

# T/M İLE ÜRETİLMİŞ AA2014- $Al_4C_3$ KOMPOZİT MALZEMELERİN YAŞLANDIRILMASI ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA

Elif ARSLAN ATEŞ<sup>1</sup>, Ahmet GÜRAL<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Teknikokullar, Ankara

<sup>2</sup>Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Ankara

[eliffarslann@gmail.com](mailto:eliffarslann@gmail.com), [agural@gazi.edu.tr](mailto:agural@gazi.edu.tr)

(Geliş/Received: 27.08.2014; Kabul/Accepted: 31.07.2015)

## ÖZET

Bu çalışma için AA2014 alaşımı tozlarına % (ağırlıkça) 0-4  $Al_4C_3$  parçacıkları ilave edilmiş ve 200 °C’ de 660 MPa basınç altında preslenmiştir. Sıkıştırılmış toz paletler, 580 °C’ de 60 dakika sürede Ar gazı atmosferi altında sinterlenmiştir. Sinterlenen numuneler, 510 °C’ de 420 dakika sürede çözündürülmüş ve sonra aşırı doymuş çözelti sağlamak amacıyla suda su verilmiştir. 190 °C’ de optimum yaşlanma zamanını belirlemek amacıyla farklı sürelerde yaşlandırma işlemi uygulanmıştır. Isıl işlemler sonrasında taramalı elektron mikroskobu görüntüsü, makro ve mikrosertlik çalışmaları ile yaşlandırma şartlarının belirlenmesi hedeflenmiştir. Numunelerin ortalama yaşlandırma süresi 400-450 dakika olarak bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** AA2014 alaşımı, toz metalurjisi,  $Al_4C_3$ , yaşlandırma

## A STUDY ON AGEING OF AA2014- $Al_4C_3$ COMPOSITE MATERIALS PRODUCED BY P/M

### ABSTRACT

For this study, 0-4 % (in wt.)  $Al_4C_3$  particles were added to AA2014 powders and pressed under 660 MPa pressure at 200 °C. Compacted powder pellets were sintered at 580 °C under Argon gas atmosphere for 60 minutes. The sintered specimens were solved at 510 °C for 420 minutes and quenched to obtain a supersaturated solution. In order to determine the optimum ageing time at 190 °C, the ageing process was applied at different times. After heat treatments, it was aimed to find out the ageing conditions with the help of scanning electron microscopy images and macro- and micro-hardness studies. It was found that the average ageing time for the specimens was 400-450 minutes.

**Keywords:** AA2014 alloy, powder metallurgy,  $Al_4C_3$ , ageing

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

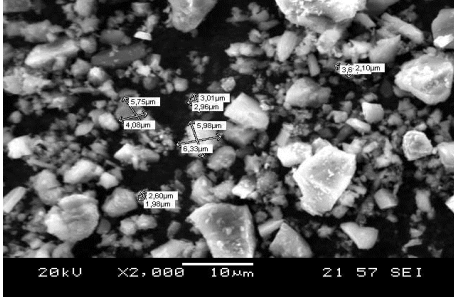
Malzeme sarfının az olması, seri üretiminde kolaylık sağlaması, nihai ürün malzemenin son şekline yakın üretimi ve metal esaslı kompozit (MEK) malzemenin üretiminde toz metalurjisi ile üretim yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır [1, 2]. Çoğu mekanik ve korozyon özelliklerinin yüksekliği, yoğunluklarının düşük olması, alüminyum alaşımlarını özellikle havacılık, savunma ve otomotiv gibi endüstride en fazla tercih edilen malzeme konumuna getirmiştir [3, 4]. Alüminyum alaşımlarının mekanik özelliklerinin geliştirilmesinde yaygın olarak seramik ve diğer katı parçacık takviyeleri veya yaşlandırma ısıl işlemi uygulaması yapılmaktadır [5-8]. Bu güne kadar Al alaşımlarını güçlendirmek için uygulanan bu iki

yöntem ile ilgili, özellikle toz metalurjisi ile üretilen malzemeler üzerine çok yaygın çalışmalar yapılmamıştır. Bu çalışmadaki esas amaç; yaşlandırılabilir bileşime uygun olan AA2014 tozuna takviye elemanı olarak seçilen  $Al_4C_3$  parçacıklarının farklı oranlarda ilavesinin yaşlandırılabilir özelliklerine etkisinin incelenmesidir.

### 2. MALZEME VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHODS)

Bu çalışmada kullanılan AA2014 alüminyum alaşım tozları düşey gaz atomizasyonu ünitesinde üretilmiştir. Elde edilen tozlar elek analizi ile boyutlandırılmış ve ortalama 50µm boyuna sahip tozlar kullanılmıştır. Toz olarak üretilen AA2014’e

ayrı ayrı ağırlıkça % 0-1-2-4 oranlarında Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> tozu ilave edilmiş ve homojen olarak karıştırılmıştır. Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> tozuna ait SEM görüntüsü Şekil 1’ de gösterilmiştir.



