

AA2014 ALÜMİNYUM ALAŞIM TOZLARININ KARBON İLE SENTEZLENMESİ VE ÖZELLİKLERİ'NİN BELİRLENMESİ

*Sinan AKSÖZ, A.Tamer ÖZDEMİR, Bülent BOSTAN

*Gazi Üniversitesi, Atatürk Meslek Yüksekokulu

Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalürji Malzeme Müh. Bölümü

sinanaksoz@gazi.edu.tr, tozdemir@gazi.edu.tr, bostan@gazi.edu.tr

(Geliş/Received: 28.02.2011; Kabul/Accepted: 12.01.2012)

ÖZET

AA2014 alaşım tozları gaz atomizasyon ünitesinde yüksek saflıktaki argon gazı ile 15 bar basınç altında üretilmiştir. Elde edilen tozlar daha sonra elek analizi ve parçacık boyut analiz cihazlarında ayrıştırılmıştır. Ortalama 95 µm boyutundaki alaşım tozları, karbon tozu ile harmanlandıktan sonra dikey Attritör'de Mekanik Alaşımlama (MA) işlemine tabi tutulmuşlardır. Kuru yağlayıcı olarak karbonun MA işlemine etkisinin yanı sıra, Al_4C_3 fazının oluşum süreci incelenmiştir. Ancak MA esnasında ve sonrasında Al_4C_3 tespit edilmemiştir. Dikey değirmende harmanlanmış kompozit toz yapısı, taramalı elektron mikroskobu (SEM), tane boyut analizi, element dağılım spektrometresi (EDS) ve XRD cihazlarında analiz edilmiştir. MA parametrelerinin parçacık boyutuna, tane yapısı üzerine, mikro sertlik değerlerine ve tanelerin son mikro yapılarına olan etkileri tespit edilmeye çalışılmıştır. MA süresindeki artışa bağlı olarak ortalama toz boyutunun 5 saate kadar küçülmediği ve toz sertlik değerlerindeki yükselmenin ise hızlı pekleşmenin neticesinde meydana geldiği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: AA2014 Alüminyum Alaşımı, Mekanik Alaşımlama, Metal Matris Kompozit.

ALLOYED AA2014 ALUMINIUM POWDERS SYNTHESIZED WITH CARBON AND DETERMINED PROPERTIES

ABSTRACT

Powders of AA2014 aluminum alloy, were manufactured by the technique of gas atomization, using highly purified argon gas with 15 bar pressure. The powders were then separated in groups and the size distribution of each batch was determined via a particle size analyzer devices. Thereafter, the aluminum powders of 95 µm in optimum size were first blended with graphite, and later were all mechanically alloyed (MA) in a high energy vertical attritor. Besides the lubrication effect of graphite on MA, formation of Al_4C_3 phase was analyzed. Nevertheless Al_4C_3 precipitate formation could not be detected during and after the process of MA. Composite powder mixes of after MA, were then systematically analyzed by Scanning Electron Microscopy (SEM), Energy Dispersive Spectroscopy (EDS) and XRD techniques, respectively. In return, effect MA parameters on particle size and morphology, microstructure and microhardness of the final alloyed powders were investigated. It was found that mean particle size was almost the same by the end of 5 hours of MA, and the gradual increase in hardness of the composite particles was found to be because of the strain hardening took place during the process of MA.

Key Words: AA2014Aluminium Alloy, Mechanical Alloying, Metal Matrix Composite.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Yapı malzemelerinin verimliliğini devamlı geliştirebilmek için malzeme bilimi ve mühendislik alanındaki çalışmalar duraksamadan devam etmektedir. Mekanik, kimyasal ve fiziksel özelliklerde elde edilen gelişmelerde, kimyasal, termal, mekanik ve termo-mekanik işlem metotları yaygın olarak

düzenlenip, yenilenmektedir. Bu yeni işlemler, malzemelerin tasarım ve gelişiminde "termal özelliklerini, dayanımını, sertliğini ve hafifliğini" artırmak ve geleneksel metotlarla üretilen malzemelerden daha üstün özelliklerde yeni malzemeler üretmek için kullanılmaktadır. Gelişmiş malzeme teknolojisi bu esasa dayanır [1]. Malzemelerin gelişimin ve özelliklerini artırmak veya

diğer metotlar ile üretilemeyen malzeme türlerini elde edebilmek için, yeni üretim metotlarından toz metalürjisi yöntemi, günümüz endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır[2]. İleri üretim yöntemleriyle üretilmiş Al alaşım tozlarından AA 2024 alüminyum alaşımında bakır, magnezyum, manganez bulunurken, diğer alaşım elementlerinden eser miktarda bulunmaktadır [3,4].

