

The Effects of Zn, Cu and Mg Elements on Ageing, Microstructure and Hardness in Al Alloys Produced by P/M Method

 Sinan AKSÖZ¹  · Hakan ADA²  · Emre İNCE³  · Serkan ÖZSOY⁴  · Yavuz KAPLAN^{5,*} 
¹Pamukkale University Faculty of Technology, Department of Metallurgy and Materials Engineering, Denizli

^{2,3,4}Kastamonu University Faculty of Engineering and Architecture, Department of Mechanical Engineering, Kastamonu

⁵Pamukkale University Faculty of Technology, Department of Mechanical and Manufacturing Engineering, Denizli

Graphical/Tabular Abstract

Article Info:

Research article

Received: 17/12/2019

Revision 29/01/2020

Accepted: 08/02/2020

Highlights

- Powder Metallurgy.
- Ageing.
- Solution Treating

Keywords

Powder Metallurgy

Ageing

Solution Treating

Al-Zn-Cu-Mg Alloy

In this study, two different compositions contain pure Al, Zn, Cu and Mg were produced by powder metallurgy. The powders were pressed under 800 MPa and sintered in purity argon atmosphere at 600°C after pressing process. Solution heat treatment were applied to sintered samples at 480°C and then rapid quenching was performed. For quenched samples; Ageing process was carried out at 120°C for 3h periods totally 12 hours. As a result, the ageing process leads to increased hardness due to the homogeneously dispersed secondary precipitates that form internally in the microstructure.

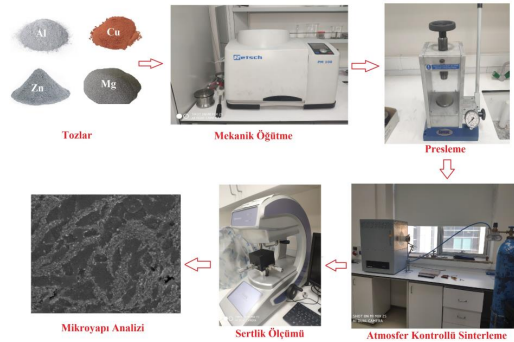


Figure A. Circuit schema of the production process

Purpose: The purpose of this study is investigation on effect of alloy elements on microstructure and hardness properties for Al alloy.

Theory and Methods: The grinding process of the powders was carried out in Alcohol for 120 minutes. The powders were pressed under 800 MPa and sintered in an atmosphere-controlled furnace (high purity argon atmosphere) at 600°C after pressing process. Solution treating was carried out at 480°C for 2 hours. Field Emission Scanning Electron Microscopy (FESEM), Element Distribution Spectrometry (EDS) and Mapping (MAP) was used for microstructure analysis of the samples.

Results: It is observed that the hardness values increase significantly after the ageing heat treatments for both alloys. In addition, after the solution process, while the hardness values of the alloy 1 was 130 HV, the hardness value of the alloy 2 increased up to 146 HV. The reason of this is Cu content that plays vital role in hardness of Al alloy.

Conclusion: Ternary Al alloy was produced by PM in the different compositions. The effects of the alloying elements on the hardness and microstructure were examined. The study shows that the hardness increases in the alloy 2 due to the homogeneously dispersed Cu and secondary phases (such as Al₂Cu) formed after heat treatments.



T/M Yöntemi ile Üretilen Al Alaşımlarında Zn, Cu ve Mg Elementlerinin, Yaşlanma, Mikroyapı ve Sertliğe Etkileri

Sinan AKSÖZ¹  Hakan ADA²  Emre İNCE³  Serkan ÖZSOY⁴  Yavuz KAPLAN^{5,*} 

¹Pamukkale Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Denizli

^{2,3,4}Kastamonu Üniversitesi Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Kastamonu

⁵Pamukkale Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, Makine ve İmalat Mühendisliği Bölümü, Denizli

Öz

Bu çalışmada, toz metalürjisi yöntemiyle saf haldeki Al, Zn, Cu ve Mg tozlarından 2 farklı kompozisyonda ürünler elde edilmiştir. Tozların alaşım işlemi mekanik öğütme ile gerçekleştirilmiştir. Alaşımlandırma sonrası numuneler 800 MPa basınç altında preslenmiş ve 600 °C'de yüksek saflıktaki argon atmosferinde sinterlenmiştir. Sinterlenen numunelere 480 °C'de çözündürme ve sonrasında hızlı su verme işlemi uygulanmıştır. Su verilen numunelere ise; 120 °C yaşlandırma sıcaklığında, 3'er saat arayla toplamda 12 saat yaşlandırma işlemi uygulanmıştır. Numunelerde yaşlanma ve sinterlemenin etkilerini incelemek için FESEM, Element Dağılım Spektrometresi, Haritalama (MAP) ve sertlikteki etkileri incelemek için de mikrosertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. İncelemeler sonucunda yaşlanma sonrası sertlikte artış meydana gelmiş ve sertlikteki bu artışın mikroyapıda içten oluşumlu şekilde meydana gelen ve homojen dağılmış ikincil çökeltiler sayesinde olduğu gözlemlenmiştir.

The Effects of Zn, Cu and Mg Elements on Ageing, Microstructure and Hardness in Al Alloys Produced by P/M Method