Şekil 1. Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> tozuna ait SEM görüntüsü (SEM images of Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> powders)

Karışım yapılmış tozlar, bir kalıp içinde 200 °C sıcaklıkta 660 MPa basınçta preslenerek Şekil 2’ de gösterildiği gibi 23 mm yüksekliğinde 3 mm derinliğinde ham kompozit numuneleri üretilmiştir. Sıcak presleme ile üretilen numunelere, Saf Argon gazı atmosferi altında 580 °C sıcaklıkta 60 dakika süre ile sinterleme işlemi uygulanmış ve malzemede ki gözenek miktarı azalarak taneler arasındaki birleşim sağlanmıştır [9, 10].



Şekil 2. T/M yöntemi ile üretilen numune (Specimen produced by P/M)

Sinterlenmiş numunelere daha sonra yaşlandırma ısı işlemleri uygulanmıştır. Bunun için numunelere önce 510 °C’ de 420 dakika çözündürme işlemi yapılmış ve ardından aşırı doymuş katı çözelti üretmek için su verilmiştir. Daha sonra numunelere 190 °C sıcaklıktaki optimum yaşlandırma zamanını belirlemek amacıyla farklı sürelerde yaşlandırma işlemleri uygulanmıştır. Numunelerde hem çözündürme hem de yaşlandırma işlemleri sırasında

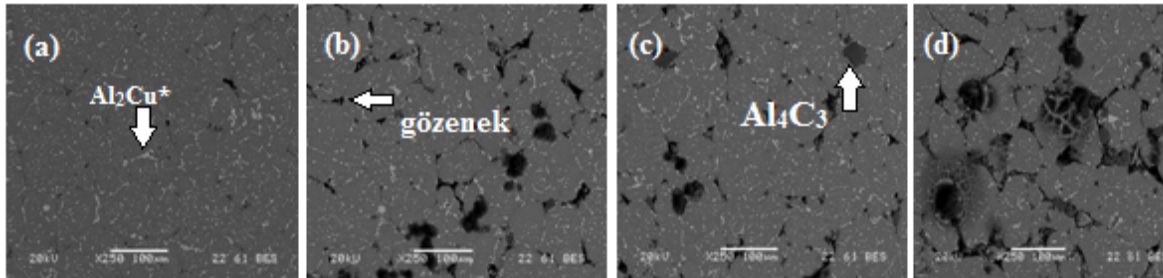
belirli aralıklarda tavlama süreleri su verilerek durdurulup mikroyapısal değişimleri takip etmek amacıyla zımparalanmış, parlatılmış ve Keller’s solüsyonunda 5 sn süre ile dağlanmış. Dağlandıktan sonraki mikro değişimler Jeol JSM 6030 LV Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile takip edilmiştir. Aynı zamanda mikro oluşumların kimyasal bileşimleri EDS analizleri ile belirlenmiştir. Yaşlandırma sıcaklığında farklı sürelerde numunelerin sertliklerinin belirlenmesi için 100 g yük uygulanarak Vickers (HV0,1) değerleri Shimadzu HMV2 mikro sertlik cihazıyla belirlenmiştir.

### 3. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA (EXPERIMENTAL RESULTS AND DISCUSSION)

#### 3.1 Mikroyapı (Microstructure)

200 °C sıcaklıkta pres yapılarak üretilen numunelere, 60 dakika süre ile 580 °C’ de sinterleme işlemi uygulanmıştır. Farklı oranlarda Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> içeren numunelerin mikroyapı incelemeleri yapılmıştır. Şekil 3’ de karşılaştırma amacıyla seçilen numunelerin sinterleme sonrası SEM mikro yapıları verilmiştir. Şekil 3’ de tozlar arasındaki gözeneklerde meydana gelen yuvarlaklaşma ve ufalma olayı ile sinterleme ısı işlemi sonrasında deney numunelerinde toz tanelerinin boyun temas noktalarında artış görülmektedir [11, 12]. Sıcak presleme ile üretilen numunelerde Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> takviye miktarının artması ile bu durumun tane sınırlarını daha belirgin hale getirdiği görülmüştür [13]. Şekil 3 (d)’ deki %4 Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> takviyeli numunenin mikroyapı görüntüsü ile tane sınırlarının en belirgin numune olduğu anlaşılmaktadır. Daha fazla miktardaki takviye elemanın kabul edilebilirliği noktasında Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub>’ ün uygun olmadığı görülmektedir. Sinterleme ısı işleminin ardından mikroyapı fotoğrafları incelendiğinde (Şekil 3), Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> takviye malzeme oranı arttıkça gözenek oluşumlarının artışı görülmektedir.