Üretilen tozların özelliklerini artırmak için mekanik yöntemler uygulanabilmektedir. Bu yöntemlerden Mekanik Alaşımlama (MA) deneysel çalışmalarında ve sanayide kullanılmaktadır. MA işlemi önce tozların doğru oranlarda karıştırılması ile başlar ve tozlar en uygun öğütme süresi belirlenerek öğütme haznesine bilyalarla (genellikle çelik bilyalar) birlikte yerleştirilir. Bu karışım daha sonra kararlı bir duruma ulaşana kadar uygun görülen sürede öğütülür. MA işlemindeki öğütme süreci kompozisyon içerisindeki toz parçacık boyutlarının eşitlenmesi veya başlangıçtaki toz boyutlarına ulaşılmasına kadar devam edilir [5,6]. MA sürecinde oluşan yüksek enerjili parçacıklar ve soğuk kaynaklanan toz partikülleri ilk karışım düzenini oluşturmaktadır. Tozların son mikro yapıları atomizasyon yöntemi ile elde edilen tozlardan ve aynı tane boyutuna sahip hızlı katılaşma işlemine tabi tutulmuş tanelerden genelde daha iyidir. Bunun yanında, toz parçacıklarının devamlı olarak bilyaların ve bilya hazne arasında çarpışmalar nedeniyle mikro yapısal gerilmeler artmakta, bu da mekanik özelliklerde iyileşme ve gelişime neden olmaktadır [6].

Toz metalürjisinde ve diğer ileri imalat yöntemlerinde, karbür ve diğer katı parçacık ilaveleri ile malzemelerin performansını artırmada önemli aşamalar kaydedilmiştir. Bilhassa, karbürler alüminyumda yaygın olarak kullanılmaktadır. Al_4C_3 ilavesi metal kompozit ve alaşımlarında mukavemetlenmeyi sağlamak ve arttırmaktadır (Al- Al_4C_3 , Al-SiC- Al_4C_3 , Al- Al_3Ti - Al_4C_3 , vb.) [7].

Yapı içerisinde oluşturulan veya dışarıdan takviye edilen parçacık ve diğer yeni yapıların tespitinde birçok yöntem kullanılmaktadır. Yapı içerisinde bulunan parçacık boyutunu, toparlanma mekanizması sürecinde mikro ve nanometre boyutundaki alüminyum oksit parçacıklarını, X-ışını kırınımı, geçirimli elektron mikroskobu (TEM), taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve X-ışını fotoelektron tarama metodu ile tespit edilebilir. X-ışını kırınım görüntüleri ile çeşitli alümina faz türlerinin (nano boyutlu alümina γ -, δ -, ϵ -, ve α - Al_2O_3) üretimi sürecinde, eş zamanlı olarak meydana geldiği tespit

edilmiştir. Buna bağlı olarak, alüminyumdan alüminaya geçişte daima bazı dinamik özellikler vermektedir (örneğin alüminanın sahip olduğu serbest aktif karbon atomlarının tepkimesi sonrasında bazı intermetalik yapıların üretilebilmesidir). Al_4C_3 mikron boyutundaki alümina üretiminde tespit edilebilmektedir. [8]. Bu bağlamda oluşan Al_4C_3 gibi parçacıkların tespitinin ve büyüme kinetiklerinin oldukça düşük olduğu söylenebilir [9].

Bu çalışmada gaz atomizasyon yöntemi ile üretilmiş AA2014 tozları kullanılmıştır. AA2014 ve C tozlarının MA ve sonrası işlemlerle meydana gelen mikro yapısal ve sertlik değişimleri incelenmiştir. MA sonrası yapıda karbür tespiti için XRD incelemeleri yapılmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL STUDY)

AA2014 tozları Gaz Atomizasyon Yöntemi ile yüksek saflıktaki argon gazıyla 15 bar basınç altında üretilen tozlardır. Üretilen AA2014 tozlarının özellikleri çizelge 1’de verilmiştir. MA esnasında alaşımlama sürecine etki eden hız, yağlayıcı, süre, sıcaklık gibi MA ‘da etkin rol oynayan parametrelerin etkileri tespit edilmeye çalışılmıştır. MA işlemi için yüksek enerjili dikey atritör kullanılmıştır. Atritör içerisinde yüksek saflıkta argon gazı geçirilerek toz tanelerin oksitlenmesi engellenmeye çalışılmıştır. Ön çalışmalar sonucunda 500 rpm ve 20:1 bilya toz oranının, alaşımlamanın verimliliği açısından en uygun seviye olduğu görülmüştür. Çalışmalar esnasında işlem süreçlerinin yapısal sonuçlara olan etkilerinin tespit edilebilmesi için, mikro yapı, mekanik özellik ve bunlarla ilgili çeşitli karakterizasyon işlemleri gerçekleştirilmiştir.

