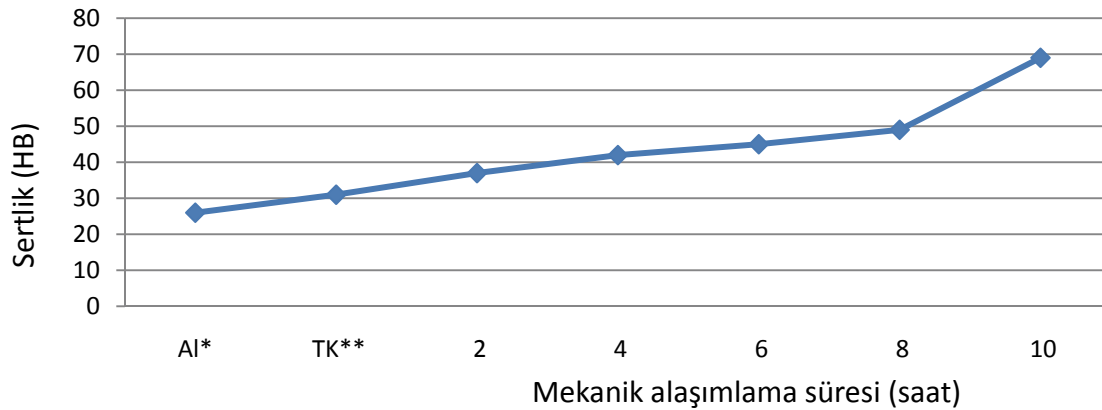
TK numunelerinden elde edilen gözeneklilik değerleri % 2,8 iken; 10 saat MA uygulanan numunelerin gözeneklilik değeri % 7,4 olarak ölçülmüştür. Karabulut ve Çıtak geçmişte benzer sonuçlar elde etmiştir [16]. Gözeneklilik değerindeki artış toz yüzeylerinde oluşması muhtemel oksitlerden kaynaklanmaktadır. Çünkü, uzun MA işlemleri koruyucu gaz atmosferi altında yapılmış olsa dahi, toz yüzeylerinde oksitlenmeler oluşabilmekte ve bu oksitler kompozitlerde düşük yoğunluk, nispeten yüksek gözeneklilik oluşturmaktadır [17].

Kompozitlerin MA süresine göre sertlik değişimleri Şekil 5'te verilmiştir. Sertlik sonuçları incelendiğinde, deneylerde kullanılan Al tozlarından aynı şartlarda üretilen blok numunelerin sertlik değerleri 26 HB iken, parçacık takviyeli kompozitlerin sertlikleri doğal olarak her durumda daha yüksek çıkmıştır. 10 saat MA yapılmış numunelerin Brinell sertlik değerleri, turbulada karıştırma yapılmış numunelerin sertlik değerinin iki katından daha fazla artmıştır. Bu artış, artan MA süresine bağlı olarak oluşan parçacık küçülmesinden kaynaklanmaktadır. MA ile üretilen kompozitlerde sertlik için en önemli faktörlerden birisi MA süresidir [13, 17]. Ayrıca benzer şekilde, Aksöz ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, MA süresinin artmasıyla tozlara uygulanan deformasyon miktarının da artmakta olduğunu ve böylece tozların sertliğinde de bir artış meydana geldiğini tespit etmişlerdir [18].



*Kompozitlerde kullanılan işlem görmemiş saf alüminyum matris tozlarından üretilen Al blok numune
 ** Üç boyutlu turbula cihazında 1 saat harmanlama

Şekil 4. Kompozitlerin relatif yoğunluk ve gözeneklilik oranları
 (Relative density and porosity ratios of the composites)



*Kompozitlerde kullanılan işlem görmemiş saf alüminyum matris tozlarından üretilen Al blok numune
 **Üç boyutlu turbula cihazında 1 saat harmanlama

Şekil 5. Sertlik sonuçları, (Hardness results)

Diğer yandan, yoğunluğun azalması ve gözenekliliğin artmasının mekanik özellikleri olumsuz etkilediği bilinmektedir. Ancak, MA süresinin artmasıyla kompozitlerin gözeneklilik değerleri kısmen artmış olsa da sertlik değerleri de artmıştır. Bu durum gözeneklerin çok küçük ve küresel şekilli olmasına bağlanabilir. Gözenek şekli düzensiz ise sinterlenmiş malzemelerin dayanımı düşeceğinden küresel gözenekler tercih edilmektedir. Bazı seramik malzemelerde gözeneklerin çok küçük olduğu durumda, gözeneklilik %45' lere kadar yükselse bile tam yoğun dayanıma yakın değerler elde edileceği belirtilmektedir [15].