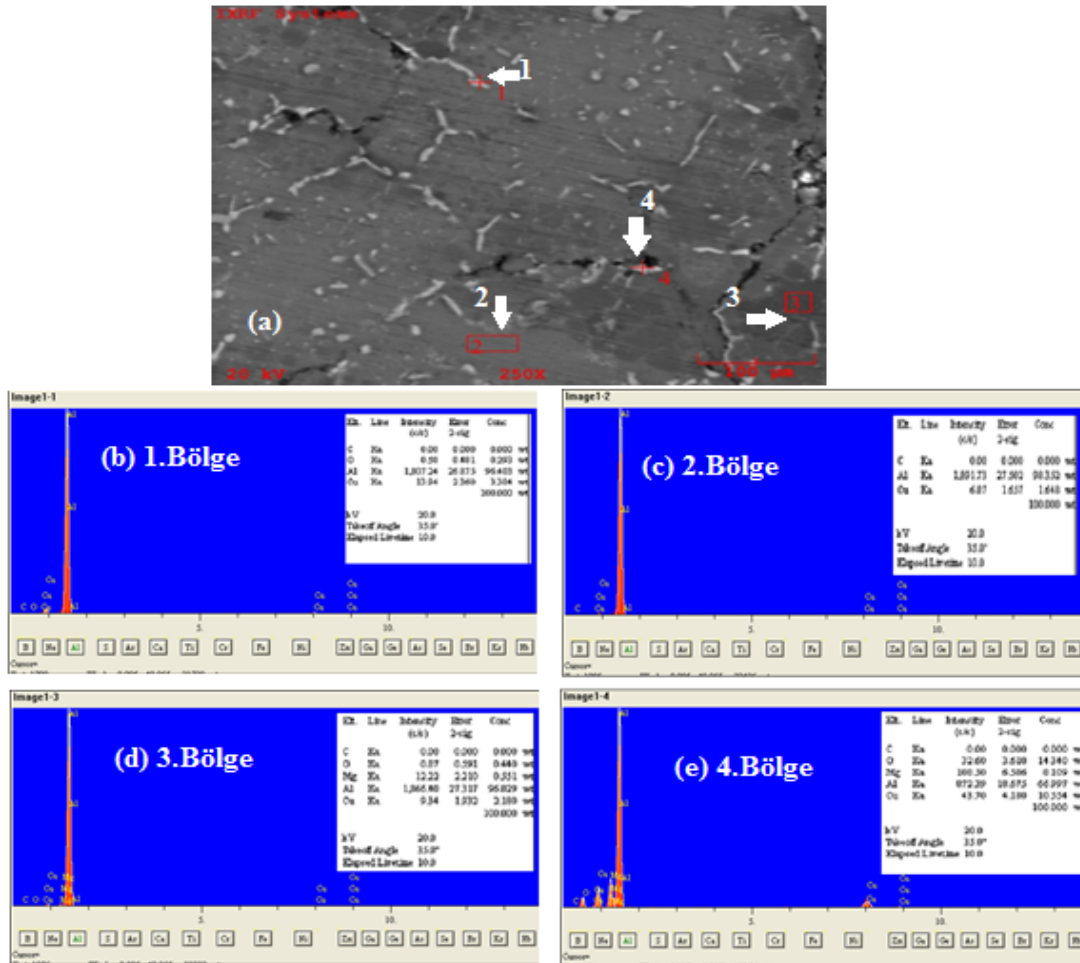
Yine takviye malzeme artışı ile beraber yapıdaki çökeltiler miktar olarak azalmış ve boyutlarında küçülmeler görülmüştür. Miktarı azalan ve tane sınırlarında bulunan bu dengesel çökeltilerin zararlı etkisi de azalmış ve kimyasal bileşimin homojen dağılması ile matris yapıda olumlu sonuç vermiştir.



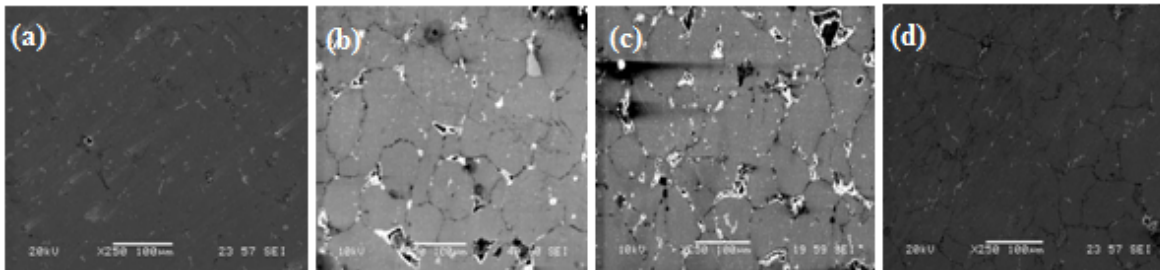
Şekil 3. 580 °C’ de 60 dakika süre sinterlenmiş numunelerin SEM mikroyapıları (a) Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> ilavesiz, (b) %1 Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> ilaveli, (c) %2 Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> ilaveli, (d) %4 Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> ilaveli (SEM microstructures of the sintered specimens at 580 °C for 60 minutes) (a) without Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub>, (b) with 1 % Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub>, (c) with 2 % Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub>, (d) with 4 % Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub>)