Makale Bilgisi

Araştırma makalesi
Başvuru: 17/12/2019
Düzeltilme: 29/01/2020
Kabul: 08/02/2020

Anahtar Kelimeler

Toz Metalürjisi
Yaşlandırma
Çözeltiyeye Alma
Al-Zn-Cu-Mg Alaşımı

Keywords

Powder Metallurgy
Ageing
Solution Treating
Al-Zn-Cu-Mg Alloy

Abstract

In this study, two different compositions contain pure Al, Zn, Cu and Mg were produced by powder metallurgy. Alloying process of powders was carried out by mechanical grinding. The powders were pressed under 800 MPa and sintered in high purity argon atmosphere at 600°C after pressing process. Solution heat treatment were applied to sintered samples at 480°C and then rapid quenching was performed. For quenched samples; Ageing process was carried out at 120°C for 3h periods totally 12h. FESEM, Element Dispersion Spectrometry, Mapping (MAP) and microhardness measurement were performed on samples to investigate the effects of ageing and sintering. As a result, the ageing process leads to increased hardness due to the homogeneously dispersed secondary precipitates that form internally in the microstructure.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Hafif ve yüksek mukavemetli olması sebebiyle son yıllarda, Alüminyum (Al) ve alaşımları üzerine yapılan çalışmalar ciddi bir artış göstermektedir [1-3]. Bu artıştaki en büyük etkenlerin başında ise; Al ve alaşımlarının kullanım alanlarının sahip oldukları düşük yoğunluk, diğer alaşımlara nazaran kolay şekil verilebilirlik ve uygulanan ısı işlemler sayesinde yüksek sertlik değerleri kazandırılabilmesidir. Ayrıca Al ve alaşımlarının mekanik özelliklerinin, Toz Metalürjisi (T/M) gibi yeni üretim prosesleriyle geliştirilmesi ve kullanım bulması ile mekanik özelliklerde önemli artışlar sağlanabilmiştir [1-5]. Birçok Al alaşımı düşük yoğunluk sebebiyle geniş bir uygulama alanı bulmakta olup, Mg ilavesi yapılarak, hafiflikle beraber, iyileştirilmiş korozyon direncine de sahip olarak, çok daha avantajlı bir malzeme haline gelmektedir [6]. Ayrıca bu alaşımların sahip oldukları iyi ıslatabilirlik özellikleri ile içyapıda olumlu sonuçlar sağlanabilmektedir [7]. Klasikleşmesine rağmen Al 7075 alaşımı, günümüzde halen havacılık sektörü ve uzay sanayinde, sahip olduğu eşsiz korozyon direnci ve dayanımı sayesinde çeşitli tasarımlarda uygulama

alanı bulan malzemelerin başında gelmektedir. Bu özellikleri sayesinde; hem Ar-Ge çalışmalarının odak noktasında yer almakta, hem de ticari alışımlar içerisindeki yerini korumaktadır. Al 7075 alaşımının böylesi bir konumda olmasında, malzemenin yaşlandırılabilirliği özelliği sayesinde mikroyapıda ve mekanik özelliklerde sağlanan gelişme ve iyileştirmelerin olduğu söylenebilir [8-10]. Sahip oldukları geliştirilebilir bu özellikler sayesinde; bu alışımlar üzerinde hâlihazırda çalışmaları devam edeceği aşikârdır [11].

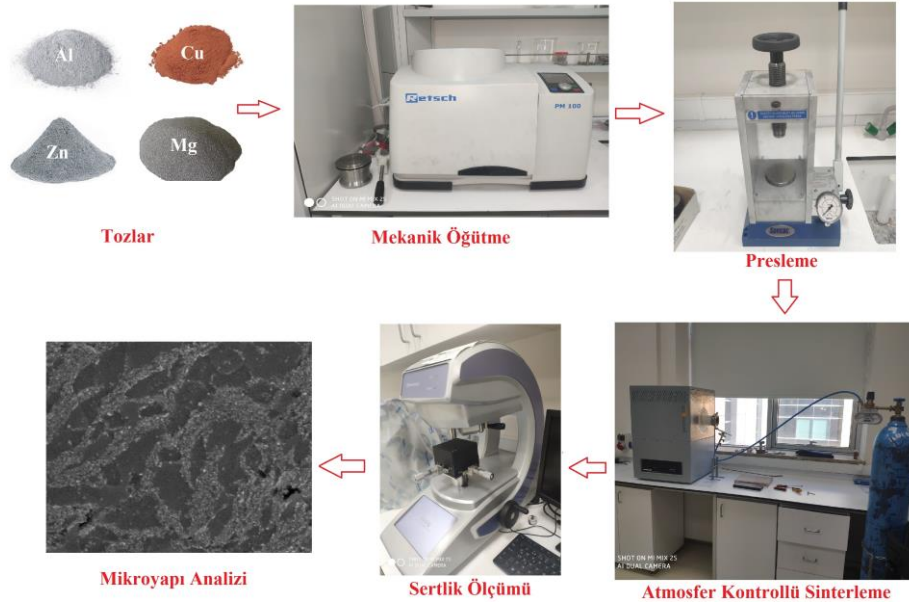
Yıldırım ve ark. mekanik öğütme süresinin karbon nanotüp takviyeli Al matrisli kompozitlerin mikroyapı, sertlik ve kuru kayma aşınma davranışları üzerindeki etkisini araştırmıştır. Çalışma sonucunda öğütme süresinin artmasıyla partikül boyutlarının arttığını ve 120dk öğütme süresiyle en yüksek sertlik, en düşük ağırlık kaybının yaşandığını bildirmişlerdir [12]. Huang ve ark. partikül takviyeli Al 7056/Zr-Al-Ni-Cu metalik cam kompozitlerini farklı basınçlar altında spark plazma sinterleme yöntemiyle üretmişler ve ürettikleri kompozitlerin mekanik ve arayüzey karakteristiklerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda yüklemeye basıncındaki artışın camsı matris ve Al alaşımlı takviyenin birbirine daha sıkı yapışmasına neden olduğunu ve arayüzeydeki oksit tabakasını tahrip ettiğini, bunun da iki fazlı arayüzeyin bağlanma mukavemetinde etkili bir artış sağladığını bildirmişlerdir [13]. Yang ve ark. farklı oranlarda Zn içeren TiB₂/Al-Zn-Mg-Cu kompozitleri toz metalürjisi yöntemiyle üretmiştir. Ayrıca yaşlanma sırasında çökeltilerin evrimini modellemek için KWN modeli tarafından genişletilen boyut sınıfı modeli kullanılmışlardır. Deneyler sonucunda alaşıma daha fazla Zn içeriğinin eklenmesinin ekstrüzyon sırasında oluşan arafazların fraksiyonunu arttırdığını ve yaşlanma sonrasında çökeltme tiplerini değiştirmediğini bildirmişlerdir [14].

Martin ve arkadaşları ise, yaptıkları çalışmada T/M yöntemi kullanılmış Al-Zn-Mg-Cu alaşımına (Alumix 431 VP) farklı oranlarda Mg tozlarının ilavesinin sonrası oluşan yapının mikroyapı, faz ve sertlik etkileri incelemişlerdir. Çalışma hazır alüminyum yapısına ilave edilen Mg içeriği üzerine yapılmış olup, diğer alaşım elementlerinin etkisi incelenmemiştir [15]. Bu çalışmada; T/M yöntemi ile elementel olarak farklı oranlara sahip Al, Cu, Zn, Mg tozları, mekanik olarak 120 dakika öğütme işlemine tabi tutulmuş ve sonrasında ise presleme ve sinterleme ile numuneler elde edilerek numunelere uygulanan yaşlandırma ısı işlemi, yapısal ve mekanik özelliklerde meydana getirdiği değişiklikler detaylı olarak incelenmeye çalışılmıştır.

