



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



Al - Zn - Mg - Cu alaşımının kristalografisine RRA ısııl işlemi etkilerinin incelenmesi

Investigation of RRA heat treatment effects on Al - Zn - Mg - Cu alloy crystallography

Yazarlar (Authors): Gzde ALTUNTAŐ¹, Bülent BOSTAN²

ORCID¹: 0000-0003-4504-0850

ORCID²: 0000-0002-6114-875X

Bu makaleye řu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Altuntaş G. ve Bostan B., "Al - Zn - Mg - Cu alaşımının kristalografisine RRA ısııl işlemi etkilerinin incelenmesi", *Politeknik Dergisi*, 25(2): 871-877, (2022).

Eriřim linki (To link to this article): <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.919492

Al – Zn – Mg – Cu Alaşımının Kristalografisine RRA Isıl İşlemi Etkilerinin İncelenmesi

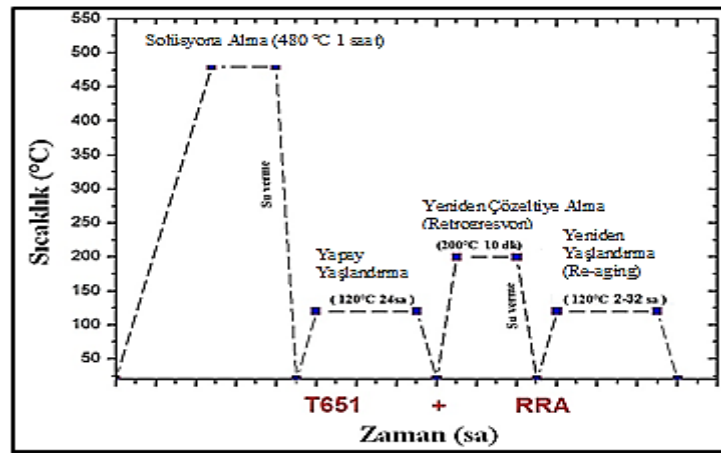
Investigation of RRA Heat Treatment Effects on Al - Zn - Mg - Cu Alloy Crystallography

Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ RRA ısıtma işlemi/ RRA Heat Treatment
- ❖ Kristalografi/Crystallography
- ❖ Çökeltiler/ Precipitates

Grafik Özet (Graphical Abstract)

- ❖ Bu çalışmada RRA ısıtma işleminin sertliğe ve Kristalografiye etkileri ayrıntılı olarak araştırılmıştır. /In this study The effects of RRA heat treatment on hardness and Crystallography have been investigated in detail.



Şekil. RRA Isıl Çevrimi Figure.RRA Thermal Cycle

Amaç (Aim)

Bu çalışmanın temel amacı 7075 Al alaşımına uygulanan RRA ısıtma işleminin kristalografiye etkisini araştırmaktır. /To investigate the effect of RRA heat treatment applied to 7075 Al alloy on crystallography

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Bu çalışmada 7075 Al alaşımına RRA ısıtma işlemiyle 2-4-8-16-24-32 saat yeniden yaşlandırma (re-aging) yapılmıştır. /In this study, 7075 Al alloy was re-aged for 2-4-8-16-24-32 hours by RRA heat treatment.

Özgünlük (Originality)

RRA ısıtma işleminin kristalografiye etkisinin ayrıntılı araştırılmasıyla özgünlüğü yüksek bir çalışmadır. /RRA is a highly specific study with detailed investigation of the effect of heat treatment on crystallography.

Bulgular (Findings)

Yapılan RRA ısıtma işlemi sonucu elementel ölçümler, çökelti dağılımları, düzlemler arası mesafe ve mikro gerinim değerleri bulundu. (Elemental measurements, precipitate distributions, spacing between planes and mikro strain value were found as a result of RRA heat treatment)

Sonuç (Conclusion)

C24R numunesinde en yüksek sertlik ve C8R numunesinde en yüksek mikro gerinim elde edilmiştir. (The highest hardness was obtained in the C24R sample and the highest mikro strain in the C8R sample)

Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards) Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

Al – Zn – Mg – Cu Alaşımının Kristalografisine RRA Isıl İşlemi Etkilerinin İncelenmesi

Araştırma Makalesi / Research Article

Gözde ALTUNTAŞ*, Bülent BOSTAN

Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Müh. Bölümü, Gazi Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 18.04.2021 ; Kabul/Accepted : 26.08.2021 ; Erken Görünüm/Early View : 10.09.2021)

ÖZ

Dayanıklılığın, yani mukavemetin ağırlık oranının birincil gereklilik olduğu yapısal uygulamalarda demir esaslı malzemelerin benzer özelliklere sahip malzemelerle yer değiştirmesi gerekir. Isıl işlem görebilir 7075 alüminyum alaşımı, dayanımının çeliklerinkiyle karşılaştırılabilir olması ve otomobil, uçak endüstrisi ile denizcilik uygulamalarında yaygın olarak kullanılması nedeniyle araştırmacıların ortak ilgi alanına giren alüminyum alaşımlarından biri olarak kabul edilir. Yüksek sertlik ve mukavemetinin yanında hafifliği ile savunma endüstrisinin en önemli alaşımlarından biridir. Bu çalışmada ticari olarak satın alınan T651 ısıl işlemi uygulanmış Al – Zn – Mg – Cu alaşımının yeniden çözeltiye alma (retrogresyon) ve farklı yeniden yaşlandırma (re-aging) (RRA) sürelerine bağlı ısıl işlemleri sırasında meydana gelen değişimler, sistematik olarak değerlendirildi. Bu ısıl işlem döngüsü RRA ısıl işleminin ilk basamağı olan yeniden çözeltiye alma (retrogression) işleminde numuneler 200 °C sıcaklıkta 10 dakika sürelerde bekletilerek hemen oda sıcaklığındaki suda soğutulup ardından argon atmosferi korumalı fırında 120 °C sıcaklıkta sırasıyla 2-4-8-16-24-32 saat yeniden yaşlandırma (re-aging) işlemi uygulanmaları ile tamamlanmıştır. Numunelerin makro sertlik ölçümü (HV1) ve SEM mikroyapı incelemeleri yapılmıştır. EDS ve mapping analizleri yapılarak elementel dağılımlar gözlemlenmiştir. X-RD analizleri yapılarak düzlemler arası mesafe ve ısıl işlem süresine göre mikro gerinim değerleri hesaplanmıştır. Çökeltilerin yeniden yaşlandırma süresi arttıkça dağılımları da artmıştır. Yapılan çalışma sonucuna göre en yüksek sertlik değeri 24 saat RRA ısıl işlem yapılan ve en yüksek mikro gerinim 8 saat RRA yapılan malzemede görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Al 7075,RRA ısıl işlemi,kristalografi.

