



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 23.09.2019
Kabul Tarihi : 10.12.2019

Received Date : 23.09.2019
Accepted Date : 10.12.2019

NORMAL KATILAŞTIRMA YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN Al-Mg-Ti-B ALAŞIMININ MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ

MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF Al-Mg-Ti-B ALLOY PRODUCED BY CONVENTIONAL SOLIDIFICATION

Hakan YAYKAŞLI ^{1*} (ORCID: 0000-0001-5729-9662)

Musa GÖĞEBAKAN ² (ORCID: 0000-0001-5104-2874)

¹ Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye

² Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fizik Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Hakan YAYKAŞLI, hakanyaykasli@gmail.com

ÖZET

Bu çalışmada, $Al_{78}Mg_{15}Ti_6B_1$ ve $Al_{77}Mg_{15}Ti_6B_2$ (at.%) alaşımları normal katılaştırma yöntemi ile külçeler halinde üretilmiştir. Alaşımların yapısal ve morfolojik özellikleri, X-ışını difraksiyonu (XRD), taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi (EDX) ile incelendi. Alaşımların mekanik özellikleri Vickers mikrosertlik(HV) cihazı ile incelenmiştir. Sonuçlar Mg, Ti ve B atomlarının; α -Al, Al_3Mg_2 ve Al_3Ti katı çözeltilisini oluşturmak üzere Al kafesi içinde çözüldüğünü göstermiştir. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) sonuçları alaşımların mikro yapısının çubuksu fazlardan oluştuğunu göstermiştir. $Al_{77}Mg_{15}Ti_6B_2$ alaşımın mikrosertlik değeri $Al_{78}Mg_{15}Ti_6B_1$ alaşımın mikrosertlik değerinden daha yüksek bulunmuştur. Bu sonuç Bor ilavesinin alaşımın mikrosertlik değerinde artışa neden olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Hafif alaşımlar, Mikrosertlik, Mikroyapı, Katılaştırma, Bor

ABSTRACT

In this study, $Al_{78}Mg_{15}Ti_6B_1$ and $Al_{77}Mg_{15}Ti_6B_2$ (at. %) alloys were produced as ingots by conventional solidification (CS). The structural and morphological properties of the samples were studied by using X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy with energy-dispersive X-ray spectroscopy (SEM/EDX). The mechanical properties the alloys were investigated by Vickers microhardness (HV) tester. Results indicated that all Mg, Ti and B atoms were dissolved into the Al lattice to form α -Al, Al_3Mg_2 and Al_3Ti solid solution. Scanning electron microscopy (SEM) results showed that the microstructure of the alloys consists of rod-like phases. The hardness of $Al_{77}Mg_{15}Ti_6B_2$ alloy was higher than that of $Al_{78}Mg_{15}Ti_6B_1$ alloy. This result shows that the addition of boron leads to an increase in the hardness value of the alloy.

Keywords: Light Alloys, Micro-Hardness, Microstructure, Solidification, Boron

GİRİŞ

Alaşımlar bazı üstün özelliklerinden dolayı sanayinin birçok alanında yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Özellikle hafif alaşım malzemelerin üretilmesi, özelliklerinin geliştirilmesi ve üretim maliyetin düşürülmesi gibi konular araştırmacıların ilgisini çekmekte ve bu konuda yapılan çalışmalar artarak devam etmektedir (Cai ve ark., 2013). Al (2.70 g/cm^3), Mg (1.74 g/cm^3), Si (2.33 g/cm^3), B (2.47 g/cm^3), Ti (4.51 g/cm^3) gibi yoğunlukları düşük elementlerden oluşan alaşımlar hafif alaşımlar olarak bilinmektedir. Bu elementleri içeren Al-esaslı ve Mg-esaslı alaşımların; özgül ağırlıklarının düşük, korozyona karşı dirençli ve kolay şekillendirilebilir olması, ısı iletkenliğinin yüksek, birim fiyatının düşük olması gibi özelliklerinden dolayı çeşitli endüstriyel uygulamalarda yaygın bir kullanımı bulunmaktadır (Ma ve ark., 2015). Örneğin, Mg-Al-Ti-B dördü alaşımına, titanyum borür katkılılandırılmasıyla oluşturulan malzemenin yüksek akma ve çekme dayanımını sağladığı tespit edilmiş ve bu malzemenin hafif uygulamalar için potansiyelinin olduğu görülmüştür (Lu ve ark., 2002).