2. MATERYAL ve METOD (MATERIAL and METHOD)

Çalışmada kullanılan Al tozları 50 µm, Cu tozları 70 µm, Mg tozları 40 µm ve Zn tozları ise 80 µm ortalama boyut dağılımına sahip olup, tozlar genel itibari ile 100 µm altındaki tozlar kullanılmıştır. Tozlar yüksek saflıkta olup, öğütme işlemi Alkol içerisinde Retsch PM 100 marka cihazda 120 dakika öğütme süresinde gerçekleştirilmiştir. Öğütme sonrası tozlar alkolden arındırılmış ve tozlarda herhangi bir kirlilikle karşılaşmamıştır. Toz bilye doluluk oranı ise 1/10 olup, çalışma sonrası elde edilen tozlar incelendiğinde istenilen öğütme şeklinin elde edildiği görülmüştür. Öğütme sonrası tozlar hidrolik preste 800 MPa presleme basıncı ve oda sıcaklığında presleme işlemine tabi tutulmuştur.

Ham mukavemete kavuşan numuneler (presleme sonrası mukavemet), sinterleme işlemine tabi tutulmuştur. Sinterleme işlemi için Protherm marka sinterleme fırını kullanılmış olup, sinterleme işlemi 600 °C'de 120 dakika olarak gerçekleştirilmiştir. Sinterleme süresi ön çalışmalar sonrası yoğunluk verileri mukayese edilerek tespit edilmiş olup, sinterleme sonrasında numuneler 480 °C'de 2 saat çözündürme işlemine tabi tutularak homojen bir çözündürme işlemi gerçekleştirilmiştir. Çözündürülen numunelere, 120 °C yaşlandırma sıcaklığında 3'er saat süre ile toplamda 12 saat yaşlandırma işlemi uygulanmıştır. Mikrosertlik işlemleri için Hardway marka DV-1AT-4.3 model cihaz kullanılmıştır. Sertlik deneyleri için her bir numuneden 5'er adet sertlik verisi alınarak, bu verilerin ortalama sertlik değerleri belirlenmiştir. Sertlik grafikleri oluşturulurken hata barları oluşturulmuştur. Karıştırma, Öğütme, Sinterleme ve Yaşlandırma işlemleri Kastamonu Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmaların gerçekleştirildiği cihazların fotoğrafları ve deney akış şeması Şekil 1.'de verilmiştir.



Şekil 1. Deneylerde kullanılan cihazlar ve deney akış şeması

Çalışmada kullanılan 2 farklı kompozisyon Tablo 1’de verilmiştir. Yapıda geleneksel Al 7075 malzemesinden farklı olarak (Zn:5.4, Cu:1.42, Mg:2.42) [16], yapıdaki element farklılıklarının mikroyapı ve yaşlanmaya olana etkileri incelenmeye çalışılmıştır.

Tablo 1. Üretilen Alüminyum alaşımının kimyasal kompozisyonu (%).

Numuneler	Al	Zn	Cu	Mg
1. Kompozisyon	86	10	2	2
2. Kompozisyon	89	2	5	4

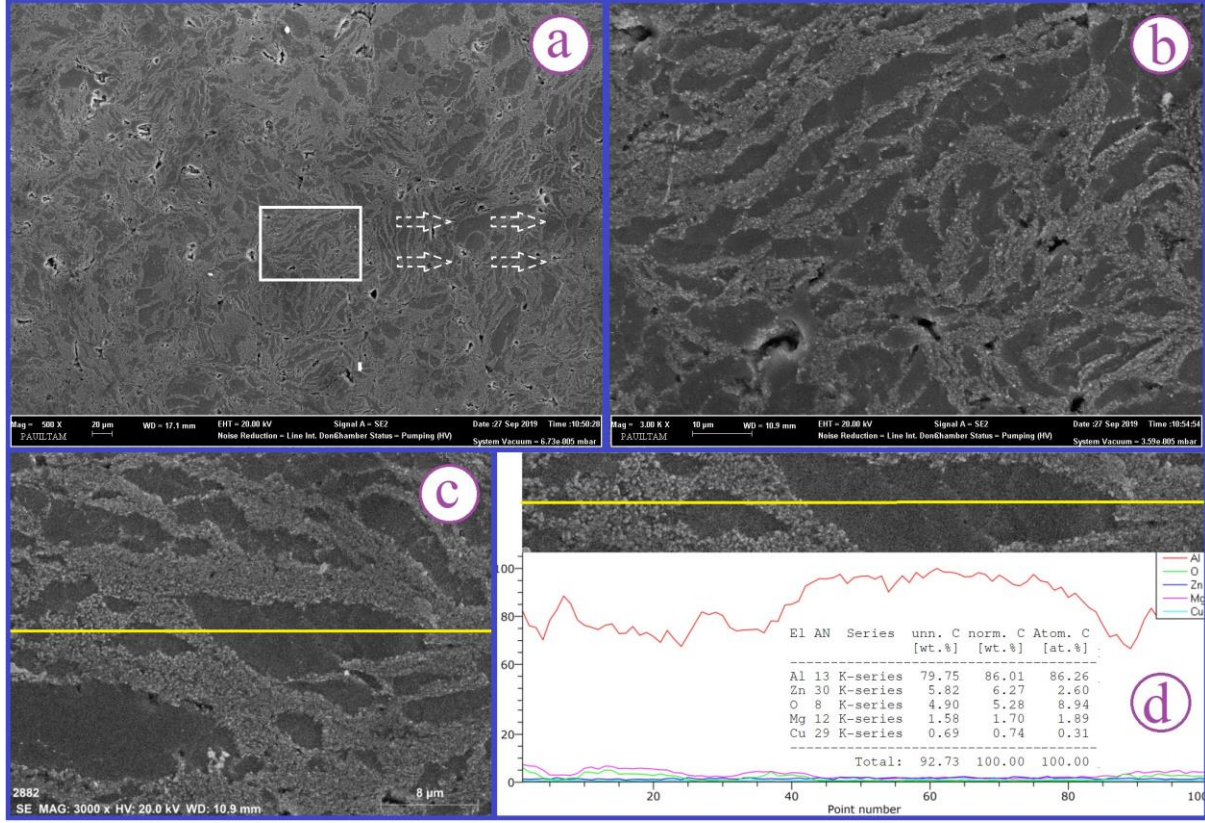
Üretilen numunelerin mikroyapı analizinde Alan Emisyon Taramalı Elektron Mikroskobu (FESEM), FESEM üzerine yer alan Element Dağılım Spektrometresi (EDS) ve Haritalama (MAP) analizlerinde ise ZEISS marka (SUPRA 40 VP model) cihaz kullanılmıştır. Mikroyapı analizlerinde Pamukkale Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Laboratuvarları ile İleri Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi Laboratuvarlarından faydalanılmıştır.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