Investigation of RRA Heat Treatment Effects on Al - Zn - Mg - Cu Alloy Crystallography

ABSTRACT

In structural applications where strength, i.e. strength to weight ratio is the primary requirement, iron-based materials must be replaced by materials with similar properties. Heat-treatable 7075 aluminum alloy is considered one of the common interests of researchers due to its strength similar to that of steels and is widely used in automobile, aircraft industry and marine applications. Besides its high hardness and strength, it is one of the most important alloys of the defense industry with its lightness. In this study, the changes that occurred during the retrogression and different re-aging (RRA) times on heat treatments of the commercially purchased T651 heat treated Al - Zn - Mg - Cu alloy were systematically evaluated. This heat treatment cycle; The first step of the RRA heat treatment, the retrogression process (re-solution), the samples are kept at 200 °C for 10 minutes and immediately cooled in water at room temperature and then in an argon atmosphere protected oven at 120 °C for 2-4-8-16-24-32 hours respectively. - aging (re-aging) process has been completed with their application. SEM was used for microstructure studies and macro hardness measurement (HV1) of samples. EDS and map analysis were done and elemental distributions were observed. Micro strain values and the distance between planes were calculated by X-RD analysis. As the re-aging time of the sediments increased, their distribution increased. According to the results of the study, the maximum hardness value was seen in the material with RRA heat treatment for 24 hours.

Keywords: Al 7075,RRA heat treatment,crystallography.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Alüminyum alaşımları genel olarak ısıl işlem görebilen ve ısıl işlem görmeyen tipler olarak sınıflandırılır. Isıl işlem uygulanabilen 7xxx serisi Al – Zn – Mg – Cu alaşımları, sürekli olarak zorlu çalışma koşullarına maruz kaldıkları uçak yapılarında yaygın olarak kullanılmaktadır [1]. Şimdiye kadar, mühendislik uygulamasını tatmin etmek için Al – Zn – Mg – Cu alaşımına pik yaşlanma (T6), aşırı yaşlanma (T7X) ve retrogresyon ve yeniden yaşlanma (RRA) olarak bilinen

üç tipik yapay yaşlandırma işlemi uygulanmıştır. Standart RRA işlemi, Al – Zn – Mg – Cu alaşımının T6 ısıl işleminin yapılmasını, ardından kısa bir süre için yüksek sıcaklıkta yeniden çözeltiye alınıp T6 yaşlanma sıcaklığına ve zamanına benzer düşük bir sıcaklıkta nihai yeniden yaşlandırmayı içerir [2]. İsraili bir uçak firmasında çalışan Cına ve Gan tarafından 1974 yılında patent alınarak geliştirilmiştir [3-4]. En yüksek mukavemete sahip metalürjik durumda (genellikle T6 veya T651 temper olarak adlandırılır) kullanımlarının bir sınırlaması, bu malzemelerin yapısal korozyona (gerilme-korozyon çatlama, pul pul dökülme

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : gozdealtuntas@gazi.edu.tr

korozyonu) karşı düşük direncidir [5-6]. Bu korozyon duyarlılığının kabul edilebilir seviyelere yükseltilmesi, % 30 akma dayanımı kaybı pahasına malzemenin fazla yaşlandırılmasını gerektirir (T76 veya T7651). Mekanik mukavemet ve korozyon direnci arasındaki uzlaşmayı iyileştirmek için, bu alaşımların geleneksel iki aşamalı ısıl işleminin, yeniden çözeltilme alma ve yeniden yaşlandırma (RRA) adı verilen üç aşamalı bir ısıl işleme değiştirilmesi önerilmiştir. T76 ısıl işlem kadar iyi bir gerilme korozyon direnci sunarken, bir T6 ısıl işlemiyle karşılaştırılabilir bir mukavemet sunduğu gösterilmiştir [7]. Al 7075 alaşımı gibi çok bileşenli bir sistemde fazların yapısal tanımlaması, son derece karmaşıktır, çünkü sentez koşullarındaki çok küçük değişiklikler alaşımların atomik dağılımını etkiler. Ana alaşım elementleri arasındaki ilişki Zn: Mg: Cu, birçok araştırmacının aynı alaşımdaki farklı faz türlerini ve çökeltileri tespit etmesine ve dolayısıyla belirli koşullar altında mevcut fazları tanımlamak için farklı deneysel teknikler gerektirmesine neden olmuştur. Al 7075 alaşımının RRA işlemi sırasında prensipte iyileştirmelerden sorumlu olan bir dizi faz çökeltilir. Literatürde aşağıdaki çökelme dizisi önerilmiştir [8].