Al-esaslı alaşımlarının her geçen gün yeni kullanım alanları açılmakta olup bu kullanım alanları; başta otomotiv sanayi olmak üzere ev eşyalarından uzay teknolojisine kadar geniş bir alana yayılmıştır. Diğer taraftan Al-esaslı ve Mg-esaslı alaşımlar mikroyapısı tamamen farklı olan ve yararlı malzemeler olarak bilinen amorf, nanokristal ve kuazikristal yapıda üretilebilmektedir. Amorf, nanokristal ve kuazikristal malzemeler birçok üstün özellikler sergilemektedir. Al-esaslı hafif malzeme üretiminde genellikle Mg, Si, Ti, Zn ve Cu gibi elementler tercih edilmektedir. Bu elementlerle Al-esaslı ikili, üçlü ve çoklu alaşım üretimi, özelliklerinin araştırılması ve geliştirilmesi konusunda yapılan çalışmalarda, alaşımı oluşturan element sayısı ve bu elementlerin alaşım içerisindeki oranları alaşımın özelliklerini etkileyen en önemli faktör olduğu rapor edilmiştir. Aynı zamanda alaşımların mikro yapıları ile özellikleri arasında doğrudan bir ilişkinin olduğu belirtilmiştir. Malzemelerin mikroyapısı tekli veya çoklu intermetallik fazlardan oluşmaktadır. Malzemenin mikroyapısını oluşturan fazların sayısı, boyutu, malzeme içindeki dağılımı gibi durumlar malzemelerin özelliklerini etkileyen önemli faktörlerdir. Nano boyutlu intermetallik fazların malzeme boyunca homojen dağılımı malzemenin başta mekanik özellikleri olmak üzere birçok özelliğini olumlu olarak etkilemektedir (Povstugar ve ark., 2009). Al-esaslı ve mikroyapısı nano parçacıklardan oluşan bir alaşımın mekanik özelliği, kristal yapıyla alaşımların mekanik özeliğinden üç kat daha iyidir (Gögebakan, 2002).

Alaşımların özellikleri ile mikroyapıları arasındaki ilişki tespit edildikten sonra istenilen mikroyapıda alaşım üretmek için birçok teknik geliştirilmiştir (Shi ve ark., 2017). Bu tekniklerden en çok kullanılanları; hızlı katılaştırma, mekaniksel alaşımlama, ark-ergitme ve gaz atomizasyon gibi tekniklerdir. Bu teknikler kullanılarak birçok Al-esaslı alaşım amorf, nano kristal ve kuazikristal yapıda başarı bir şekilde üretilmiştir. Bu teknikler hafif alaşım üretiminde de tercih edilen tekniklerdir. Hafif alaşımların külçe halinde üretiminde tercih edilen diğer bir teknik normal katılaştırma tekniğidir (Candan & Candan, 2018). Normal katılaştırma tekniğinin tercih edilmesinin en önemli nedenleri; alaşım üretme süresinin kısa olması, malzemelerin istenilen geometrik yapıda ve miktarda üretilebilmesi ayrıca üretim maliyetinin ucuz olmasıdır (Başaranel & Saklakoğlu, 2012). Bunun yanı sıra eritme ve döküm işleminin hızlı ve seri üretim yapılabilir olması normal katılaştırma yönteminin sanayide yaygın olarak tercih edilme nedenlerindedir. Al-esaslı alaşımlar konusunda birçok çalışma olmasına rağmen, Al-Mg-Ti-B alaşımları konusunda çalışma bulunmamaktadır.