MA işlemine tabi tutulan tozların karakterizasyon çalışmalarında, sırasıyla: mikroskobik incelemeler, X-ışını analizleri ve toz boyut analiz yöntemi kullanılmıştır. Mikroskobik incelemeler, standart metalografik işlemler sonrası, Joel JSM-5600 model cihaz ile SEM görüntülemesi yapılmıştır. Yapı üzerinde oluşan oksitlenmeyi tespit edebilmek için SEM’da EDS analizleri yapılmıştır. MA’da kullanılan tozların boyutlandırılması Malvern Mastersizer E ver 1,2 b boyut analizi cihazı ile yapılmıştır. XRD incelemeleri Bruker Marka D8 Advanced Model cihazı ile başlık olarak Cukα kullanılarak, $\lambda=1,5406$ ve tarama hızı da $2^\circ/\text{min}$ ’da gerçekleştirilmiştir. Mekanik özelliklerin tespiti için, SHIMADZU Mikro Sertlik cihazında 100g yük kullanılarak mikro sertlik değerleri tespit edilmiştir.

Çizelge 1. AA2014 alaşımının kimyasal bileşimi (Chemical composition of AA2014 Alloy)

İÇERİK	Al	Cu	Si	Mn	Mg	Fe	Zn	Cr	Ti
% ORAN	93,5	4,06	0,6	0,57	0,56	0,47	0,106	0,03	0,01

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Öğütme hızının tespiti için ön çalışmalar yapılarak uygun hız olarak 500 rpm tespit edilmiştir. MA işleminin uygunluğunun incelenmesi için çalışmalar sonrasında atritör kolları ve hazne her seferinde temizlenerek kontrol edilmiş ve herhangi bir bozulma ve aşınma ile karşılaşmamıştır. Buna rağmen, MA sonrası yapılan oksit dağılım haritalaması çıkarıldığında, oksit oranının düşük seviyelerde olduğu tespit edilmiştir.

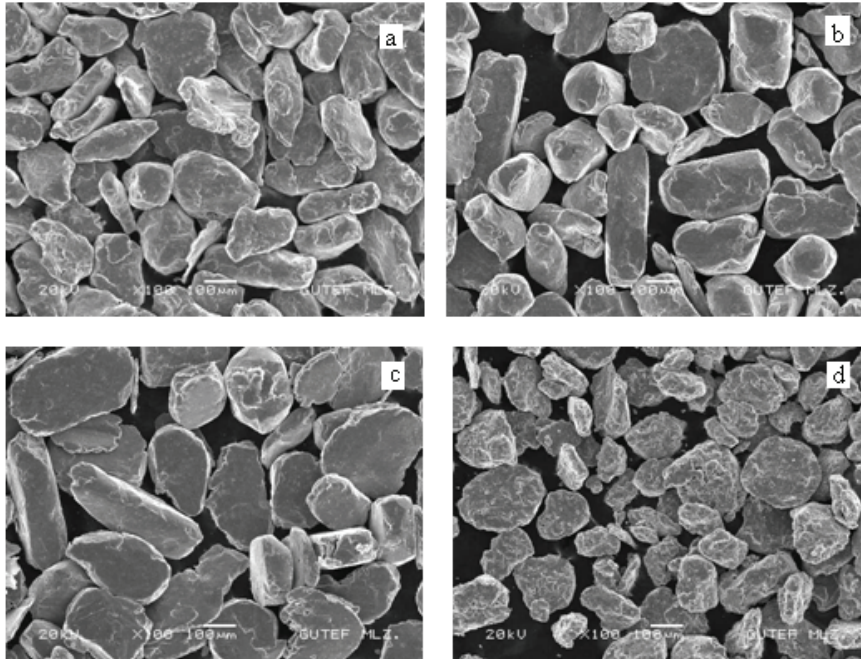
Daha önce saf Al ve C tozları ile yapılan bir MA çalışmasında, yağlayıcı olarak ek bir kimyasal kullanmadan alaşımlama gerçekleştirilmiştir [9,10]. Çinko stearat kullanmadan yapılan ön çalışmalarda, MA süresi olarak en fazla 2 saate kadar öğütme işlemi gerçekleştirilebilmiş, bu da öğütme için yeterli bir süre olarak görülmemiştir. Benzer şekilde, bu çalışmada başlangıç olarak MA işlemi için herhangi bir ek yağlayıcı kullanmadan AA2014 tozları karbon ile öğütülmeye çalışılmıştır. Burada, AA2014 tozlarına göre kullanılan karbon oranı sadece %2 dir. Amacı, karbür oluşturmanın yanında, yağlayıcı olarak da işlev gördüğünü tespit edebilmektir. Ancak, MA işlemi sırasında karbonun yağlayıcılık görevi yapmadığı, belli bir sürenin üzerinde, öğütmenin yetersiz olduğu, atritörün kitlendiği ve yağlayıcısız kaldığı için çalışmadığı gözlenmiştir. MA işleminde kullanılan tozlar, Gazi Üniversitesi 41/2009-04 nolu proje kapsamında, Düşey Gaz Atomizasyon ünitesinde üretilmiştir. Kullanılan AA2014 alaşımının

kimyasal bileşimi çizelge 1 de verilmiştir. MA işleminde kullanılan karbon ise % 99,9 saflıkta olup, 20 µm ile 180 µm boyut arlığına sahiptir.