Katı çözeltilme – GP bölgesi 1– GP bölgesi 2- yarı kararlı η' -kararlı η - T faz- S faz

Guinier-Preston (GP) bölgeleri, Mg ve Zn gibi alüminyumda daha yüksek difüzyon katsayısına sahip alaşım elementleri açısından zengin olan küçük boyutlu yarı küresel çökeltiler olan düşük sıcaklıklarda (160 °C den küçük) görülür [9]. İki tür GP bölgesi vardır: GP-1 bölgeleri ve GP-2 bölgeleri. GP-1 bölgeleri, {001} Al düzlemlerinde Zn ve Al veya Mg'nin dahili sıralamasıyla matrisle uyumludur, GP-2 bölgeleri ise {111} Al düzlemlerinde Zn açısından zengin küme katmanlarıdır [10]. GP bölgeleri yaşlanma sırasında ve yapay yaşlanmanın erken aşamalarında oluşan çökeltiler olarak kabul edilir. GP bölgeleri, (Al) matrisi ile uyumlu bir ilişki içinde olan yarı kararlı çökeltiler olarak kabul edilir. Isıl işlem süresinin artmasıyla birlikte, GP bölgeleri, (Al) matrisiyle yarı uyumlu olan yarı kararlı fazların η' oluşumuna teşvik eder [11]. GP bölgeleri ve η' fazı, Al – Zn – Mg – Cu alaşımlarının mukavemetini artırmak için en etkili çökeltiler olarak kabul edilir [12]. Yarı kararlı η' fazının ana güçlendirme fazı olduğu ve yaşlanmış Al – Zn – Mg – Cu alaşımlarının pik sertleşmesinden sorumlu olduğu düşünülmektedir. η fazı, 350 °C'ye kadar sıcaklıklarda elde edilen tane sınırlarında dağılım eğilimi gösteren MgZn₂ çökeltilerinden oluşur [13]. Uyumsuzdur ve genellikle uyumsuz veya yarı uyumlu bir ara yüzeyde çekirdeklenmektedir. Al matrisi ile uyumsuz sınırlar oluşturur [14-15]. Kararlı faz olan T

fazı, yüksek sıcaklıklarda oluşarak kimyasal bileşiminde yüksek miktarda çinko ve magnezyum elementleri bulundurmaktadır. (AlZn)₄₉Mg₃₂ veya Mg₃Zn₃Al₂ formülü ile karakterize edilen T fazının %20-34 Mg ve %20-65 Zn ile geniş bir bileşim aralığı bulunmaktadır. Çinkonun artmasıyla kafes parametresi değişime uğrayarak 12,29 Å dan 14,71 Å a farklılaşmaktadır. Al-Zn-Mg alaşımlarında düşük sıcaklıklarda T fazının oluşum aralığı daralarak ancak 200 °C' den yüksek sıcaklıklardaki yaşlandırma esnasında meydana gelmektedir. Bu sebepten dolayı yapılan bazı çalışmalarda düşük sıcaklıklarda meydana gelen η fazı, ara faz olarak adlandırılmaktadır. T fazının çekirdeklenmesi için büyük boyutlara ulaşması gerekmekte olup, daha çok büyük çökeltiler barındıran aşırı yaşlanmış alaşımlarda görülmektedir. Alaşımların dayanımlarının artışı üzerine T fazının hiçbir etkisi yoktur [16,25]. Cu içeren fazlar (çoğunlukla Al 7075 alaşımındaki Cu ve Mg içeriği için S fazları), alüminyum matrisindeki daha az difuze olan alaşım elementlerini bileşimlerine entegre eden karmaşık fazlardır. Bu fazlar, 350 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda görülürken, diğer çoklu fazlar, alaşımın erime noktasının altındaki sıcaklıklarda oluşur [13]. Çökeltileri olmayan bölge (Precipitate Free Zone), yaşlandırma uygulanan alaşımlarda öncelikle tane sınırı olmak üzere, alt tane sınırları ve çökeltiler etrafında bulunur. Çökeltileri olmayan bölgenin oluşumu, su verme sonrası ani soğuma sırasında yüksek enerjili tane sınırlarında atom boşluklarının bir araya gelmesiyle, çökeltilerin çekirdeklenmesi bölgelerinin ve çözünen atomların miktarının azalmasıyla meydana gelir. PFZ, Al-Zn-Mg alaşımlarında mekanik ve korozyon özelliklerinde etkili rol oynamaktadır. Deneysel olarak 120 - 180 °C' lerde uygulanan yaşlandırma ısıl işlemi sonucunda artan yaşlandırma sıcaklığının daha geniş PFZ alanını oluşturduğu gözlenmiştir [17-18].

Yapılan bu çalışmada ise mevcut Al 7075-T651 alaşımına ısıl işlemi sonrası RRA ısıl işlemi uygulanarak oluşan çökeltilerin dağılımları, elementel analiz farkları ve mikro gerinim değerinin kristalografi üzerindeki etkileri incelenmiştir.

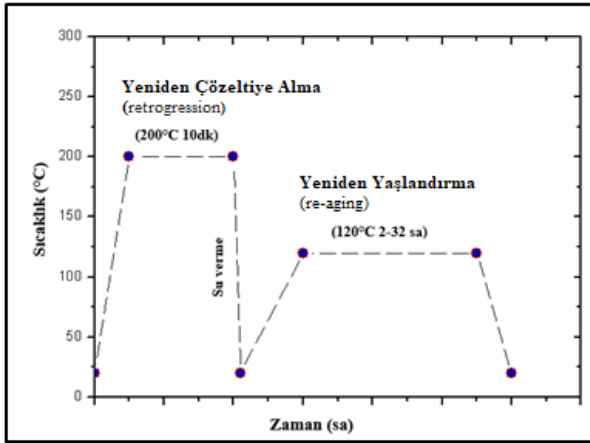
2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

Deneysel çalışmada; T651 ısıl işlemi uygulanmış Seykoç Alüminyum firmasından ticari olarak temin edilen 7075 alüminyum levha malzeme kullanılmıştır. Malzemenin kimyasal bileşimi % ağırlık olarak Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Al 7075 alaşımının kimyasal kompozisyonu (Chemical composition of 7075 Al alloy)