Bu çalışmada Al-esaslı alaşımların yapısal ve mekanik özelliklerine Mg, Ti ve B elementlerinin etkisini incelemek için $Al_{78}Mg_{15}Ti_6B_1$ ve $Al_{77}Mg_{15}Ti_6B_2$ alaşımlarının normal katılaştırma yöntemi ile külçeler halinde üretilmiştir. Alaşım içerisindeki Mg ve Ti oranları sabit tutularak, Al oranı azaltılıp, B oranı artırılarak bu değişimin üretilen alaşımın mikroyapısındaki ve mekanik özelliklerdeki etkisi araştırılmıştır. İki farklı kompozisyonda üretilen alaşımların mikro yapısı ve faz analizi X-ışını difraksiyonu (XRD) ile incelendi. Alaşımların morfolojik özellikleri taramalı elektron mikroskopu (SEM) ve enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi (EDX) ile karakterize edilmiştir. Alaşımların mekanik özelliği Vickers mikrosertlik(HV) testi ile karakterize edilmiştir.

MATERYAL YÖNTEM

Bu çalışmada incelenen $Al_{78}Mg_{15}Ti_6B_1$ ve $Al_{77}Mg_{15}Ti_6B_2$ alaşımları normal katılaştırma tekniği ile külçe halinde üretilmiştir. Alaşımı oluşturan başlangıç metalleri Alüminyum (Al), Magnezyum (Mg), Titanyum (Ti) ve Bor (B) elementleri $99 \pm 0.4\%$ saflıkta, merck firmasından alınmıştır. Alaşımlar MTI- SP-15A taşınabilir yüksek frekanslı indüksiyon ısıtma ünitesiyle ergitme işlemi yapılmıştır. Ergitme işlemleri grafik pota içerisinde gerçekleştirilmiştir. Alaşımın ergitme işlemi sırasında oksitlenmesini önlemek amacıyla grafit potanın ağız kısmından yüksek saflıkta argon gazı verilmiştir. Ergitme işlemi, ilk olarak alüminyum ile başlanılmıştır. Alüminyum sıvı hale geçince indüksiyon ısıtıcının akımını ve voltajını artırarak sıvı alüminyuma farklı oranlarda saf titanyum ve bor elementleri ilave edilmiştir. Alaşımın akışkan sıvı durumuna geldiğinde eriyik alaşımın sıcaklığı $750 \text{ }^\circ\text{C}$ 'ye düşürülerek bu sıcaklıkta magnezyum elementi ilave edilmiştir. Sıvı alaşımın sıcaklığı her aşamada CEM DT 8869H çift lazerli uzaktan sıcaklık ölçer ile yapılmıştır. Alaşımın ergitme işlemi 30 dakika sürmüştür. Her beş dakika bir 30 saniye karıştırma işlemi yapılmıştır. Karıştırıcı malzeme olarak paslanmaz çelik kullanılmıştır. Daha sonra oda sıcaklığındaki metal(pik döküm) kalıbına içerisine sıvı eriyik alaşımın döküm işlemi yapılmıştır. Oda sıcaklığı şartlarında soğutularak külçe alaşım elde edilmiştir. Elde edilen alaşımların üretimi aynı şartlarda yapılmıştır. Alaşımların soğuma işlemlerinin bitmesiyle beraber yapısal ve mekanik özelliklerinin araştırılması için metalografik hazırlıklar yapılmıştır. Külçe alaşımlar, struers minitom marka hassas kesme cihazı ile kesilerek numuneler incelenebilir boyutlara getirilmiştir. Daha sonra metkon marka DMT-CON iletken akrilik soğuk kalıplama ile bakalite alınarak, kaba 180 mikron, ince 1200 mikron zımparalama işlemlerinden sonra 1 ve 2 mikronluk parlatma çuhaları ile alaşımların yüzeyleri parlatılmıştır. Alaşımların mikroyapı ve faz analizleri X-ışını difraksiyonu (XRD) ile yapıldı. Bunun için Panalytical Philips X'Pert PRO marka XRD cihazı, 40 kV ve 30 mA olarak ayarlı, monokromatik $CuK\alpha$ radyasyonu ($\lambda = 0.154056 \text{ nm}$) şartlarında kullanıldı. XRD analizleri; 20° den 100° ye kadar