3.1 Mikroyapı Analizi

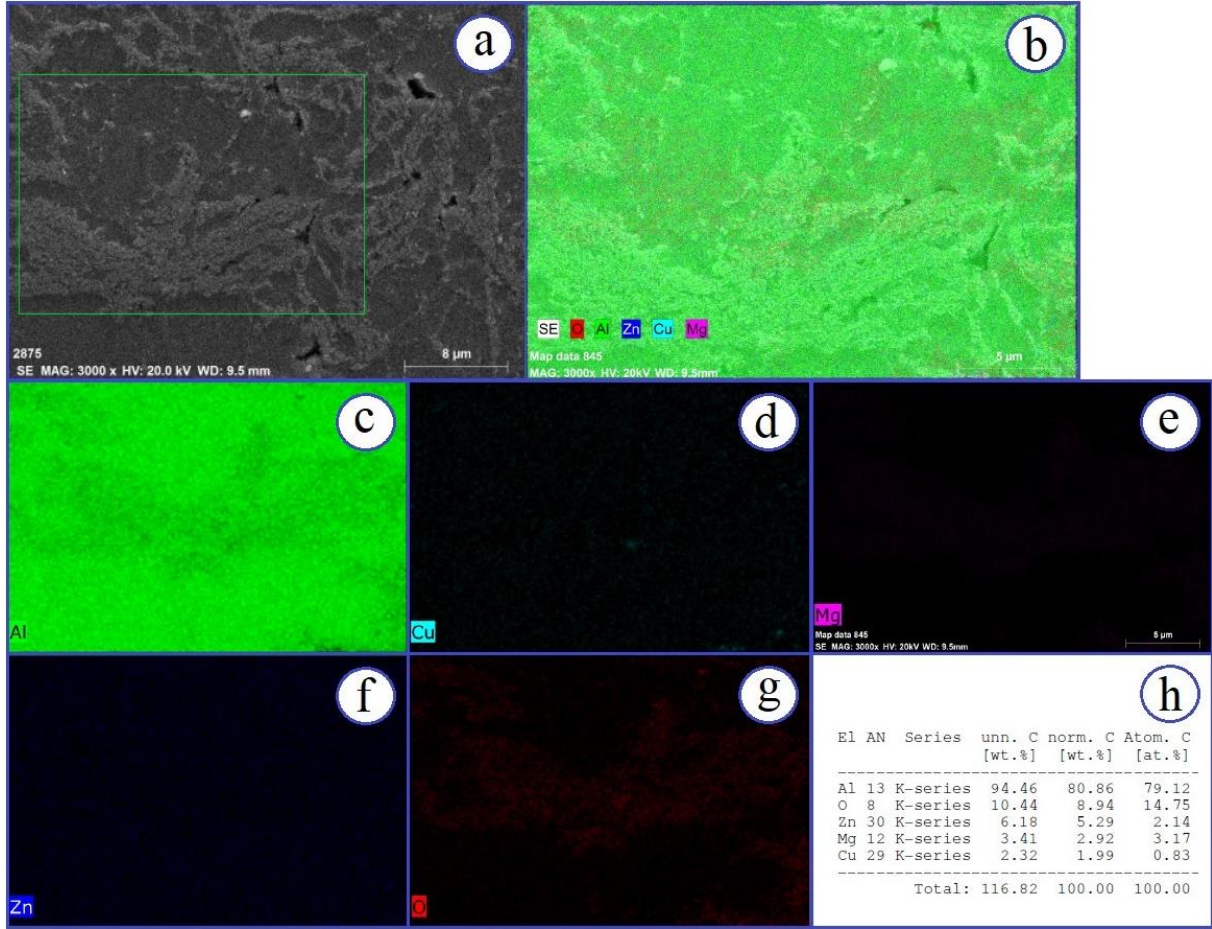
Şekil 2’de 1. Kompozisyon oranına sahip alaşım sisteminin sinterleme, çözeltiye alma ve 12 saat yaşlandırma ısıl işlemi sonrası FESEM görüntüleri (Şekil 2.a, 2.b) ile FESEM görüntüsü üzerinden alınmış çizgisel EDS analizi ve element dağılım oranları (Şekil 2.c, 2.d) yer almaktadır. Şekil 2.a ve 2.b’de farklı büyütme oranlarına sahip FESEM mikroyapıları görülmektedir. Bu görüntüler incelendiğinde, mekanik öğütme sonrası oluşan deforme olmuş tozların, sinterleme sonrası yeniden kristalleşerek, yeni taneleri oluşturmuştur. Şekil 2.b detaylı olarak incelendiğinde; oluşan bu yeni taneler görülebilmektedir. Oluşan yeniden kristalleşme ile çok daha homojen dağılımlı ve mekanik özellikleri iyileşmiş bir yapı elde edilebilecektir. Şekil 2.c’de EDS analizi için alınmış bir FESEM görüntüsü yer almakta olup, sarı çizgi bölgesi bu hat üzerinden analiz yapıldığını göstermektedir. Şekil 2.d’de ise; bu hattan elde edilen elementlerin şiddetleri ve oranları yer almaktadır. Şekil 2.d incelendiğinde; mikroyapıda sırasıyla, Al, Zn, O, Mg ve Cu elementlerinin yer aldığı görülmektedir. Bu yapıların ise ağırlıkça Al ve Zn fazına ait olduğu görülmektedir. Yapıda oluşan O’in ise, mekanik öğütme esnasında meydana gelen oksitlenmeden kaynaklandığı bilinmektedir [17]. 1. Kompozisyon ile oluşturulan bu alaşım sisteminin genel bir içerik

analizi yapıldığında, yapıda olması muhtemel içeriklerin yer aldığı görülmektedir (Tablo 1). Bu sonuç bize alaşım sistemi ile oluşturulmak istenen ticari alaşımda aktif rol oynayan alaşım elementlerinin varlığını gösterir niteliktedir [18].