Standart (TS-EN 573-3)	Elementler (%)								
	Fe	Si	Mn	Cr	Ti	Cu	Mg	Zn	Al
Min				0,18		1,2	2,1	5,1	Kalan
Max	0,5	0,4	0,3	0,28	0,2	2	2,9	6,1	

T651 ısı işlemi sonrası uygulanan RRA ısı çevrimi Şekil 1’de verilmiştir. Bu ısı işlem SFL (sc 1206 model) marka kamara tip yatay yüksek sıcaklık fırınında argon atmosferi altında gerçekleştirilmiştir. Buna göre 200°C sıcaklıkta 10 dk süre bekletilerek yeniden çözeltiye alma ve 120°C’de sırasıyla 2-4-8-16-24-32 saat süre ile yeniden yaşlandırılmışlardır. Geleneksel RRA ısı işlemini teşkil ettiklerinden dolayı yeniden yaşlandırma süresine bağlı olarak numuneler C2R - C32R aralığında kodlanmışlardır. Al 7075 -T651 alaşımı (S) ve Al 7075 -T651 alaşımına 200 °C de 10 dk yeniden çözeltiye alma sonrası su verilen numune (Q) olarak kodlandırılmıştır.



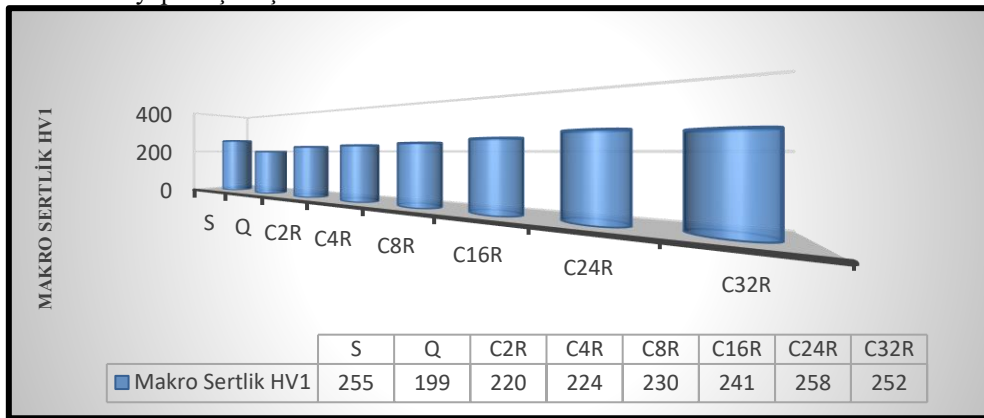
Şekil 1. RRA Isıl Çevrimi (RRA Thermal Cycle)

RRA ısı işlemi sonunda numunelerin makrosertlik testleri Shimadzu Sertlik cihazında her bir numune için en az 5 farklı noktadan sertlik değeri alınarak ortalama HV1 değerleri tespit edilmiştir. Mikro yapıların açığa çıkarılması için geleneksel zımparalama parlatma işlemleri uygulanarak ardından Keller çözeltisi hazırlanarak dağlama yapılmıştır. Mikro yapı incelemeleri JEOL JSM-6060LV marka Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile gerçekleştirilmiştir. Bu cihaza ait enerji dağılımı spektrometresi (EDS) ünitesi ile çökeltilerin kimyasal değişimlerini görebilmek için noktasal EDS analizleri yapılmıştır. Çökeltilerin

elementel dağılımları mapping analizi ile gösterilmiştir. Isıl işlem sonrası numunelerde çökeltileri tespit etmek amacıyla X-ışınları kırınımı analizi Bruker Marka D8 Advanced marka cihazda Cuka Prob kullanılarak $\lambda=1.5406$ Saniyede $0,08^\circ$ tarama hızı koşullarında gerçekleştirilmiştir. Taramalar $16-85^\circ$ aralığında yapılmıştır. FHHM (Full width at half maximum) değeri XRD analizi yapılırken hesaplanmıştır.

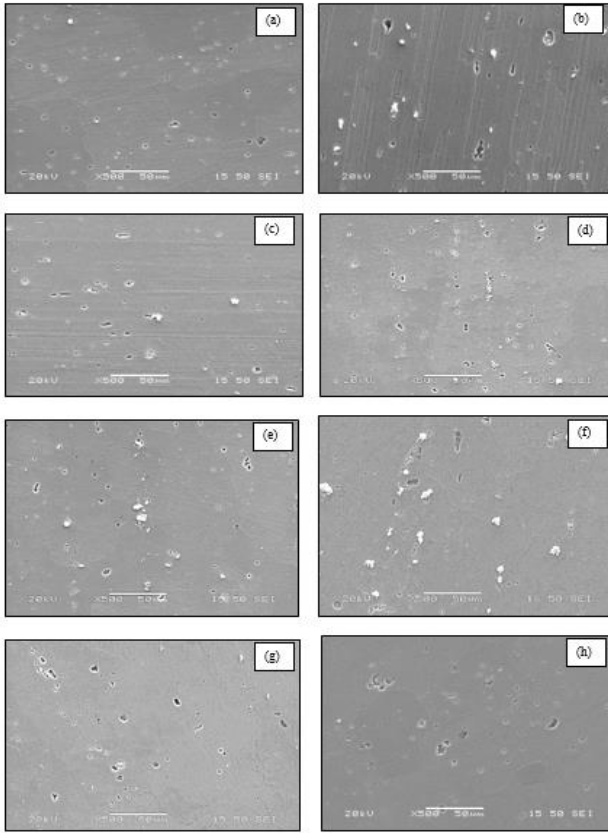
3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Yapılan RRA ısı işlem sonrası sertlik değerleri Şekil 2 de gösterilmiştir. Başlangıç malzemesi olan Al 7075 – T651 (S) numunesinin sertliği 255 HV1 olarak ölçülmüştür. Yeniden çözeltiye alındıktan sonra suda soğutulan (Q) numunenin sertliği 199 HV1 olarak ölçülmüştür. Sertliğin düşme nedeninin ısı işlem ile oluşturulan faz yapısının çözünerek bozunması olarak düşünülmektedir. Ayrıca çözeltiye alma ısı işleminden sonra hızlı soğutmanın çökeltiden arınmış bölge miktarını artırdığı ve heterojen çökelti oluşumunu bastırdığı da yapılan çalışmalarla açıklanmıştır [19]. Yeniden çözeltiye alınıp suda soğutulan ve 120°C sıcaklıkta yeniden yaşlandırılan numunelerin sertliği 24 saate (C24R) kadar artmakta ve sonra azalmaktadır. 24 saatlik yeniden yaşlandırma işlemi sonucu numunenin sertliği maksimum değere ulaşarak 258 HV1 olarak ölçülmüştür. Yeniden yaşlandırma süresi 32 saate (C32R) çıkarıldığında malzemenin sertliği 252 HV1 olarak ölçülmüştür. 24 saatten sonra artan yeniden yaşlandırma süresi ile sertliğin azalmasını neden aşırı yaşlanmadan dolayı malzemenin kafes yapısındaki çarpılmanın azalmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. 24 saat yaşlandırmadan sonra çökelti boyutunda aşırı büyüme başladığından sertlik değerinin azalmasına neden olmaktadır. Artan yaşlandırma zamanı ile sertliğin belli bir noktaya kadar artmasının nedeninin ise ısı işlem etkisiyle oluşan GP bölgeleri, yarı kararlı ve kararlı ikincil fazlardan kaynaklanmaktadır [20,24].