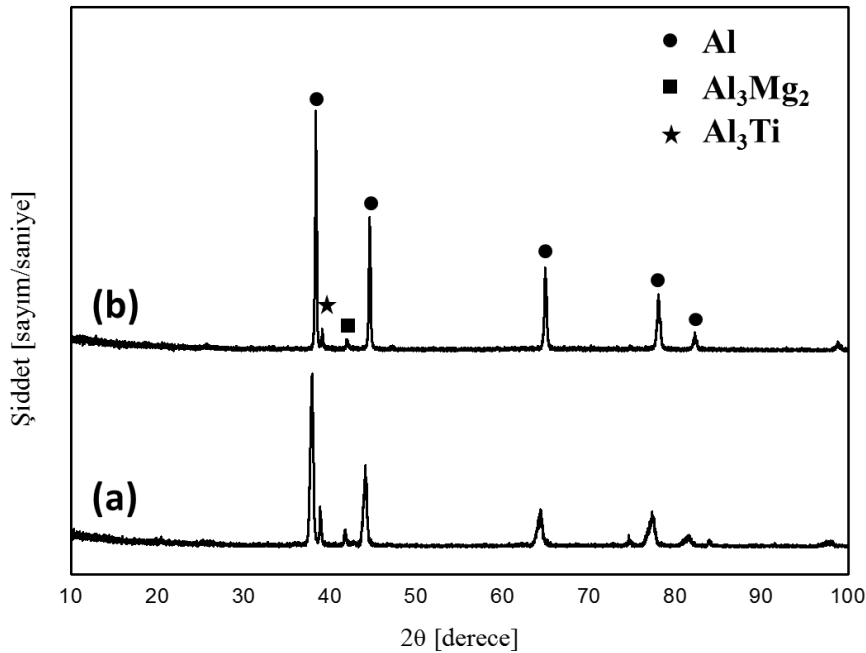
0.02° adım aralığında ve her adımda 1 s bekletilerek ölçümler alınmıştır. Soğuk bakalite alınarak parlatılan alaşımların morfolojik özellikleri ZEISS EVO LS10 marka SEM cihazında, EHT:20 keV potansiyeli BSD dedektörü kullanılarak incelenmiştir. Ayrıca SEM cihazına bağlı Bruker Marka EDX dedektörü ile alaşımın kompozisyon oranları belirlenmiştir. Alaşımların mikrosertliklerini ölçmek için Vickers uçlu Shimadzu HMV-2 model mikrosertlik cihazı kullanılmıştır. Ölçümler; 9.807N (HV1) yükte 15 s bekletilerek gerçekleştirilmiştir. Vickers mikrosertlik değeri aşağıdaki eşitlikle (Eş.1) hesaplanmıştır.

$$HV = \frac{2 P \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{d^2} = \frac{1.854 (P)}{d^2} \quad (1)$$

Burada; P uygulanan yük, d uygulanan yükün oluşturduğu izin köşegen uzunluğu, θ elmas ucun zıt yüzeyleri arasındaki açı olup, 136° 'dir. Ölçüm yapılan her bir numunenin 10 farklı bölgesinden alınan mikrosertlik değerlerinin ortalaması alınmıştır.