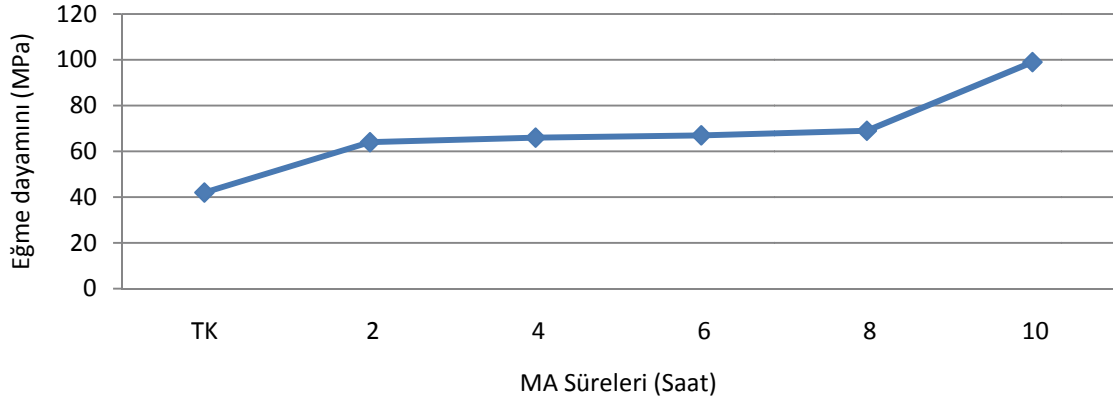
Saf alüminyumdan üretilen blok numunelerden yapılan eğme deneyi sonucunda beklendiği gibi herhangi bir kırılma olayı gerçekleşmemiştir (Şekil 6).

Şekil 7'de TRS sonuçları görülmektedir. MA yapılmış kompozit numunelerin eğme dayanımları, TK yapılmış kompozit numunelere göre daha yüksektir. MA sürelerinin 8 saate kadar artırılmasıyla TRS değerlerinde çok az artış olmuş ancak; bu süre 10 saate çıkarıldığında numunelerin, TRS değerleri TK yapılmış numunelere göre yaklaşık iki katı artmıştır. Bu durumun, artan MA süresiyle Al₂O₃ takviye

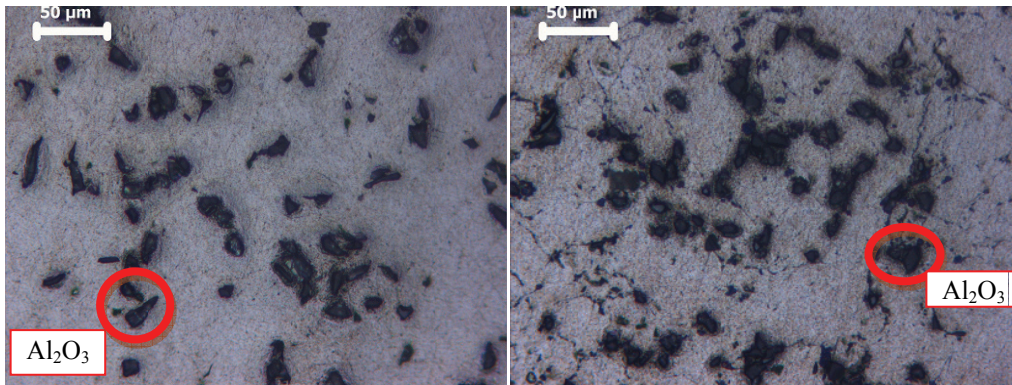
elemanlarının da küçülmüş olması (Şekil 8.c) ve alüminyum matris tozları içerisine gömülmesiyle birlikte daha homojen bir dağılım göstermesi sonucu ortaya çıkan dispersiyon sertleşmesinden kaynaklandığı sanılmaktadır.