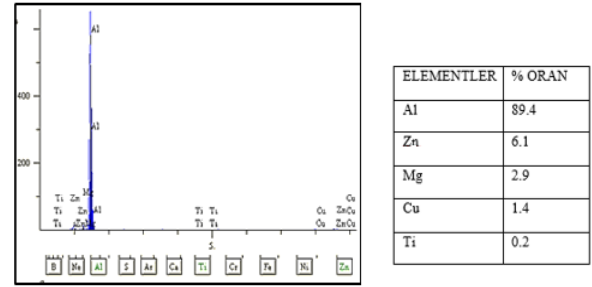
Şekil 2. Numunelerin makro sertlik değerleri (Macro hardness values of the samples)

Şekil 3'te Al 7075-T651 alaşımına RRA ısıl işlemi uygulanmış numunelerin SEM mikroyapı görüntüleri verilmiştir. Uygulanan ısıl işlem rotalarının nihai mikroyapıda oluşan faz ve çökeltilerin; boyut, morfoloji ve hacim oranlarının malzemenin mekanik özellikleri üzerine çok ciddi etkileri olmaktadır. Yeniden yaşlandırma süresi arttıkça çökeltilerin boyutları ve dağılımları da artmıştır. C32R numunesinde ise kritik büyüme çapına geldiğinden ve aşırı yaşlanmaya geçildiğinden sertlikte azalma meydana geldiği düşünülmektedir. Ayrıca, RRA, tane sınırlarında bulunan çökeltilerin geometrik özellikleri arasındaki farkı uyarlayabilir. Başka bir deyişle, tane sınırları çökeltilerini kabalaştırabilir, sürekli ağlarını kırabilir ve dağılımlarını daha düzgün ve ayırık hale getirebilir [21].



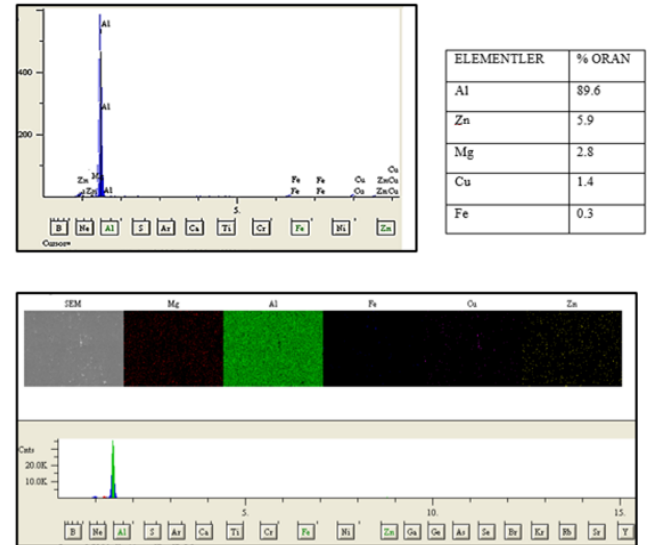
Şekil 3 a) S b) Q c) C2R d) C4R e) C8R f) C16R g) C24R h) C32R numunelerinin SEM görüntüleri ((a) S b) Q c) C2R d) C4R e) C8R f) C16R g) C24R h) C32R SEM images of samples)

Şekil 4 ve 5 SEM mikroyapı görüntülerine yapılan EDS ve mapping analizi sonuçlarını göstermektedir. Koyu siyah faz ikinci parçacıklar, ana elementler olarak Al, Zn ve Mg içeren az miktarda Cu ve Ti bulunan bileşimlerinde Fe içermeyen çökeltiler olduğu bulunmuştur.



Şekil 4. Siyah fazların EDS ve mapping analizi (EDS and mapping analysis of black phases)

Beyaz ikinci faz parçacıkların bileşimlerinde ise Fe bulunmuştur. Genel olarak spektrumlara bakıldığında ısıl işlem süresinin ikinci faz parçacıklarının bileşimini değiştirmedikçe gösterdi. Bu parçacıklar ısıl işlemlerle çözünmezler ve katılma işlemi sırasında ötektik reaksiyonlardan türetilirler.