Şekil 1. MA işleminde kullanılan işlem görmemiş tozlar (Raw powders that used in MA process)

Şekil 1'de görüldüğü gibi tozlar tipik gözyaşı damlası ve küremsi şekillere sahiptir. Şekil 2 a,b,c ve 2 d'de kimyasal katkı olmadan, sadece karbon kullanımı sonrası toz şekilleri görülmektedir. Yağlayıcısız yapılan öğütme işleminde, MA işlem parametrelerinde süreye bağlı olarak tanelerin tabaka ve daha sonrasında levha haline gelmesi, kırılması ve daha sonra birleşmesi gerçekleşmeden taneler sadece kırılıp sonra tekrar birleşmişlerdir. Bu süreci yağlayıcı etkisinin yetersizliğine ve deformasyon hızının yüksekliğine bağlayabiliriz.

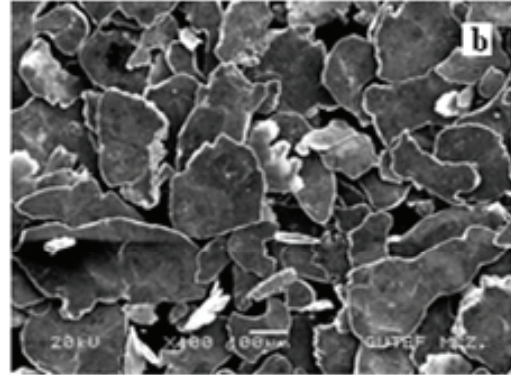
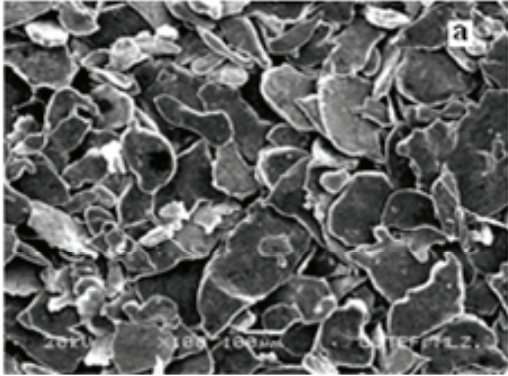


Şekil 2. Mekanik alaşımlanmış tozların morfolojisi (Morphologies of mechanical alloyed powders)

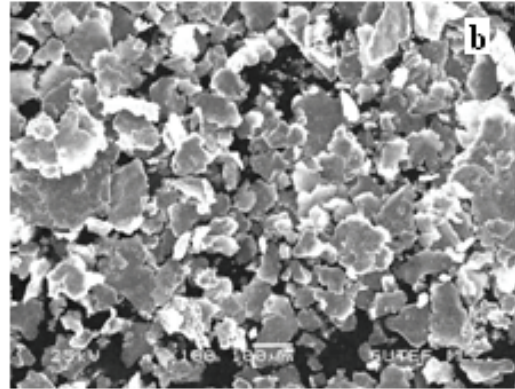
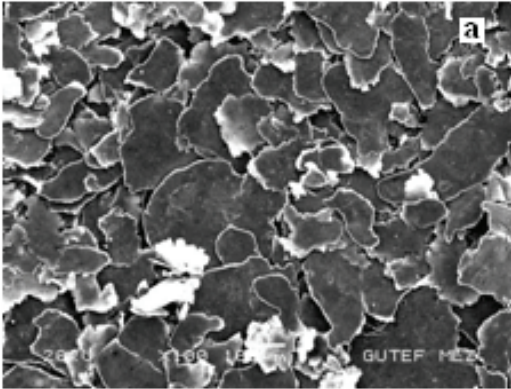
- 1 saat mekanik alaşımlanmış tozlar (Mechanical alloyed powders after 1 hour)
- 2 saat mekanik alaşımlanmış tozlar (Mechanical alloyed powders after 2 hours)
- 3 saat mekanik alaşımlanmış tozlar (Mechanical alloyed powders after 3 hours)
- 4 saat mekanik alaşımlanmış tozlar (Mechanical alloyed powders after 4 hours)

Şekil 2.a'da 1 saat MA sonrası görüntü incelendiğinde toz taneleri plaka şeklinde iken, MA süresinin artırılması ile yapıda kırılmalar (Şekil 2b ve 2c) sonrası birleşmeler (Şekil 2 d) meydana geldiği ve oluşması beklenen pulsu yapının ortaya çıkmadan yapıda kırılmalar ve kaynaklaşmanın olduğu gözlemlenmiştir. Yapılan detaylı incelemede, kırılmaların ve sonrası oluşan katmanların tabakalar halinde meydana gelmesi, beklenildiği gibi düzenli bir MA sürecinin tam olarak gerçekleşmediğini kanıtlamaktadır.