Şekil 2. 1. Kompozisyon ile oluşturulmuş yapının sinterleme, çözeltiye alma ve 12 saat yaşlandırma sonrası, a) FESEM (X500), b) FESEM (X3000), c) Çizgi EDS FESEM ve d) EDS kompozisyon dağılımları ve içerikleri

Şekil 2.b ile elde edilen sonuçların değerlendirilmesi ve elementlerin dağılım ve konumlarının daha detaylı analizi için Şekil 3'te yer alan HARİTA işlemi gerçekleştirilmiştir. Şekil 3'te 1. Kompozisyon oranına sahip alaşım sisteminin sinterleme, çözeltiye alma ve 12 saat yaşlandırma ısıl işlemi sonrası FESEM görüntüsü (Şekil 3.a) yer almaktadır. Şekil 3.b'de FESEM görüntüsü üzerinden alınmış elementlerin genel haritası ve Şekil 3.c-g'de genel harita üzerinden alınmış her bir elementin ayrı ayrı haritaları yer almaktadır. Şekil 3.h'de ise element dağılım oranları yer almaktadır. HARİTA sonuçları yorumlandığında, yapının her bölgesinde homojen bir Al dağılımının yer aldığı görülebilmektedir (Şekil 3.c). Tane sınırlarında ise O içeriğinin dağıldığı ve yapıda öğütme sonrası oluşan çok küçük boyutlu taneler sayesinde mukavemetlendirme mekanizmasının içeriden oluşacak şekilde gerçekleştirilebileceği ve böylece çok daha mukavemetli bir yapının oluşabileceği bilinmektedir. Bu duruma ise; kararlı yapıda oluşmuş O çökeltilerinin tane sınırlarında konuşlanması ve yaşlanmada oluşan aşırı yaşlandırmanın bariyer etkisi oluşturması ile sağlanabilmektedir [19]. MA işlemi sonrası ise; yapıda dağılan ince yapı ve homojen dağılımlı oksit ve diğer alaşımlar sayesinde; çok daha yüksek mukavemetlendirme işlemi gerçekleştirilebilecek, böylece aşırı yaşlanma işlemi oluşacak büyük θ' fazlarının oluşumu engellenebilecektir [20, 21]. Element dağılım oranları incelendiğinde (Şekil 3.h), çalışma ile oluşturulmak istenen kompozisyon içeriğindeki Al, Zn, Cu ve Mg'nin, yapıda istenilen oranlarda dağıtılabildiği görülebilmektedir.

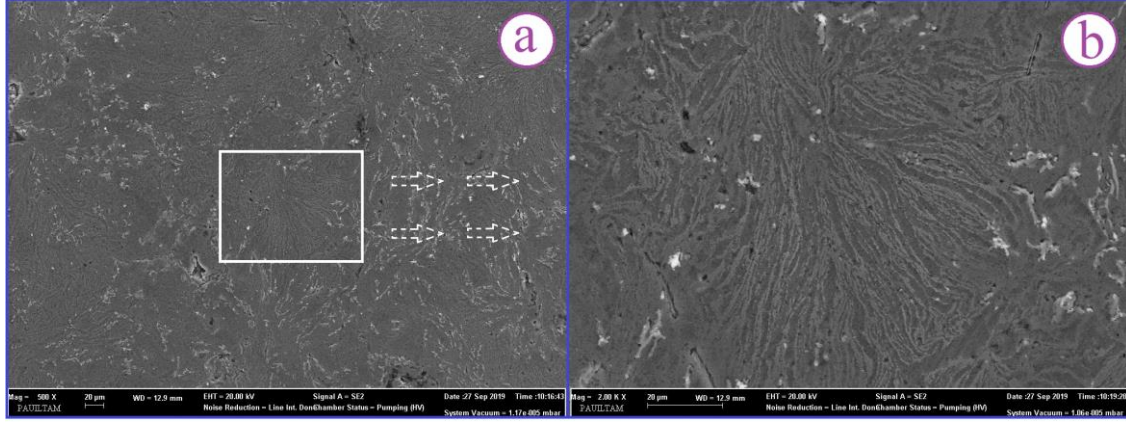


Şekil 3. 1. Kompozisyon ile oluşturulmuş yapının sinterleme, çözeltiye alma ve 12 saat yaşlandırma sonrası, a) FESEM (Bölgesel HARİTA), b) Genel elementlerin HARİTA görüntüsü c-g) Her elementin HARİTA görüntüsü h) Elementlerin yüzde miktarları

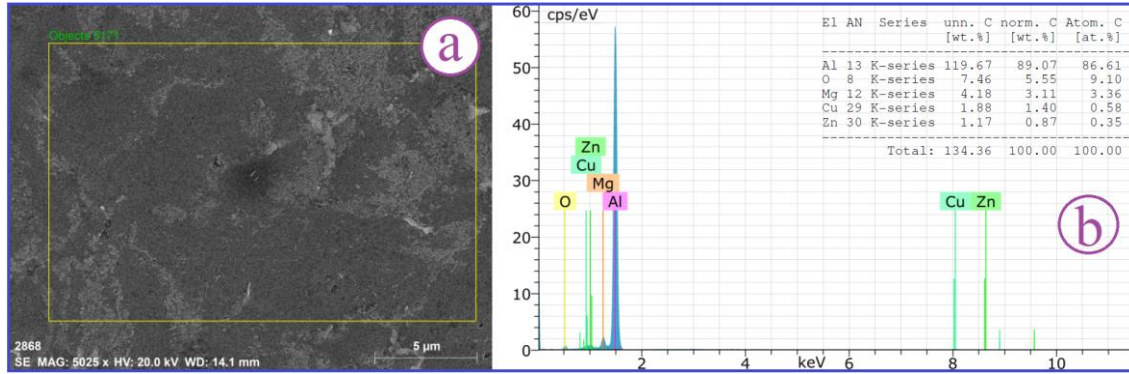
Şekil 4'te 2. Kompozisyon oranına sahip numunenin sinterleme, çözeltiye alma ve 12 saat yaşlandırma ısıl işlemleri sonrasında farklı büyütme ölçeklerindeki FESEM görüntüleri yer almaktadır. Şekil 4.b, Şekil 4.a görüntüsü üzerinden alınmış bir detay görüntü olup, bu görüntü oluşan mekanik öğütme sonrası oluşan katmanlaşmış tanelerin oluşumunu [2, 22] ve sinterleme ile oluşturdukları karakteristik mikroyapıyı göstermektedir. Görüntüde, çok ince dağılıma sahip mikroyapının sinterleme ile birlikte yeni bir form oluşturarak (yeniden kristalleşerek), lamelli bir form aldığı görülebilmektedir [23]. Bu mikroyapıyı detaylı olarak analiz etmek için; Şekil 5.a'da FESEM görüntüsü alınmış, Şekil 5.b'de ise FESEM görüntüsü üzerinden EDS verileri analiz edilmiştir. Şekil 5.b'de yapının genel element dağılımı incelendiğinde; yapıda olması muhtemel Al (ana faz), Mg, Cu ve Zn (alaşım elementleri) elementleri ve MA işlemi sonrası oluştuğu düşünülen O içerikleri yer almaktadır [17].