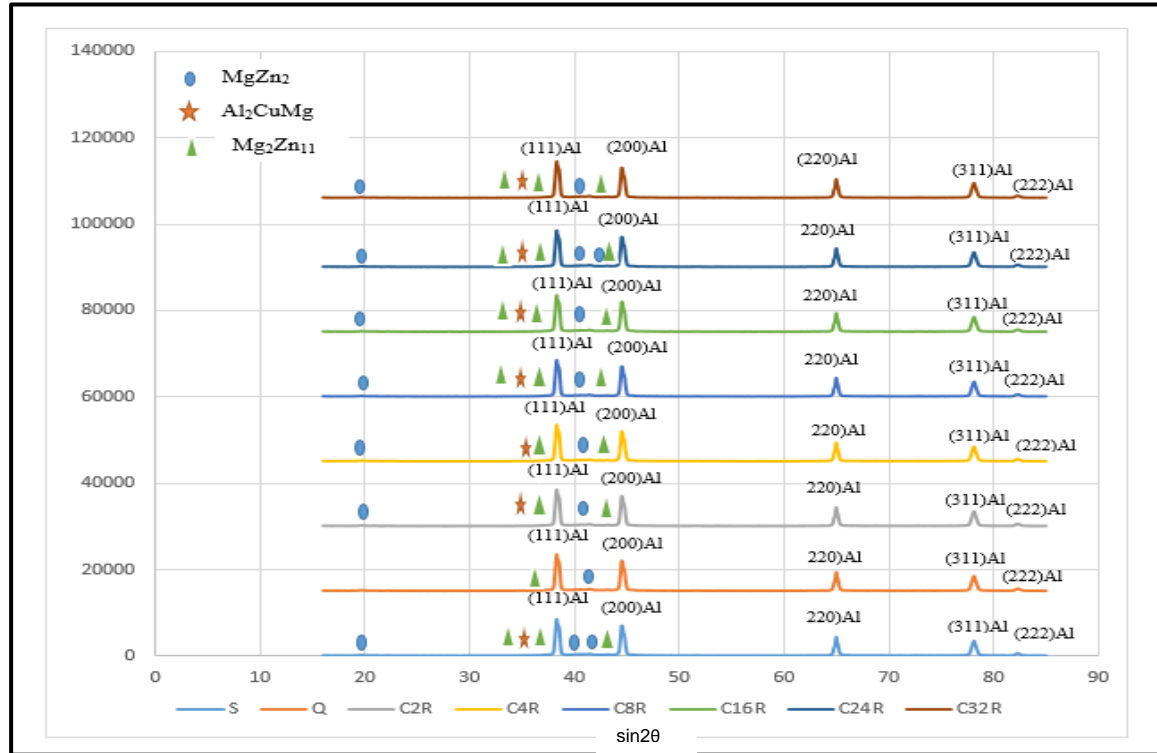
Şekil 5. Beyaz fazların EDS ve mapping analizi (EDS and mapping analysis of white phases)

Şekil 6 numunelere yapılan XRD analizlerini göstermektedir. $MgZn_2$, Al_2CuMg ve Mg_2Zn_{11} çökeltilerinin yeniden yaşlandırma süresi arttıkça dağılımları ve şiddetleri artmaktadır. Fakat 19.61° deki çökeltilerin şiddeti ısıl işlem ile azalmıştır. Al için PDF 03-065-2869, $MgZn_2$ için PDF 01-077-1177, Al_2CuMg için PDF 00-028-0014 ve $MgZn_{11}$ PDF 03-065-1853 kullanılmıştır. Çizelge 2 formül 1 de yer alan Bragg yasası kullanılarak hesaplanan düzlemler arası mesafeleri

ve (hkl) düzlemlerini göstermektedir. Bragg yasası formülünde belirtilen (n) kırınım derecesi, (λ)dalga boyu ,(d) düzlemler arası mesafe ve ($\sin\theta$) gelen X ışını ile kristal düzlemi arasında ki açıdır. En yüksek pik şiddetlerinin olduğu düzlemler hesaplanmıştır. Değerlere bakıldığında $\sin\theta$ değeri arttıkça d mesafesi azalmaktadır.

Bragg Yasası $n\lambda=2d\sin\theta$

(1)



Şekil 6. Numunelere yapılan XRD grafiği (XRD graphs of samples)

Çizelge 2. Numunelerin bragg yasasına göre d ve (hkl) değerlerinin sonuçları (The results of the d and (hkl) values of the samples according to the Bragg's law)

Al Kübik				
d	2θ	h	k	l
2.3381	38.471	1	1	1
2.02485	44.72	2	0	0
1.43178	65.095	2	2	0
1.22103	78.227	3	1	1
1.16905	82.434	2	2	2

Al ₂ CuMg Ortorombik				
d	2θ	h	k	l
2.311	38.941	1	3	1

MgZn ₂ Hexagonal				
d	2θ	h	k	l
4.52325	19.61	1	0	0
2.22971	40.421	1	1	2
2.18669	41.252	2	0	1

Mg ₂ Zn ₁₁ Kübik				
d	2θ	h	k	l
2.4688	36.362	2	2	2
2.2856	39.391	1	2	3
2.0742	43.601	0	1	4