Takviye malzemenin artışı konusunda gözenek miktarında da yoğunluk görülmüştür. Bu durumda mekanik performansta zayıflama olduğu söylenebilir. Sinterleme sonrası numunelerde beyaz renkli görülen çökeltilerin yoğunluğundan bahsedilebilir. Bu beyaz renkli alanların yapılan EDS analizlerine göre Al<sub>2</sub>Cu çökeltileri olduğu tahmin edilmektedir [13]. Resimlerde görüldüğü gibi homojen dağılımlı yapının oluşma nedeni, sinterleme sıcaklığının yüksek olmasıdır. Şekil 4’te sinterleme ısıl işlemi sonrası %4 Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> takviyeli numunenin EDS analizi verilmiştir. Bu EDS analizine göre, matris yapı üzerinden alınan 1 numaralı beyaz renkli bölgede Al yoğunluğu

yüksektir ve içeriğindeki Cu miktarı ile de CuAl<sub>2</sub> intermetalığının varlığı söz konusudur. Yine matris yapı üzerinden alınan 2 ve 3 numaralı bölgeler Al miktarı bakımından oldukça zengindir ve her iki bölgede de C miktarı bulunmamaktadır. Bu durumda Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> tozlarının matris yapı içindeki dağılımlarının tamamen gerçekleşmediğinden bahsedilebilir. Taneler arasındaki 4 numaralı beyaz renkli bölgede Al miktarı fazladır ve aynı zamanda C ile Cu elementleri de % 10’ un üzerindedir. Cu elementinin %4’ ün üzerinde olması ile 4 numaralı bölgede sinterleme sonrası Al<sub>2</sub>Cu yapısı meydana gelmiştir. Yaşlandırma öncesinde homojen dağılımlı çökeltilere sahip olan



Şekil 4. Sinterlenmiş %4 Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> ilaveli numunenin EDS analizi (EDS analysis of the sintered specimen with 4% Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub>)



Şekil 5. 420 dakika çözündürme ısıl işlemi yapılmış numunelerin SEM mikroyapıları (a) Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> ilavesi yapılmamış, (b) %1 Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> ilave yapılmış (c) %2 Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> ilave yapılmış, (d) %4 Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> ilave yapılmış (SEM microstructures of solution heat treated for 420 minutes) (a) without Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub>, (b) with 1 % Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub>, (c) with 2 % Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub>, (d) with 4 % Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub>)

numunelere, 510 °C’ de 420 dakikalık uzun bir çözündürme süresi uygulanmış ve sonra suda su verilmiştir. Mikroyapıdaki çökelti durumları ile numunelerdeki sertlik değerleri çözündürme zamanını belirlemiştir. Bu zamanın belirlenmesi sırasında Şekil 3’ deki Cu-Al intermetalik çökeltilerin varlığı 420 dakikalık çözündürme ile yok derecesinde azalmıştır (Şekil 5). Dolayısı ile 420 dakika, çözündürmenin tamamlanması için ideal süre konumundadır. Sonuçta, Şekil 5’ te verilen Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> takviyeli ve takviyesiz numunelerin hepsinde de çökeltiler çözündürme ısıl işlemi ile azalmış, tane sınırları belirginleşip, boşluklu yapılarda kısmen artış gözlenmiştir. Tane sınırlarının fark edilir hale gelmesi noktasında, takviyeli numunelerdeki belirginlik takviyesiz numuneye göre daha iyi görülmektedir. Bu durumda Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub>’ ün yapıdaki etkisi anlaşılmaktadır. %1 ve %2 Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> içeren numunelerde gözenek miktarı daha yoğundur. Çözündürme işleminden sonra numunelere yaşlandırma işlemleri 190 °C’ de 60-720 dakika aralıklardaki sürelerde suni olarak yapılmış ve mikroyapı değişimleri incelenmiştir. Yaşlandırma işleminde numunelerin hem mikroyapı hem de sertlikleri belirlenerek ideal yaşlandırma süresi tespit edilmiştir. Sıcak preslenerek üretilen bu numunelerin ideal yaşlandırma süresi yaklaşık 450 dakika (7,5 saat) olarak belirlenmiştir ve bu sürede elde edilen numunelerin SEM mikroyapıları Şekil 6’ da verilmiştir. Yaşlandırma sonrası Şekil 6(a)’ da Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> ilavesi yapılmamış numunede mevcut gözeneklerin varlığı dikkat çekmektedir ve bu gözenekler toz tane sınırları boyunca yer almaktadır. Yaşlandırma işlemi sonrası numunelerdeki tane sınırları diğer ısıl işlem görmüş numunelere göre çok belirgin değildir. Yani bu numunelerin toz tane sınırlarının difüzyonla daha da iyi bağ yaptığı ifade edilebilir. Takviye malzemenin önemi bu tane sınırlarının oluşumunda kendini göstermektedir. Şekil 6(b)’ de 450 dakika yaşlandırma işlemi sonrası %1 Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> takviyeli malzemenin SEM görüntüsünde gözenek miktarları takviyesiz numuneye göre azalmıştır. Şekil 6(d)’ de ise 450 dakika yaşlandırma işlemi sonrası %4 Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> takviyeli malzemenin SEM görüntülerinde çatlak oluşumlarına ve boşluklara neden olan Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub>’ lerin