Şekil 6'da 2. Kompozisyon oranına sahip alaşımın, presleme, sinterleme, çözündürme ve sonrasında 3 saat yaşlandırma ısıl işlemi sonrası FESEM görüntüsü (Şekil 6.a) ve FESEM görüntüsü üzerinden alınmış çizgi analizi ve element dağılım oranları yer almaktadır. Şekil 6 detaylı incelendiğinde; öğütme işlemi neticesinde oluşan katmanlı yapının varlığı görülmektedir. Bu katmanlı yapının element şiddetleri incelendiğinde; kırmızı çizgi Al ana matris yapısını göstermekte olup, bölgesel olarak inişli çıkışlı bir salınım göstermektedir. Oluşan bu inişli çıkışlı yapının; tane sınırlarında yönlenmiş olan alaşım elementlerinin varlığından kaynaklandığı düşünülmektedir. Özellikle öğütme esnasında yapıda yer alan alaşım elementlerinin sahip oldukları kafes yapıları ve sertlikleri neticesinde, deformasyona uğrama oranları da farklılıklar göstermektedir. Bu da bu fazların yapı içerisinde lokal olarak belirli bölgelerde yoğunlaşmasına etki etmektedir. Ayrıca, sinterleme esnasında alaşım elementlerinin sahip oldukları farklı ergime dereceleri ve difüzyon katsayıları, elementlerin lokal olarak yönlenmesi sonucunu ortaya çıkarmıştır. Özellikle Mg olmak üzere, diğer elementlerin piklerinin bölgesel olarak homojen dağılımı,

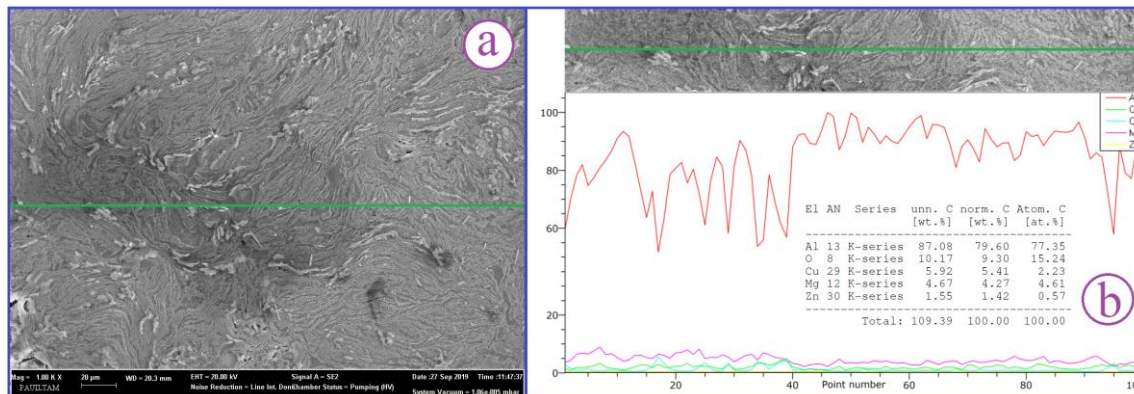
oluşturulmak istenen homojen dağılımın genel itibarı ile tane sınırlarında yönlendiği durumunu ortaya çıkarmaktadır. Bu durum malzemenin mekanik özelliklerine, normal üretim yöntemlerine göre (döküm vb.) daha iyi sonuçlar kazandırılabilceğini göstermektedir. Mekanik özelliklerin iyileşmesinde, yapıda oluşması muhtemel ve mekanik özellikleri olumlu etkileyen içeriden oluşturulmuş Al_2Cu [24], $Al_2(Zn,Cu)_3Mg$ [15], $MgZn_2$ [25] gibi ikincil fazların katkı sağlandığı bilinmektedir.



Şekil 4. 2. Kompozisyona ait numunenin sinterleme, çözeltiye alma ve 12 saat yaşlandırma işlemleri sonrası FESEM görüntüleri a) X500 büyütme, b) X 2000 Büyütme



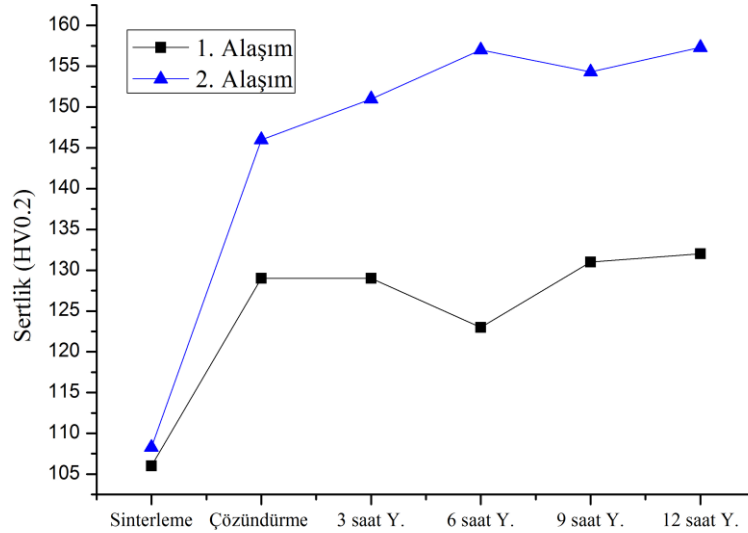
Şekil 5. 2. Kompozisyona sahip alaşımın sinterleme sonrası a) FESEM görüntüsü, b) EDS analizi şiddetleri ve element dağılım oranları