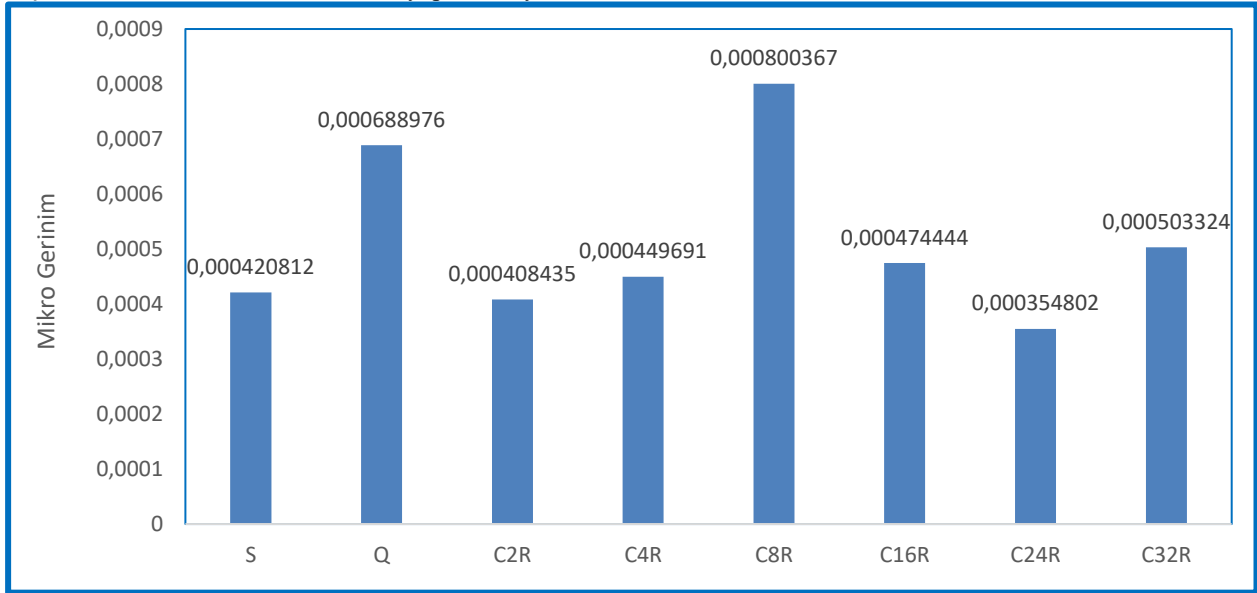
Şekil 7 numunelerin mikro gerinim değerini göstermektedir. Yapılan XRD analizleri sonucu numunelerin FWHM (Full Width at Half Maximum) değerleri de hesaplanarak formül 2 de ki Scherrer's Formülüne göre mikro gerinim değerleri hesaplanmıştır.

Formüle gösterilen (ϵ) mikro gerinim, (β) full width at half maximum değerini göstermektedir. FWHM değeri (111) düzleminde alınmıştır. Bu düzlem, alüminyum alaşımları için önerilen XRD yoğun pik düzlemine karşılık gelir [22]. Bulunan değerlere göre Q

numunesinin başlangıç olan S numunesine göre gerinim değerinin artmasının nedeni ise aşırı doymuş katı eriyik halinin yapıda ki mikro gerinimi arttırdığı düşünülmektedir. 2-4 saat yapılan yeniden yaşlandırma ısıl işlemi ile Q numunesinde ki gerinim azaltılmıştır. 8 saat yeniden yaşlandırılan C8R numunesinin mikro gerinim değeri en yüksek hesaplanmıştır. Bu numunede ki mikro gerinim değerinin yüksek çıkmasının nedeni 8 saat yapılan ısıl işlem ile yapıda kararsızlıkların başladığı düşünülmektedir. 16-24 saat yapılan yeniden

yaşlandırma ısıl işlem ile yapı daha homojen ve kararlı hale gelmeye başladığından mikro gerinim değeri azalmaya başlamıştır. 32 saat yapılan ısıl işlem ise aşırı yaşlanma evresine geçildiği için tekrar yapıdaki mikro gerinimler artmaya başlamıştır [23].

$$\text{Scherrer formülü} \quad \varepsilon = \beta * \cos\theta / 4 \quad (2)$$



Şekil 7. Numunelerin mikro gerinim değerleri (Micro strain values of samples)

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Çalışmada hazırlanan S , Q , C2R , C4R ,C8R, C16R , C24R, C32R numunelerinin sertlik değeri en yüksek C24R numunesinde elde edilmiştir. Yapılan SEM analizi sonucunda çökeltilerin boyutları belli bir kritik çapa kadar artarak sertliği arttırmıştır. C32R numunesinde ise 32 saat yeniden yaşlandırma yapılması numunede çökeltilerin kritik çapa ulaşarak sertliğinin azalmaya başladığı görülmüştür. Aynı zamanda 32 saat yeniden yaşlandırma yapılmasıyla aşırı yaşlanma evresine geçildiğini göstermiştir. EDS analizi sonucunda mikroyapıda oluşan beyaz ve siyah fazların elementel dağılımına bakıldığında beyaz fazlarda Fe elementi, siyah fazda ise Fe elementinin olmadığı tespit edilmiştir. XRD analizleriyle ısıl işlem süresine göre çökelti dağılımlarının arttığı gözlemlenmiştir. Yeniden yaşlandırma işlemi başladığında 19.61° de ki çökeltilerin şiddeti azalmıştır. $\sin 2\theta$ değeri arttıkça d mesafesi azaldığı gösterilmiştir. Mikro gerinim hesaplamaları sonucu C8R numunesinin değeri en yüksek elde edilmiştir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma 07/2019-15 numaralı proje kapsamında Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi tarafından desteklenmektedir.

ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

Gözde ALTUNTAŞ:Deneylerin yapılması ve makalenin yazımını gerçekleştirmiştir.