yapı içindeki halleri görülmektedir. Bu durumda ulaşılan sonuç, Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> oranının artışıyla Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub>/matris arayüzeyinde belirgin ayrışmaların olduğu ve Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> miktarının artması ile AA2014 alaşımında ve bu çalışmada kullanılan parametrelerin metalurjik yapı bakımından olumsuzluğudur.

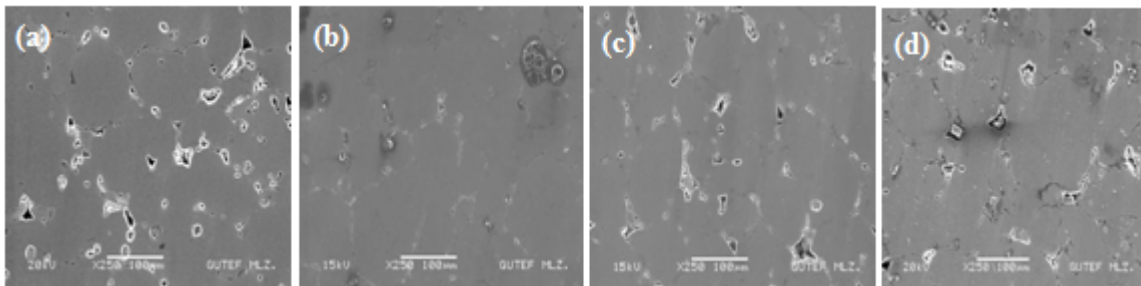
### 3.2 Yaşlandırma Süresine Bağlı Sertlik Gelişimi (Hardness Development Due To The Ageing Time)

Her bir ısıl işlem sonrasında, elde edilen deney ürünlerinin sertlik kontrolleri yapılmıştır. Sertlikler numune üzerindeki boşluk ve gözenek olmayan bölgeler üzerinden ölçülmüştür. Tablo 1’ de görüldüğü üzere yaşlandırma sonrası ölçülen sertlik değerleri diğer ısıl işlemler sonrasında alınan ölçümlere göre daha yüksek seviyelerdedir. Ayrıca %4 Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> içerikli çözündürme ve yaşlandırma numunelerinde diğer takviye oranlarına göre sertlik değerlerinde azalma görülmekte iken en yüksek sertlik ölçümüne %2 Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> takviyeli numunede ulaşılmıştır. Takviye oranının artışı ile yapıda mekanik zayıflama söz konusudur.

**Tablo 1.** Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> oranına bağlı olarak numunelerin mikro sertlik (HV0,1) değerleri (The micro hardness values (HV0,1) of specimens depending on Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> fraction)

| İşlem       | Ağırlıkça % Al <sub>4</sub> C <sub>3</sub> oranı |     |     |     |
|-------------|--|-----|-----|-----|
|             | 0  | 1   | 2   | 4   |
| Sinterleme  | 48   | 68  | 66  | 67  |
| Çözündürme  | 92   | 127 | 131 | 89  |
| Yaşlandırma | 134  | 146 | 155 | 133 |

Tanelerin sertlik ölçümleri mikro sertlik ile yapıldıktan sonra birkaç tanenin de sertliği makro ölçüm ile belirlenmiş ve yapı hakkında genel sonuç alınmaya çalışılmıştır. Tablo 2’ de makro sertlik (HV2) değerleri verilmiştir. Yaşlandırma sonrası elde edilen makro sertlik ölçümü tablosunda %4 Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> içerikli numunenin sertlik değerinde azalma görülmektedir. Bunun muhtemel nedeni ilave edilen Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> oranının artışıyla mikroyapıda boşluklanmanın artmasından kaynaklanmaktadır.