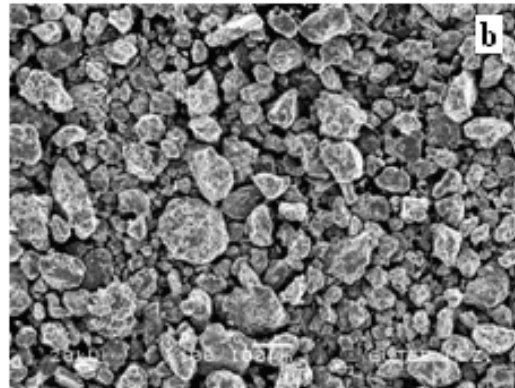
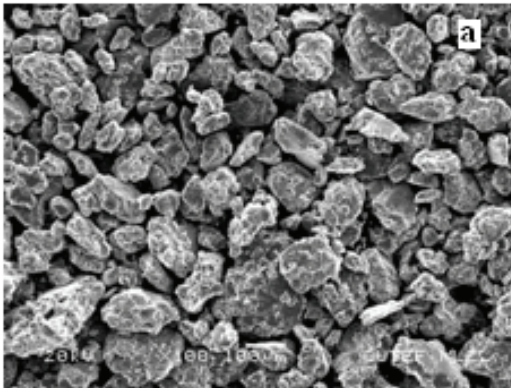
MA'da kullanılan alaşım değiştiği zaman, öğütme zamanının da değiştiği bilinmektedir. 6061 alaşımında yapılan çalışmalarda MA işlemi için uygun sürenin 70 saat olduğu bildirilmiştir [11]. Bu çalışmada ise en uygun işlem süresinin 7 saat olduğu görülmüştür. Aradaki süre farkı tamamıyla kullanılan işlem kontrol kimyasalı ve öğütme parametrelerinin değişik olmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 3. a) 1 saat mekanik alaşımlanmış tozlar (Mechanical alloyed powders after 1 hours)
b) 2 saat mekanik alaşımlanmış tozlar (Mechanical alloyed powders after 2 hours)



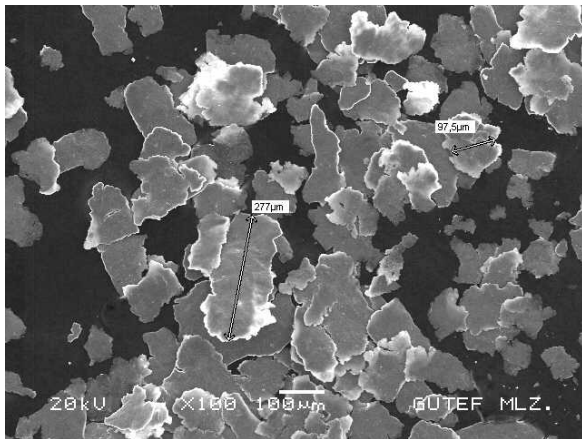
Şekil 4. a) 4 saat mekanik alaşımlanmış tozlar (Mechanical alloyed powders after 4 hours)
b) 6 saat mekanik alaşımlanmış tozlar (Mechanical alloyed powders after 6 hours)



Şekil 5. a) 7 saat mekanik alaşımlanmış tozlar (Mechanical alloyed powders after 7 hours)
b) 8 saat mekanik alaşımlanmış tozlar (Mechanical alloyed powders after 8 hours)

Karbonun MA esnasında yağlama yapamadığı için, yağlayıcı olarak çinko stearat kullanılmış ve böylece MA işlemi uzun sürelerle taşınabilmiştir. MA süresine bağlı olarak tozlar yassılaşılmaya başlamakta, 1 saat tamamlandığında tozlar yapraksı hale gelmektedir (Şekil 3 a). Sürenin artması ile birlikte ortalama toz boyutu da artmakta, tozlar ince ve yapraksı levhalara dönüşmektedir (Şekil 3b ve 4a, b). 4 saat sonra ise, tozların pekleşme sonrası kırılmaya başladığı tespit edilmiştir (Şekil 4a). 6 saatten itibaren, tozlar aşırı incelmış kısımlarından kopmaya başlamaktadırlar (Şekil 4b). Bu olay aynı zamanda MA süresinde giderek sona yaklaşıldığını da işaret etmektedir. 7 saatten itibaren kırılmış olan tozlar tekrar birleşme eğilimi göstermekte, ancak bu süresinin üzerine çıkılmak istendiğinde, yağlayıcı olarak kullanılan çinko stearat'ın da artık görevini yapmadığı ve sürtünmenin hızla arttığı tespit edilmiştir (Şekil 5a). Diğer yandan, öğütme haznesinin de, bu iç sürtünmelere bağlı olarak aşırı ısındığı tespit edilmiştir. Süreyi 8 saate çıkartma çabaları sonuç vermemiş (Şekil 5b) ve sonuçta MA işlemi için çıkılabilecek en uygun sürenin en fazla 7 saat olabileceği kararlaştırılmıştır (Şekil 5a).