Şekil 6. Üç nokta eğme deneyi uygulanmış Saf Al numune
(Pure Al sample applied to transverse rupture strength)



Şekil 7. Üç nokta eğme dayanım (TRS) değerleri
(Transverse rupture strength values)



(a) TK

(b) 2 saat MA

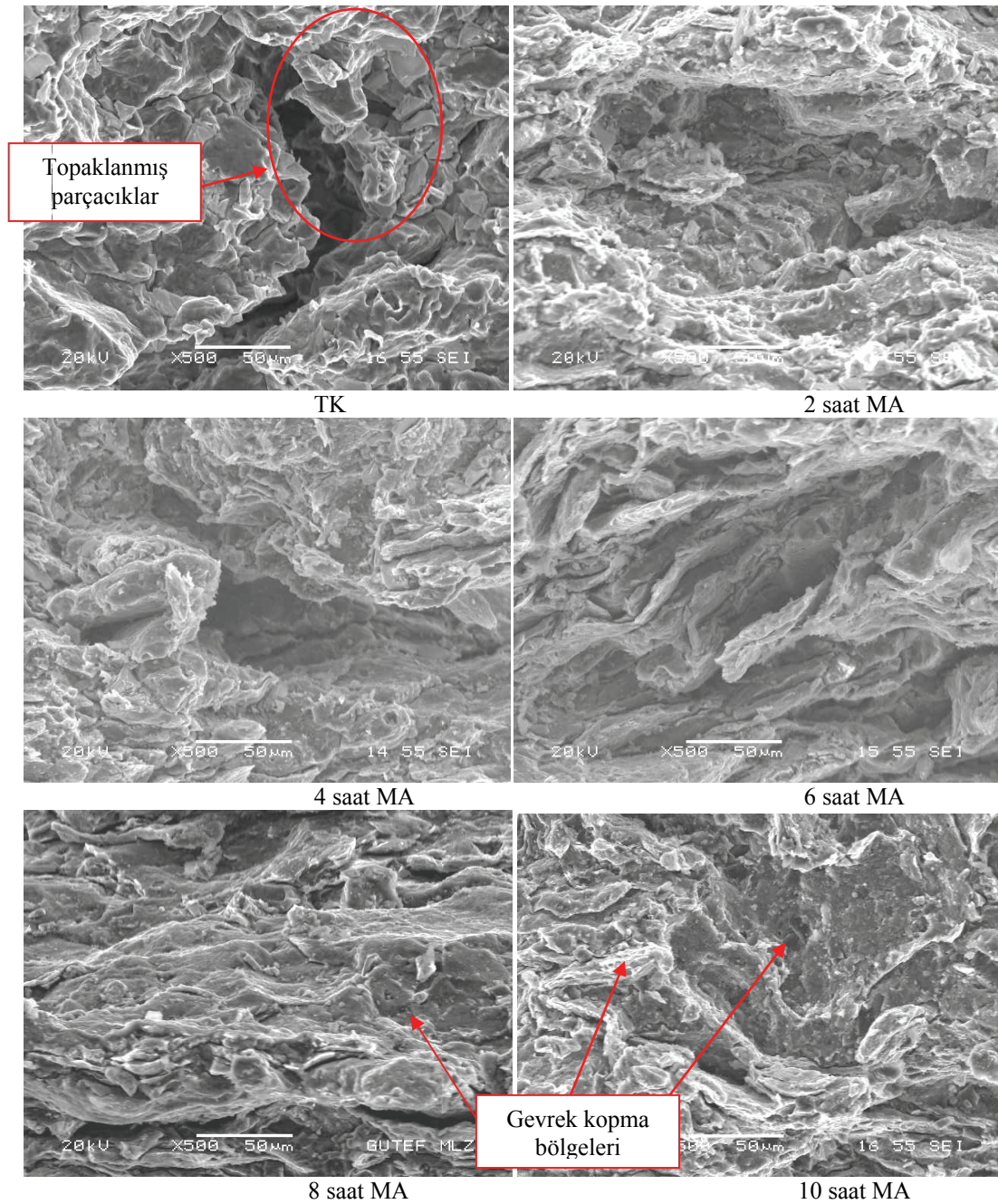
(c) 10 saat MA

MA ile parçalanarak boyutları küçülmüş ve homojen olarak kompozit numunenin her yerine dağılmış Al₂O₃ seramik takviye elemanları

Şekil 8. (a)TK, (b)2 saat MA ve (c)10 Saat MA uygulanmış kompozite ait optik mikroskop görüntüsü
(Optical micrograph of TM, 2-hours and 10-hours MA composites)