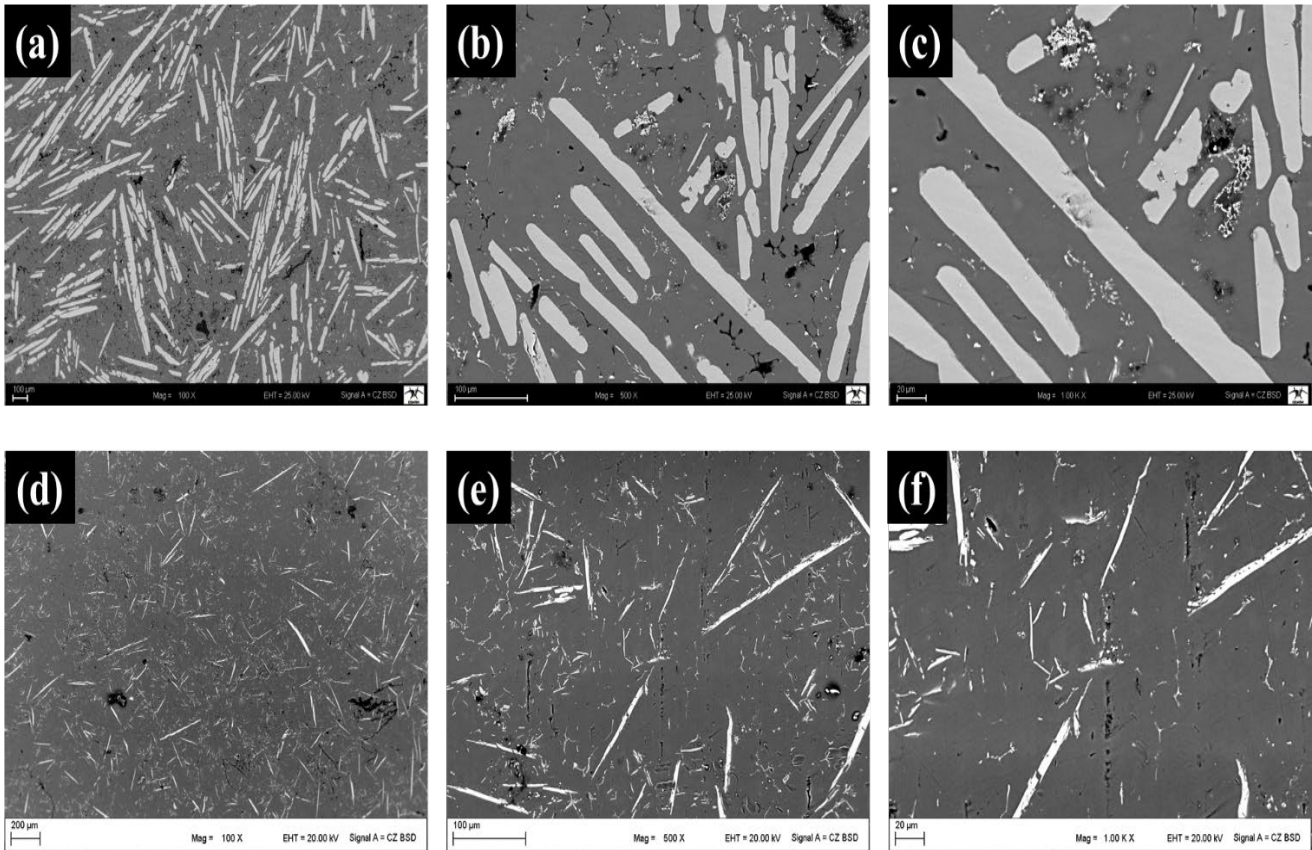
BULGULAR VE TARTIŞMA

Normal katılaştırma ile üretilen $Al_{78}Mg_{15}Ti_6B_1$ ve $Al_{77}Mg_{15}Ti_6B_2$ alaşımların mikro yapıları ve faz analizleri XRD ile incelenmiştir. Alaşımların faz tanımlamaları X'Pert High Score yazılımı, ICDD-PDF 2 kütüphanesi ile belirlenmiştir. Bu alaşımların XRD grafiği Şekil 1'de verilmiştir. Şekil 1'de görüldüğü gibi normal katılaştırma ile üretilen alaşımların mikro yapıları; kübik α -Al (ICDD Card No: 01-089-2837), hegzagonal Al_3Mg_2 (ICDD Card No: 00-001-1132) ve hegzagonal Al_3Ti (ICDD Card No: 00-014-0451) gibi intermetalik fazlardan oluşmaktadır. Şekil 1'de açıkça görüldüğü gibi bu fazlar arasında α -Al fazı en şiddetli yansıma pikine sahiptir ve bu fazlardan yansıyan pikler; $2\theta = 38.37^\circ, 44.60^\circ, 64.92^\circ, 78^\circ$ ve 82.19° açılara karşılık etmektedir. Her iki alaşımın mikroyapısının aynı fazlardan oluşmasının nedeni, her iki alaşımın da aynı elementleri içermesindedir. Bu alaşımların mikroyapısında B içerikli bir fazın