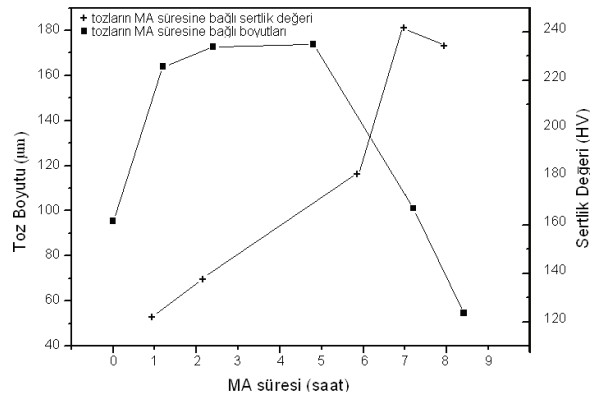
Şekil 6'da 6 saat MA sonrası tozların SEM görüntüsü ve bazı tozlardaki ölçümler görülmektedir. Şekil dikkatle incelendiğinde, tozların bazı bölgelerden kırılmaya başladığı fark edilebilmektedir. Buradaki tozların boylarının yaklaşık olarak 100 - 200 μm arasında değiştiği, yapılan ölçümler sonrası belirlenmiştir.



Şekil 6. 6 saat mekanik alaşımlanmış tozların boyutlandırması (Size distribution of the powders after 6 hours MA)

MA süresinin giderek artmasıyla, tozların pekleşmesi de artmaktadır. Bu olay, ortalama toz boyutunun küçülmesine neden olurken, presleyebilme kabiliyetini belli bir MA süresine kadar giderek güçleştirmektedir [12]. MA sırasında, deformasyona bağlı olarak dislokasyon hareketlerinin artması, pekleşmeyle beraber alternatif düzlemlerin miktarı azalmakta ve sonuç olarak tozların sıkıştırılabilme kabiliyeti giderek sınırlanmaktadır [13]. Şekil 7'de,

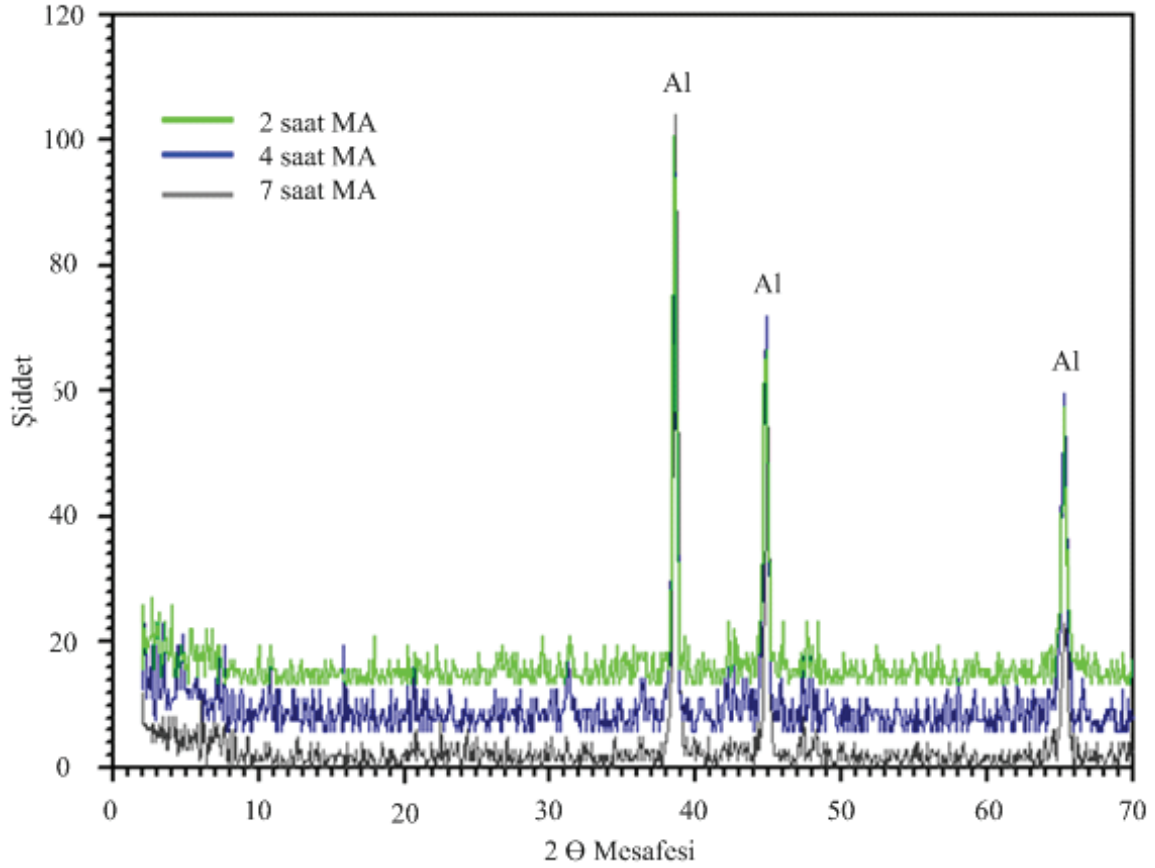
MA süresine bağlı olarak ortalama toz boyutunda ki değişimler ve buna bağlı olarak sertlik değişimleri incelenmiş, ortalama boyutun yaklaşık 5 saate kadar arttığı ve bundan sonra azalma yönünde değişim gösterdiği tespit edilmiştir. 5 saat MA sonrası toz boyutundaki bu düşüş, tozların kırılmak suretiyle ufalanmasından kaynaklanmaktadır. Özellikle, 5 saat sonra ortalama toz boyutunda ani bir düşüşe sebep olduğu söylenebilir. Şekil 7'de MA süresine bağlı olarak tozların sertlik değişimleri incelendiğinde, sürenin artmasına bağlı olarak, sertlikte doğru orantılı bir artış gerçekleşmektedir. Sertlikteki bu yükseliş, hızla artan pekleşmeden dolayıdır. Deformasyon üzerine yapılan bir çalışmada da [14], artan deformasyon oranının sonraki işlemleri (sinterleme ve yeniden kristalleşme oranını) artırıcı etki yaptığı bilinmektedir. Şekil 7'de, toz boyutu ile birlikte sertlikte de bir artış meydana gelmekte, 5'inci saatin sonunda yüksek sertlik değerlerine ulaşılmasıyla tozlarda kırılmalar ve ufalanmalar meydana gelmektedir. Bu da ortalama toz boyutunda düşüşlere neden olmaktadır.