**Şekil 6.** 190 °C’ de 450 dakika yaşlandırılmış numunelerin SEM mikroyapıları (a) Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> ilavesi yapılmamış numune, (b) %1 Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> ilave yapılmış numune, (c) %2 Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> ilave yapılmış numune, (d) %4 Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> ilave yapılmış numune (SEM microstructures of aged specimens at 190 °C for 450 minutes) (a) without Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub>, (b) with 1 % Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub>, (c) with 2 % Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub>, (d) with 4 % Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub>)

**Tablo 2.** Yaşlandırma ısıl işlemi sonrası Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> oranına bağlı olarak numunelerin makro sertlik (HV2) değerleri (After ageing heat treatment, macro hardness values of the specimens depending on Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> ratio)

| Al <sub>4</sub> C <sub>3</sub> oranı | Ağırlıkça % Al <sub>4</sub> C <sub>3</sub> oranı |     |     |     |
|--------------------------------------|--|-----|-----|-----|
|                                      | % 0  | % 1 | % 2 | % 4 |
| Yaşlandırma işlemi sonrası           | 104  | 128 | 131 | 116 |

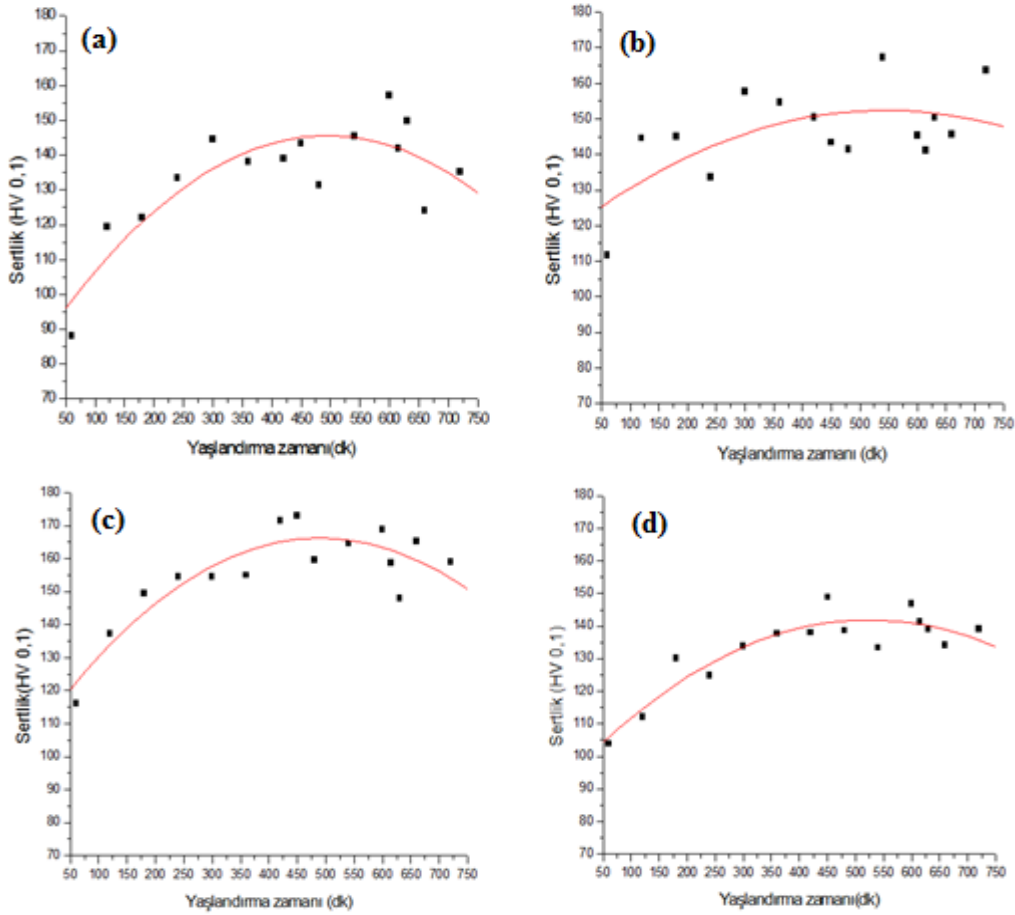
Tablo1’ de verilen yaşlandırma işlemi sonucu ulaşılan mikro sertlik değerlerinin ayrıntısı Tablo 3’ te görüldüğü gibidir. Bu tabloda sıcak presleme ile üretimi yapılan ve 60-720 dakika zaman aralığında yaşlandırılan takviyesiz ve Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> takviyeli numunelerin sertlik değerleri verilmiştir. Bu değerlerin grafikleri ise Şekil 7’ de sunulmuştur. 60, 120, 180, 240, 300, 360, 420, 450, 480, 540, 600, 615, 630, 660 ve 720 dakika aralıklarında yaşlandırma ısıl işlemi gerçekleştirilmiştir. Her bir süre sonunda, deney sonuçlarının güvenilirliği bakımından numunenin orta bölgesinden en az 10’ ar adet mikro sertlik ölçümleri yapılmış ve ilerleyen süreye bağlı olarak ideal yaşlandırma zamanı belirlenmeye