10 saat süreyle MA uygulanan numunelerde Al₂O₃ takviye parçacıklarının da kırılmış olduğu ve matris içerisinde homojen bir dağılım sergilediği Şekil 8-c'de verilen optik mikroskop resimlerinde görülmektedir. Bu durum TRS değerlerinin yükselmesinde etkili olmuştur. Bunun yanında, MA sırasında meydana gelen yüksek deformasyon sonucu tozlarda oluşan iç enerjinin artması ve parçacık boyutunun da küçülmesi de TRS değerinin artışında etkili olmuştur. Benzer çalışmalarda metal matrisli kompozit malzemelerde takviye seramik fazın ne kadar küçük boyutlu ve homojen dağılımlı olursa kompozitin mukavemet artışının da o kadar fazla

olacağı belirtilmiştir [12, 19, 20]. 8 saate kadar MA uygulanarak elde edilen kompozit numunelerin TRS değerleri az miktarda artış gösterirken, MA süresinin 10 saate çıkmasıyla TRS değerinde yüksek bir artış görülmüştür. Bu artışın sebebinin Şekil 8.c'de de görüldüğü gibi MA süresinin 10 saate çıkarılmasıyla kompozitlerde Al₂O₃ seramik takviye elemanlarının da küçük parçacıklara ayrılarak daha homojen bir dağılım göstermeleri olduğu düşünülmektedir. Benzer şekilde dispersiyon sertleşmesinde de; etkili mukavemetlenme için parçacıkların küçük, çok sayıda ve küresel olması gerektiği belirtilmektedir [21].



Şekil 9. Al + %10 Al₂O₃ kompozite ait kırık yüzey SEM resimleri
(SEM pictures of the ruptured surface of Al + %10 Al₂O₃ composite)

Alüminyuma ilave edilen seramik parçacıklar ile üretilen kompozit malzemelerin saf alüminyum numunelere oranla daha sert ve daha gevrek bir yapıda oldukları ve belirli bir basınç altında kırıldıkları belirlenmiştir. Şekil 9’da verilen kırık yüzey SEM resimlerinden TK ve 6 saate kadar MA numunelerinde genel olarak belirli bir miktarda plastik deformasyon sonucu oluşan sünek bir kırılma davranışının meydana geldiği anlaşılmaktadır. Fakat, 8 saat MA yapılmış numunelerde kısmen camsı ve plastik deformasyonun oluşmadığı gevrek kırılma bölgelerinin varlığı görülmekle birlikte MA süresinin 10 saate çıkarılmasıyla plastik deformasyonun oluşmadığı gevrek kırılma bölgelerinin fazlalığı dikkat çekmektedir. Diğer yandan, düşük TRS değerine sahip TK ve 6 saate kadar MA işlemi yapılmış numunelerde kırılma sonucu oluşan kopmalar yarılma şeklinde olmuştur. TK numunelerinde parçacık topaklanmaları oluşmuş ve bu bölgelerin kompozitlerde matris-takviye elemanı arasında zayıf bir ara yüzey bağı oluşturması sebebiyle kırılmalar genelde bu bölgelere yakın yerlerde gerçekleşmiştir. Çatlakların ilerlemesi ve takviye elemanının matristen kolayca ayrılması ara yüzey ayrılmasıyla ilişkilidir [7].