Şekil 6. 2. Kompozisyona sahip alaşımın sinterleme, çözüldürme ve 3 saat yaşlandırma işlemi sonrası a) FESEM görüntüsü, b) çizgisel EDS analizi ve element dağılım oranları

3.2 Mikrosertlik Deneyleri

Şekil 7’de T/M yöntemiyle üretilmiş iki Al alaşımının sertlik ölçüm sonuçları verilmiştir. Sinterleme sonrası numunelerin sertliklerinin birbirine yakın sırasıyla 106 HV ve 108 HV olarak ölçülmüştür. Şekil 7 incelendiğinde iki alaşımda da çözündürme ve sonrası uygulanan yaşlandırma ısıl işlemleri ile sertlik değerlerinin dikkat çekici bir şekilde arttığı görülmektedir. Ayrıca 1. alaşımın çözündürme işlemi sonrası sertlik değerleri yaklaşık 130 HV civarındayken, 2. alaşımın sertlik değeri 146 HV’ye kadar yükselmiştir. Buna 2. alaşıma ilave edilen Cu oranının %5 olması ve Cu’nun tane mukavetlendirme mekanizmasında aktif rol oynaması neticesinde Al_2Cu gibi ikincil çökeltiler oluşturmasının sebep olduğu düşünülmektedir [26]. Ayrıca uygulanan ısıl işlemler sonrası yaşlandırma işlemleri, mikroyapıda yer alan Al, Zn, Mg ve Cu gibi alaşım elementlerinin çekirdeklenme mukavemetinde etken rol oynadığı bilinmektedir [27]. Bu alaşımlar için oluşması muhtemel fazlar ise; $Al_2(Zn,Cu)_3Mg$ [15], $MgZn_2$ [28], $Mg(ZnCuAl)_2$ [29] ve Al_2Cu [5] gibi çekirdeklenme fazları olup, bu fazlar sertlik artışında tane sınırlarında çökerek etken rol oynamaktadır [30]. Her iki alaşımda da gerçekleşen sertlik artışları, malzemeye uygulanan sinterleme sonrası çözündürmenin ve yaşlandırmanın uygun şekilde yapıldığını göstermektedir. Yaşlandırma işlemiyle 1. alaşımın sertlik değerlerinde, 2. alaşımın sertliği kadar yüksek bir artışın olmayışı (2. Alaşımda sertlik 157 HV’ye kadar yükselmiştir), sertlik değerlerinde alaşım elementlerinin önemli rol oynadığını göstermektedir. Bu sonuçlar ışığında; 2. Alaşımda yer alan Cu’nun, yaşlandırma ısıl işleminde sertlikte daha etken rol oynadığı söylenebilir.



Şekil 7. Alaşımların sinterleme, çözündürme ve 120 °C’de farklı yaşlandırma sürelerine bağlı olarak sertlik değişimleri

4. SONUÇ (CONCLUSION)

2 farklı kompozisyon ile Al (ana matris), Zn, Cu ve Mg elementleri ile oluşturulan kompozisyonlardan alınan görüntü ve sertlik ölçümleri neticesinde çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- Çalışmada T/M yönteminin kullanılması ile istenilen bileşimde ve oranda denge koşulları oluşturulabilmiştir. Böylece yapıda alaşım elementi ilavesinin etkileri görülmüştür. Ayrıca yapıda tüm alaşım elementlerinin homojen bir şekilde dağılımı sağlanabilmiştir.
- Sinterleme ve yaşlandırma ısıl işlemleri sonrası numune yüzeylerinin FESEM görüntülerinde, numunelere uygulanan mekanik öğütme neticesinde meydana gelen katmanlı yapıların varlığı görülmüştür.
- Yapıya uygulanan mekanik öğütme sayesinde, EDS sonuçlarında alaşım elementlerinin homojen bir şekilde dağıldığı tespit edilmiştir. EDS analizlerinde homojen dağılmış elementlerin oluşması muhtemel $Al_2(Zn,Cu)_3Mg$, $MgZn_2$, $Mg(ZnCuAl)_2$ ve Al_2Cu gibi ikincil fazların homojen dağılmasını sağlamıştır.