gözlenmemesi, alaşım içerisindeki B oranının az olması ve B'nin Al içerisinde çözünübilirlik miktarının fazla olması olarak tahmin edilmiştir. Alaşımda bulunan B'nin tamamı, Al içerisinde çözülerek α -Al fazını oluşturmuştur. α -Al fazı, saf Al fazından farklıdır ve belli miktarda B, Mg ve Ti içermektedir. Bazı durumlarda α -Al fazı α -Al(Mg, Ti, B) şeklinde de ifade edilebilmektedir. Literatürlerdeki çalışmalarda benzer sonuçlar bulunmaktadır (Bu ve ark., 2013; Huashun ve ark., 2004). Diğer taraftan Şekil 1'de görüldüğü gibi XRD sonuçların en şiddetli pikin α -Al fazından yansıması alaşımın mikro yapısındaki α -Al fazının hacim oranının en büyük olduğunu göstermektedir. Normal katılaştırma ile üretilen $Al_{78}Mg_{15}Ti_6B_1$ ve $Al_{77}Mg_{15}Ti_6B_2$ alaşımların mikro yapılarında gözlenen α -Al, Al_3Mg_2 ve Al_3Ti fazları, Al-Mg ve Al-Ti faz diyagramları ile uyum içindedir.



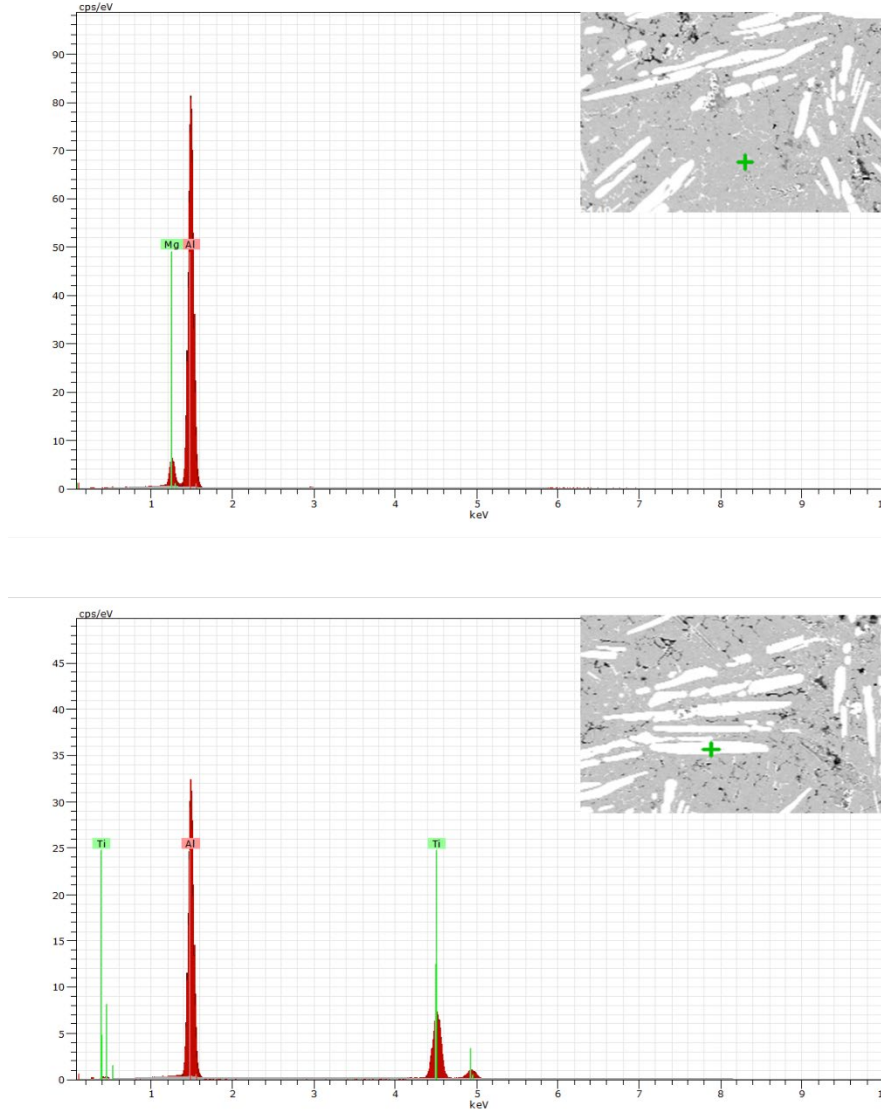
Şekil 1. (a) $Al_{78}Mg_{15}Ti_6B_1$ ve (b) $Al_{77}Mg_{15}Ti_6B_2$ alaşımlarının XRD desenleri