3. SONUÇLAR (CONCLUSION)

- TK işlemi ile parçacık boyutunda değişim olmazken 2 saat ve sonrası MA işlemlerinde MA süresi uzadıkça parçacık boyutları önemli ölçüde küçülmektedir.
- Sinterleme sonrası tüm numunelerin yoğunluk değeri artmıştır.
- TK numuneleri MA numunelerine oranla daha yoğun ve daha az gözeneklidir.
- MA süresinin artmasıyla sertlik değerleri artmıştır ve MA numuneleri her durumda TK numunesine göre daha serttir.
- MA numuneleri her durumda TK numunesine göre daha yüksek TRS değerine sahiptir. 8 saate kadar MA işlemlerinde değerler giderek artış göstermiş olsa da birbirine yakındır, ancak MA süresinin 10 saate çıkarılmasıyla TRS değeri önemli oranda artmıştır.
- SEM resimlerinde TK ve 6 saate kadar MA işlemlerinde sünek kırılma yüzeyi gözlenmişken, MA süresinin 8 saate çıkarılmasıyla numunenin kırılma yüzeyinde kısmen gevrek bölgelerin oluştuğu ve MA süresinin 10 saate çıkarılmasıyla gevrek kırılma bölgelerinin arttığı belirlenmiştir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Gazi Üniversitesi BAP Birimine 07/2010-58 nolu proje kapsamında yaptığı katkılardan dolayı teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Shorowordi, K.M., Laoui, T., Haseeb, A.S.M.A., Celis, J.P., Froyen, L., “Microstructure and interface characteristics of B₄C, SiC and Al₂O₃ reinforced Al matrix composites: a comparative study”, **Journal of Materials Processing Technology**, 142, 738–743, 2003.
2. Kok M. “Production and mechanical properties of Al₂O₃ particle-reinforced 2024 aluminum alloy composites”, **Journal of Materials Processing Technology**, 161, 381–387, 2005.
3. Kozack, M.J., Khatri, S.C., Alison, J.E., Baber, M.G., in: Suresh S., et al.(Eds.), “Fundamentals of MMCs”, **Butterworth-Heinemann**, Boston, MA, pp. 297–326, 1993.
4. Srivatsan, T.S., Ibrahim, I.A., Mohamed, F.A., Lavernia, E.J., “Processing techniques for particulate-reinforced aluminium metal matrix composites”, **Journal of Materials Science**, 26, 5965–5978, 1991.
5. Torralba JM, daCost CE, Velasco F. “P/M aluminum matrix composites: an overview”, **Journal of Mater Process Technology**, 133, 203–206, 2003.
6. Rahimian, M., Parvin, N., Ehsani, N., “The effect of production parameters on microstructure and wear resistance of powder metallurgy Al–Al₂O₃ composite” **Materials and Design**, 32, 1031–1038, 2011.
7. Şahin, Y., **Kompozit Malzemelere Giriş**, Gazi Kitabevi, Ankara, 43-55, 1999.
8. Karabulut, H., Çıtak, R., “Al matrisli ve SiC parçacık takviyeli kompozitlerin farklı mekanik alaşım sürelerinde üretilmesi ve karakterize edilmesi”, **6th International Advanced Technologies Symposium (IATS’11)**, Elazığ, 527-530, 16-18 Mayıs 2011.
9. Song, S.G., “Reinforcement shape effects on the fracture behavior and ductility of particulate-reinforced 6061 Al matrix composites”, **Metallurgical And Materials Transactions A**, 27A, 3307, 1996.
10. Türker, M., Özdemir, T., Ögel, B., ve Yavuz, A., “Al-SiC tozlarının mekanik alaşım süresinde öğütme zamanının kompozit toz yapısına etkisinin araştırılması”, **Uluslararası Katılımlı 2. Ulusal Toz Metalurjisi Konferansı**, Ankara, 425, 430, 1999.
11. Lee, W., Kwun, S. I., “The effects of process control agents on mechanical alloying mechanisms in the Ti–Al system”, **Journal of Alloys and Compounds**, 240: 193-199, South Korea, 1996.
12. Suryanarayana, C., “Mechanical alloying and milling”, **Progress in Materials Science**, 46: 1-184, 2001.
13. Arık, H., Türker, M., “Production and characterization of in situ Fe-Fe₃C composite produced by mechanical alloying”, **Materials & Design**, 28: 140-146, 2005.

14. Savaşkan, T., **Malzeme Bilgisi ve Muayenesi**, Akademi Ltd. Şti. Yayınları No: 15, Trabzon, 9-12, 2004.
15. Sarıtaş, S., Türker, M, Durlu, N, "Toz Metalurjisi ve Parçacıklı Malzeme İşlemleri", **Türk Toz Metalurjisi Yayınları**: 05, Ankara, 2-9, 15-34, 206, 237, 379-387, 404-410, 2007.
16. Karabulut, H., Çıtak, R., "Al matrisli ve Al₂O₃ parçacık takviyeli kompozitler için üretim yönteminin kompozit özelliklerine etkisi", **6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)**, Elazığ, 503-506, 16-18 Mayıs 2011.
17. Arık, H., "Production and characterization of in situ Al₄C₃ reinforced aluminum based composite produced by mechanical alloying technique", **Materials and Design**, 25, 1-4, 2004.
18. Aksöz, S., Özdemir, A.T., Bostan, B., "AA2014 Alüminyum alaşım tozlarının karbon ile sentezlenmesi ve özelliklerinin belirlenmesi", **Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University**, 27(1), 109-115, 2012.
19. Kayalı, E.S., Ensari, C., "Mukavemet Artırıcı İşlemler", **Metallere plastik şekil verme ilke ve uygulamaları**, İTÜ, 82-150, 1985.
20. Karabulut, H., **Toz metalurjisi yöntemiyle Al₂O₃, SiC ve B₄C takviyeli Al matrisli kompozit üretiminde mekanik alaşım süresinin kompozit özelliklerine etkisi**, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2011.
21. Erdoğan, M., **Malzeme Bilimi ve Mühendislik malzemeleri**, Nobel yayın dağıtım, Ankara, 204-207, 1998.