çalışılmıştır. Böylece ölçümler sonrası ortalamaları alınarak ulaşılan sertlik değerleri Tablo 3’ de oluşturulmuştur. Bu çalışma sonunda; takviyesiz numune 600 dakika, ağırlıkça % 1 Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> içerikli numune 540 dakika, ağırlıkça % 2 Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> içerikli numune 450 dakika, ağırlıkça % 4 Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> içerikli numune 450 dakika sonunda en yüksek mikro sertlik değerine ulaştığı görülmüştür (Tablo 3). Takviyesiz numunenin sertlik değerinde zirveye ulaşması diğerlerine göre daha sonra gerçekleşmiştir. Belirli aralıklardaki yaşlandırma sıcaklıklarından su verilerek yaşlandırması kesintiye uğratılan numunenin, oda sıcaklığında HV0,1 mikro sertlikleri belirlenerek oluşturulan Tablo 3’ deki sonuçlarına göre, Şekil 7’ deki yaşlandırma zamanı-sertlik grafikleri elde edilmiştir. Numunelerin yaşlandırma süreleri artarken, sertlik eğimlerinde önce artış sonra da azalma davranışları Şekil 7’ de görüldüğü gibidir.

Aşırı yaşlanma ve GP zonlarının kısmi olarak çözünmesi [14] sertlik eğimindeki düşmeyi açıklamaktadır. Grafiğin eğimi tepe noktasında iken yaşlandırma işlemi tamamlanmıştır ve yine eğimin düşmeye başladığı zamandan itibaren ise sertlik azalmakla beraber ideal yaşlanma sona ermiştir.

**Tablo 3.** Farklı yaşlandırma sürelerine göre numunelerin ortalama sertlik değerleri (Hardness values of the specimens according to ageing times)

| Yaşlandırma için seçilen süre (dk) | Al <sub>4</sub> C <sub>3</sub> oranı (ağırlıkça %) |              |            |              |
|------------------------------------|--|--------------|------------|--------------|
|                                    | 0  | 1            | 2          | 4            |
| 60                                 | 88,06  | 111,61       | 116,14     | 103,96       |
| 120                                | 119,3  | 144,6        | 137,16     | 112,1        |
| 180                                | 122,16   | 145,1        | 149,5      | 130,2        |
| 240                                | 133,4  | 133,7        | 154,6      | 124,8        |
| 300                                | 144,6  | 157,7        | 154,5      | 133,8        |
| 360                                | 138,2  | 154,7        | 155        | 137,7        |
| 420                                | 138,9  | 150,5        | 171,5      | 138,1        |
| 450                                | 143,3  | 143,36       | <b>173</b> | <b>148,9</b> |
| 480                                | 131,3  | 141,4        | 159,6      | 138,7        |
| 540                                | 145,4  | <b>167,2</b> | 164,5      | 133,4        |
| 600                                | <b>157,3</b>                                       | 145,4        | 168,9      | 146,9        |
| 615                                | 142  | 141,1        | 158,8      | 141,4        |
| 630                                | 149,8  | 150,3        | 148        | 139,2        |
| 660                                | 124,2  | 145,7        | 165,2      | 134,1        |
| 720                                | 135,34   | 163,7        | 159        | 139,1        |



**Şekil 7.** Sıcak preslenmiş numunelerin yaşlandırma zamanına bağlı olarak değişen mikro sertlik grafikleri (a)Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> ilavesi yapılmamış, (b) %1 Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> ilave yapılmış (c) %2 Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> ilave yapılmış, (d) %4 Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> ilave yapılmış (The microhardness graphs of the hot pressed specimens according to ageing times) (a) without Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub>, (b) with 1 % Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> (c)with 2 % Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub>, (d) with 4 % Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub>)

#### 4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Gerçekleştirilen çalışmada, AA2014 alaşımı tozuna ağırlıkça % 0-1-2-4 oranlarında Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> tozu ilave edilerek üretilmiş Metal Matris Kompozit (MMK) malzemenin yaşlandırılabilirlik özelliklerini belirleyen işlemler yapılmıştır. Yapılan deneylerde değişen parametre sadece Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> tozu oranı olup, bu ilave malzeme miktarının sıcak presleme ile üretilen numuneler üzerindeki sonuçları karşılaştırılmıştır. Numunelere uygulanan ısıtma işlemleri sonucu mikroyapı ve mekanik özellikler çerçevesinde bazı bilgilere ulaşılmıştır. Sinterleme işlemi sonunda mikroyapıda tane sınırlı çökelti oluşumları gözlenmiştir. Bu çökelti çözündürme ısıtma işlemi ile azalmış ve yaşlandırma ısıtma işlemi ile de gözden kaybolmuştur. Üretilen numunelerde ideal yaşlandırma süresi yaklaşık 450 dakika olarak belirlenmiştir. Tüm numunelerde yaşlandırma işlemi ile sertlik değerleri artmıştır. Sinterleme, çözündürme ve yaşlandırma ısıtma işlemleri sonrası sertlik ölçüm değerlerine göre en yüksek rakamlar, sıcak presleme ile üretilen % 2

Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> içerikli numunede sağlanmıştır. 450 dakika yaşlandırma ısıtma işlemi ile % 2 Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> takviyeli sıcak preslenmiş numunede 173 HV sertlik değerine ulaşılmıştır. % 4 Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> içerikli numunelerde ise çözündürme ve yaşlandırma sonrası sertlik değerlerinde düşme görülmüştür. Bu düşmenin nedeni, matris yapı ile ara malzemenin birbirini ıslatmaması şeklinde ifade edilebilir. Genel olarak sertlik değerlerinde sinterleme, çözündürme ve yaşlandırma şartlarında ilave edilen Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> oranına bağlı olarak % 2' ye kadar artış gözlenirken, Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> oranı % 4 oranında ilave edildiğinde önemli oranda düşme görülmüştür. Matris yapıya çökelti homojen dağılması ve yapıya dayanım kazandırması neticesinde, yaşlandırma işlemlerinin ardından yüksek sertlik değerleri elde edilmiştir. İlave malzeme miktarının artışı ile çatlak oluşumları meydana gelmiş ve dolayısı ile mekanik performansta düşme görülmüştür.

**DİPNOT:** Bu çalışma “7. Uluslararası Toz Metalurjisi Konferansında” sunulmuştur.

**KAYNAKLAR (REFERENCES)**

1. Apelian, D., Lawley, A., Mathur, P., Luo, X.J., "Fundamentals of Droplet Consolidation During Spray Deposition", **Modern Developments in Powder 177 Metallurgy Proc. of the 1988 Inter. Pow. Metal. Conf. USA**, Cilt 19, 397-424, 1988.
2. Groover, M.P., **Fundamentals of Modern Manufacturing**, 4<sup>th</sup> Ed., John Wiley&Sons., USA, 2010.
3. Maddox, S.J., Review of fatigue assessment procedures for welded aluminium structures, **Int. J. Fatigue**, Cilt 25, No 12, 1359-1378, 2003.
4. J. M. Torralba, da Costa, C. E., Velasco, F., "P/M Aluminum Matrix Composites: An Overview," **Journal of Materials Processing Technology** Cilt 133, 203–206, 2003.
5. Kang, S-J L., "Sintering, Densification, Grain Growth and Microstructure", **Elsevier Butterworth-Heinemann**, Oxford, 197-220, 2005.
6. Heinz, A., Haszler, A., Keidel, C., Moldenhauer, S., Benedictus, R., Miller, W. S., "Recent Development in Aluminium Alloys for Aerospace Applications", **Mat. Sci. Eng. A.**, Cilt 280, No 1, 102-107, 2000.
7. Solozhenko V.L., Kurakevych O.O., "Equation of state of aluminum carbide Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub>", **Progress in Solid State Communications**, Cilt 133, No 6, 385-388, 2005.
8. Shorowordi, K.M., Laoui, T., Haseeb, A.S.M.A., Celis, J.P., Froyen, L., "Microstructure and interface characteristics of B<sub>4</sub>C, SiC and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> reinforced Al matrix composites: a comparative study", **Journal of Materials Processing Technology**, Cilt 142, No 3, 738–743, 2003.
9. Upadhyaya, G.S., "Powder Metallurgy Technology", Victorire Pres, Cambridge, 34-40, 1997.
10. German, R.M., "Powder Metallurgy Science", Princeton, New Jersey, 50-184, 1994.
11. Archbold, J., "Sintering Temperature Effects on the Mechanical Properties of Porous-Coated Ti-6Al-4V ELI Alloy", Master Degree of Applied Science, **Graduate Department of Metallurgy and Material Science**, University of Toronto, Canada, 90-106, 1999.
12. Kovalchenko, M.S., Tkachenko, Yu. G., Yurchenko, D.Z., **Kinetics of Noniso Thermal Hot Pressing of Boron Carbide Powder and Its Mixtures with Alumina and Additions of Metallic Aluminum, Powder Metallurgy and Metal Ceramics**, Cilt 50, No 11, 677-682, 2012.
13. Ateş, E.A., **Toz Metalurjisi ile Üretilen AA2014-Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> Sistemlerine Yaşlandırma Isıl İşleminin Uygulanması ve Mikroyapısal Özelliklerinin Araştırılması**, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2012.
14. Feng, C., Lui, Z.Y., Ning, A.L., Lui, Y.B., Zeng, S.M., "Retrosession and Re-Aging Treatment of Al-9.99 Yo Zn-1.72% Cu-2.5% Mg-O. 13% Zr aluminum Alloy", **Trans. Non ferrous Met. Soc. China**, Cilt 16, 1163-1170, 2006.