Bülent BOSTAN:Deney sonuçları analiz etmiştir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Vikas, P., Sudhakar, I., MohanaRao, G., & Srinivas, B. Aging behaviour of hot deformed AA7075 aluminium alloy. *Materials Today: Proceedings*. 41: 1013-1017, (2021).
- [2] Reda, Y., Abdel-Karim, R., & Elmahallawi, I. Improvements in mechanical and stress corrosion cracking properties in Al-alloy 7075 via retrogression and reaging. *Materials Science and Engineering: A*, 485(1-2): 468-475,(2008).
- [3] Cina B, Gan R. Reducing the susceptibility of alloys, particularly aluminum alloys, to stress corrosion cracking the United States patent 3856584 (1974).
- [4] Cina B, Ranish B. Aluminum industrial product. Pittsburgh: American Society for Metals; (1974).
- [5] Yasakau, K. A., Tedim, J., Zheludkevich, M. L., & Ferreira, M. G. S. Smart self-healing coatings for corrosion protection of aluminium alloys. In Handbook of smart coatings for materials protection Woodhead Publishing. 224-274,(2014).
- [6] Mondolfo, L. F. Aluminum alloys: structure and properties. Elsevier. (2013).
- [7] Li, J. F., Birbilis, N., Li, C. X., Jia, Z. Q., Cai, B., & Zheng, Z. Q. Influence of retrogression temperature and time on the mechanical properties and exfoliation corrosion behavior of aluminium alloy AA7150. *Materials Characterization*, 60(11): 1334-1341, (2009).
- [8] Zhang, M., Liu, T., He, C., Ding, J., Liu, E., Shi, C., & Zhao, N. Evolution of microstructure and properties of Al-Zn-Mg-Cu-Sc-Zr alloy during aging treatment. *Journal of Alloys and Compounds*, 658: 946-951, (2016).
- [9] Buha J, Lumley RN, Crosky AG. Secondary aging in an aluminum alloy 7050. *Materials Science and Engineering:A*, 492:1-10, (2008).
- [10] Berg, L. K., Gjønnnes, J., Hansen, V. X., Li, X. Z., Knutson-Wedel, M., Schryvers, D., & Wallenberg, L. R. GP-zones in Al-Zn-Mg alloys and their role in artificial aging. *Acta materialia*, 49(17): 3443-3451, (2001).
- [11] Ma, K., Wen, H., Hu, T., Topping, T. D., Isheim, D., Seidman, D. N., ... & Schoenung, J. M. Mechanical behavior and strengthening mechanisms in ultrafine grain precipitation-strengthened aluminum alloy. *Acta Materialia*, 62: 141-155,(2014).
- [12] Ogura, T., Otani, T., Hirose, A., & Sato, T. Improvement of strength and ductility of an Al-Zn-Mg alloy by controlling grain size and precipitate microstructure with Mn and Ag addition. *Materials Science and Engineering: A*, 580:288-293,(2013).
- [13] Naeem, H. T., & Mohammed, K. S. RETROGRESSION AND RE-AGING OF ALUMINUM ALLOYS (AA 7075) CONTAINING NICKEL. *Digest Journal of Nanomaterials & Biostructures (DJNB)*, 8(4): (2013).
- [14] Park, J. K., & Ardell, A. J. Microstructures of the commercial 7075 Al alloy in the T651 and T7 tempers. *Metallurgical Transactions A*, 14(10):1957-1965, (1983).
- [15] Lorimer, G. W., & Nicholson, R. B. Further results on the nucleation of precipitates in the Al- Zn- Mg system. *Acta Metallurgica*, 14(8):1009-1013,(1966).
- [16] Yang, J. G., & Ou, B. L. Influence of microstructure on the mechanical properties and stress corrosion susceptibility of 7050 Al-alloy. *Scandinavian journal of metallurgy*, 30(3):158-167, (2001).
- [17] Raghavan, M. Microanalysis of precipitate free zones (PFZ) in Al-Zn-Mg and Cu-Ni-Nb alloys. *Metallurgical Transactions A*, 11(6): 993-999,(1980).
- [18] Ringer, S. P., & Hono, K. Microstructural evolution and age hardening in aluminium alloys: atom probe field-ion microscopy and transmission electron microscopy studies. *Materials characterization*, 44(1-2): 101-131,(2000).
- [19] Gündüz, S., & Kaçar, R. Strengthening of 6063 aluminium alloy by strain ageing. *Kovove Mater*, 46:345-350, (2001).
- [20] Tanner, D. A., & Robinson, J. S. Effect of precipitation during quenching on the mechanical properties of the aluminium alloy 7010 in the W-temper. *Journal of Materials Processing Technology*, 153 :998-1004,(2014).
- [21] Xia, Y. P., Pan, Q. L., Li, W. B., Liu, X. Y., & He, Y. B. Influence of retrogression and re-aging treatment on corrosion behaviour of an Al-Zn-Mg-Cu alloy. *Materials & Design*, 32(4):2149-2156,(2011).
- [22] ASM, ASM Metals Handbook 10 materials characterization. Fifth printing. (1998).
- [23] Altuntaş, G., Altuntaş, O., & Bostan, B. Characterization of Al-7075/T651 Alloy by RRA Heat Treatment and Different Pre-deformation Effects. *Transactions of The Indian Institute of Metals* 1-9,(2021).
- [24] Özer, A. The microstructures and mechanical properties of Al-15Si-2.5Cu-0.5Mg/(wt%)B4C composites produced through hot pressing technique and subjected to hot extrusion. *Materials Chemistry and Physics*, vol.183:288-296,(2016).
- [25] Ateş, H., Ozdemir, A. T., Uzun, M., & Uygur, I. Effect of deep sub-zero treatment on mechanical properties of AA5XXX aluminum plates adjoined by MIG welding technique. *SCIENTIA IRANICA*, vol.24(4) :1950-1957, (2017).
- [31] Mazumder M., Ahmed R., Ali A.W. and Lee S.J., "SEM and ESEM techniques used for analysis of asphalt binder and mixture: A state of the art review", *Construction and Building Materials*, 186: 313-329, (2018).
- [32] AlHumaidan F.S., Hauser A., Rana M.S., Lababidi H.M.S. and Behbehani M., "Changes in asphaltene structure during thermal cracking of residual oils: XRD study", *Fuel*, 150: 558-564, (2015).
- [33] Xu T. and Huang X., "Study on combustion mechanism of asphalt binder by using TG-FTIR technique", *Fuel*, 89(9): 2185-2190, (2010).
- [34] Zhang R., Wang H., Gao J., You Z. and Yang X., "High temperature performance of SBS modified bio-asphalt", *Construction and Building Materials*, 144: 99-105, (2017).