Şekil 7. MA süresine bağlı olarak toz boyutunda ve sertlikte meydana gelen değişimler (Effects of MA on particle size and hardness values)

MA işlemine tabi tutulan tozların XRD analizleri yapıldığında, MA işleminin başlangıcında kırınımların düzensiz olduğu (2 ve 4 saat MA) ve sürenin artması ile birlikte (7 saat) kırınımların daha düzenli ve keskin hale geldiği tespit edilmiştir (Şekil8).

Şekil 8'deki pik şiddetleri incelendiğinde, en büyük kırınımların Al'ye ait olduğu görülmektedir. Detaylı inceleme sonrası ise beklenen Al_4C_3 oluşumu tespit edilememiş ve MA süresinin karbür oluşumuna bir etkisi olmadığı hükmüne varılmıştır. Yapılan benzer çalışmalarda [15] Al_4C_3 oluşumunu sağlayabilmek için sinterleme sonrası uzun süre yüksek sıcaklıklarda tavlama yapılması gerektiği ifade edilmektedir. Öte yandan, karbon miktarının artırılması ve MA süresinin, 100 saat gibi çok uzun sürelerle çıkarılması ve sonrasında yapılan sinterleme neticesinde Al_4C_3 oluşumuna rastlanılabilmektedir [16].



Şekil 8. 2-4-7 saat MA uygulanmış tozların XRD analizleri (XRD analyses of powders after 2, 4 and 7 hours of MA)

1 saatten 20 saate kadar yapılan MA işlemi sonrası XRD analiz sonuçlarında herhangi bir Al_4C_3 dönüşümüne rastlanılmamıştır. Benzer sonuçlar, diğer bazı çalışmalarda da görülmüştür [9,17,18]. Aynı şekilde bu çalışmada da, 7 saat MA sonrasında elde edilen harmanlanmış tozlarda hiçbir Al_4C_3 faz pikine rastlanılmamıştır.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND RECOMMENDATION)

1. AA2014 alaşım tozları gaz atomizasyon ünitesinde yüksek saflıktaki argon gazı ile 15 bar basınç altında üretilmiştir. Üretilen tozlar küremsi şekle sahip olup ortalama boyutu $90 \mu m$ 'dir.
2. MA süresinin artması ile birlikte 5 saate kadar tozlarda oluşan pulsulaşma ile birlikte toz boyutunda da bir artış gözlemlendiği ve daha uzun sürelerdeki MA işlemlerinde ise toz boyutunun küçülmeye başladığı tespit edilmiştir.
3. MA süresinin artması ile doğru orantılı olarak tozlara uygulanan deformasyon miktarı artmakta ve böylece de tozların sertliğinde de bir artış meydana gelmektedir.