- Sertlik sonuçları incelendiğinde, çözündürme sonrası 2 alaşım sisteminde de sertlik artışı görülürken, yaşlandırma sonrası en yüksek sertlik verilerinin 2. alaşıma ait kompozisyonda olduğu görülmüştür.
- Çalışma 2. alaşımdaki sertlik artışını yapıda homojen dağılmış Cu ve ısıt işlemler sonrası oluşan ikincil fazların (Al₂Cu gibi) sağladığını göstermektedir. Bu fazlar tane sınırlarında çökelmiş ve sertliği olumlu etkilemiş ve yüksek sertlik değerlerinin elde edilmesinde önemli bir etken olabileceği görülmüştür.
- Bu çalışmaya öneri olarak, alaşım element oranlarında yapılacak değişikliklerin tribolojik özelliklere etkisinin incelenmesi için aşınma deneyleri yapılması önerilmektedir. Böylece elementlerin aşınma davranışı üzerindeki etkisi doğrudan görülebilir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Tan E., Aksöz S., Kaplan Y., Can H., Dışpınar D. (2019). Improvement in Metallurgical Properties of Gravity Die Cast 2024-T6 Aluminum Alloy via Cryogenic Process. In: Tiryakioğlu M., Griffiths W., Jolly M. (eds) Shape Casting. The Minerals, Metals & Materials Series. Springer, Cham,
- [2] Aksöz S., Özdemir A.T., Bostan B. Alloyed AA2014 Alüminium Powders Synthesized with carbon and determined properties. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 27(109-115), (2012).
- [3] Aksöz S., Bostan B. Effects of the AA2014/B4C MMCs production with casting and post casting sintering operations on wear behaviors, Journal of Boron, 3(132-137), (2018).
- [4] Aksöz S., Bostan B. Effect of ageing and cryo-ageing treatments on microstructure and hardness properties of AA2014-SiC MMCs, Transactions of the Indian Institute of Metals, 71(2035-2042), (2018).
- [5] Aksöz S., Özdemir A.T., Çalin R., Altınok Z. and Bostan B. Effects of sintering, ageing and cryogenic treatments on structural and mechanical properties of AA2014-B4C composite. J. of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 28 (4) 831-839, (2013).
- [6] Tan E., Kaplan Y., Ada H. and Aksöz S., (2019). Production of the AA2196-TiB₂ MMCs via PM Technology, Chesonis C. (eds), Light Metals. The Minerals, Metals & Materials Series, Springer, Cham. 153-157
- [7] Contreras A., Angeles-Chávez C., Flores O., Perez R. Structural, morphological and interfacial characterization of Al-Mg/TiC composites”, Materials Characterization, 58(685–693), (2007).
- [8] Panigrahi S.K., Jayaganthan R. Development of ultrafine grained high strength age hardenable Al 7075 alloy by cryorolling. Materials and Design, 32: 3150-3160, (2011).
- [9] Li J.F., Peng Z.W., Li C.X., Jia Z.Q., Chen W.J., Zheng Z.Q. Mechanical properties, corrosion behaviors, and microstructures of 7075 aluminium alloy with various aging treatment”, Trans. Nonferrous Met. Soc. China, 18(775-762), (2008).
- [10] J Harrison T., R Crawford B., Janardhana M., Clark G. Differing microstructural properties of 7075-T6sheet and 7075-T651extrudedaluminium alloy. Procedia Engineering, 10(3117–3121), (2011).
- [11] Taşkesen A., Aksöz S., Özdemir A.T. The effect of cryogenic treatment on ageing behaviour of B4C reinforced 7075 aluminium composites, Kovove Mater., 55(57-67), (2017).
- [12] Yildirim M., Özyürek D., Gürü M. Effect of milling time on dry sliding wear behaviors of carbon nanotubes reinforced Al matrix composites. Journal of nanoscience and nanotechnology, 20(2633-2638), (2020).
- [13] Huang L., Tan W., Li S., Li Y. Effect of loading pressure on mechanical properties and interface characteristics of 7056 Al alloy particle reinforced Zr-Al-Ni-Cu bulk metallic glass matrix composite prepared by spark plasma sintering. Journal of Alloys and Compounds, 816, 152605. (2020).

- [14] Yang Q., Shen Y., Liu J., Wang L., Chen Z., Wang M.L., Wang H.W. Microstructure and mechanical response of TiB₂/Al–Zn–Mg–Cu composites with more addition of Zn. *Journal of Alloys and Compounds*, 816, 152584. (2020).
- [15] Martín J.M., Gómez-Acebo T., Castro F. Sintering behaviour and mechanical properties of PM Al–Zn–Mg–Cu alloy containing elemental Mg additions. *Powder Metallurgy*, 45(173-180), (2002).
- [16] Baradeswaran A., Perumal A.E., Wear and mechanical characteristics of Al 7075/graphite composites, *Composites: Part B*, 54(146–152), (2013).
- [17] Suryanarayana C., Mechanical alloying and milling”, *Progress in Materials Science* 46(1-184), (2001).
- [18] Baradeswaran A., Elaya Perumal A., “Study on mechanical and wear properties of Al 7075/Al₂O₃/graphite hybrid composites”, *Composites: Part B*, 56(464–471), (2014).
- [19] Barbour J.C., Knapp J.A., Follstaedt D.M., Myers S.M., (1998). Process for The Synthesis of Nanophase Dispersion Strengthened Aluminum Alloy, United States Patent, Patent Number: 5,849,373, Date of Patent: Dec. 15,
- [20] Heck F.W., Ramsey N.J., Donachie S.J., Windsor N., Merrick H.F., Suffern N.Y. (1986). DISPERSION STRENGTHENED LOW DENSITY MA-AL. United States Patent, Patent Number: 4,594,222, Date of Patent: Jun. 10,
- [21] Hoyt J.J. On the coarsening of precipitates located on grain boundaries and dislocations. *Acta Metallurgica et Materialia*, 39(2091-2098), (1991).
- [22] Enayati M.H., Salehi M., Formation mechanism of Fe₃Al and FeAl intermetallic compounds during mechanical alloying, *Journal of Materials Science*, 40(3933–3938), (2005).
- [23] Bououdina M., Guo Z.X. Comparative study of mechanical alloying of (Mg₁Al) and (Mg₁Al₁Ni) mixtures for hydrogen storage” *Journal of Alloys and Compounds*, 336(222–231), (2002).
- [24] Hsu C.J., Kao P.W., Ho N.J. Ultrafine-grained Al–Al₂Cu composite produced in situ by friction stir processing. *Scripta Materialia* 53(341–345), (2005).
- [25] Lumley R.N., Schaffer G.B. Precipitation induced densification in a sintered Al–Zn–Mg–Cu alloy. *Scripta Materialia* 55(207–210), (2006).
- [26] Yıldırım M., Özyürek D., Gürü M. The Effects of Precipitate Size on the Hardness and Wear Behaviors of Aged 7075 Aluminum Alloys Produced by Powder Metallurgy Route. *Arab J Sci Eng*, 41(4273–4281), (2016).
- [27] Özyürek D., Yılmaz, R., Kibar, E. The effect of retrogression parameters in RRA treatment on tensile of 7075 aluminium alloys. *J. Fac. Eng. Archit. Gaz. Univ.* 27(193–203), (2012).
- [28] Isadere A.D., Aremo, B., Adeoye, M.O., Olawale, O.J., Shittu, M.D. Effect of heat treatment on some mechanical properties of 7075 aluminium alloy. *Mater. Res.* 16(190–194), (2013).
- [29] Reda Y., Karim, R.A., Elmahallawi, I. Improvements in mechanical and stress corrosion cracking properties in Al-alloy 7075 via retrogression and reaging. *Mater. Sci. Eng. A* 485(468–475), (2008).
- [30] Fakioglu A.; Özyürek, D.; Yılmaz, R., Effects of different heat treatment conditions on fatigue behavior of AA7075 alloy. *High Temp. Mater. Process.* 32(345–351), (2012).