4. Elde edilen tozlara uygulan XRD analizleri incelendiğinde, öğütme süresinin artmasının Al_4C_3 oluşumuna etken oluşturmadığı tespit edilmiştir.
5. Dikey atritörde, AA2014-C tozlarına, 500 rpm ve 20: 1 bilya toz oranının da 8 saate kadar MA işlemi uygulanabilmiştir.

Öneriler / Suggestions

- Farklı bir MA sisteminde işlem parametreleri değiştirilerek daha kısa sürelerde aynı toz boyutu elde edilebilir.
- İşlem kontrol kimyasal oranları değiştirilerek Al_4C_3 oluşumuna etkileri incelenebilir.
- Elde edilen MA tozlardan, sinterleme ve diğer toz metalürjisi yöntemleri kullanılarak üretilen numunelerin performansı incelenebilir.
- Sinterleme ve ikincil işlemlere bağlı olarak, Al_4C_3 oluşumu incelenebilir.

5. TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Yazarlar bu çalışmayı 41/2009-04 kodlu proje ile desteklediği için Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Proje Birimine teşekkür ederler.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Suryanarayana C., "Mechanical alloying and milling", **Progress in Materials Science**, 46: 1-184, 2001.
2. German R.M., editörler Sarıtaş S., Türker M., Durlu N., "Toz Metalurjisi ve Parçacıklı Malzeme İşlemleri", **Türk Toz Metalurjisi Derneği**, Ankara, 2007.
3. Kaçar H., Atik E., Meriç C., "The effect of precipitation-hardening conditions on wear behaviours at 2024 aluminium wrought alloy" **Progress in Materials Processing Technology**, 142: 762-766, 2003.
4. Akar,N., "The Effect Of Reheating Temperature On The Production Of Thixotropic Structure With Sima Process In AA2024 Alloy" **Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University**, 26(2):381-388, 2011.
5. Suryanarayana C., "Mechanical Alloying", **Pergamon Materials Series**, Volume 2 : 49-85, 1999.
6. Ruiz-Navas E.M., Fogagnolo J.B., Vlasco F., Ruiz-Prieto J.M., Froyen L., "One step production of aluminium matrix composite powders by mechanical alloying", **Progress in Composites**, 37:2114-2120, 2006.
7. Solozhenko V.L., Kurakevych O.O., "Equation of state of aluminum carbide Al_4C_3 ", **Progress in Solid State Communications**, 133: 385-388, 2005.
8. Yan Z.X., Deng J., Luo Z.M., "A comparison study of the agglomeration mechanism of nano- and micrometer aluminum particles", **Progress in Materials Characterization**, 1-8, 2009.
9. Bostan, B., Özdemir A.T. and Kalkanlı A., "Microstructure characteristics in Al-C system after mechanical alloying and high temperature treatment", **Powder Metallurgy**, Vol 47., No:1, 2004.
10. Bostan,B., "Examination of Al_4C_3 Formation After Mechanically Alloying and Extrusion", **Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University**, 23(2):343-348, 2008.
11. Son H.T., Kim T.S., Suryanarayana C., Chun B.S., "Homogeneous dispersion of graphite in 6061 aluminum alloy by ball milling", **Progress in Materials Science & Engineering**, A348:163-169, 2003.
12. Türker, M., Özdemir, A.T., Ögel. B. ve Yavuz, A., "Al-SiC tozlarının mekanik alaşımlama değeriminde öğütme zamanın kompozit toz yapısına etkisinin araştırılması", **2.Ulusal Toz Metalurjisi Konferansı**, 425-431, 15-17 Eylül, ODTÜ, Ankara, 1999.
13. German R.M., "Particle packing characteristics", MPIF, New Jersey, 1989.
14. Bostan,B., Özdemir A.T., "Recrystallization Kinetic of Fe-5.23%V and Fe-15%V Alloys", **Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University**, Vol 18, No 1, 101-108, 2003.
15. Arslan G., Kara F., Turan S., "Quantitative X-ray diffraction analysis of reactive infiltrated boron carbide–aluminium composites" **Journal of the European Ceramic Society** 23:1243–1255, 2003.
16. Wu, N. Q., Wu, J. M., Wang, G.X., and Li, Z. Z., "Amorphozation in the Al-C system by mechanical alloying", **J. of All. and Comp.** 260: 121-126, 1997.
17. Besterci, M., "Preperation Microstructure and Properties of Al- Al_4C_3 System Produced by Mechanical Alloying", **Materials and Design**, 27:416-421, 2006.
18. Zhou, Y., Li Z.Q., "Structural Characterization of a Mechanical Alloyed Al-C Mixture", **J. of All. and Comp.**, 414:107-122, 2006.