Normal katılaştırma ile alaşımların oluşumu; alaşımı oluşturan elementlerin eriyerek homojen bir karışım oluşması, eriyiğin metal kalıba dökümü ve eriyiğin soğutularak katılaştırma süreci şeklinde üç aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamaların birincisinde alaşımı oluşturan elementlerin erime sıcaklıkları birbirlerinden farklı olduğu için ($Al=933.5$ K, $Mg=922$ K, $Ti=1946$ ve $B=2365$ K) tüm elementlerin eriyerek homojen hale gelmesinden emin olunmalıdır. İkinci aşamada ise eriyik halindeki karışımın dökümünün yapılacağı kalıbın ısı iletim katsayısının yüksek olması ve eriyiğin ısınsının kolayca dışarı vermesinin sağlanması, son aşamada ise malzemenin istenen mikro yapıyı oluşturacak şekilde katılaştırmasının sağlanması gereklidir. Bu son aşamada eriyik soğumaya başladığında önce çekirdeklenme ve daha sonra büyüme başlar ve alaşımın mikro yapısını oluşturan fazlar oluşur. Çekirdeklenme ve büyüme eriyiğin tamamı katılaşıncaya kadar devam eder. Katılaştırılan malzemenin mikro yapısı ve morfolojik özelliği soğuma hızına bağlıdır. Normal katılaştırma ile üretilen $Al_{78}Mg_{15}Ti_6B_1$ ve $Al_{77}Mg_{15}Ti_6B_2$ alaşımlarının morfolojik yapılarını incelemek için numuneler SEM ile incelendi. Alaşımların SEM görüntüleri Şekil 2’de görülmektedir. Her iki alaşımın da SEM görüntüleri; 100x, 500x ve 1000x kat büyütme ile elde edilmiştir. Bu alaşımların SEM fotoğraflarında görüldüğü gibi mikro yapıda en belirgin olarak görünen beyaz çubuksu yapılardır. Bunun yanında koyu renkli temel alan ve oldukça az miktarda noktamsı veya küçük kırksı yapılarda görülmektedir. SEM fotoğrafında gözlenen bu üç farklı yapı üç farklı faza karşılık gelmekte ve bu sonuç XRD sonuçları ile uyum içindedir. Alaşımların morfolojisinin çubuksu yapılardan oluşması, katılaştırmanın tek yönlü olduğunu göstermektedir. Daha önce yapılan bir çalışmada benzer yöntemle üretilen $Al-Mg-Ti$ alaşımlarında çubuksu fazlar tespit edilmiştir (Huashun ve ark., 2004). Diğer taraftan Şekil 2 (d,e,f)’de görüldüğü gibi $Al_{77}Mg_{15}Ti_6B_2$ alaşımının morfolojik yapısının oluşturan parçacıkların boyutu, $Al_{78}Mg_{15}Ti_6B_1$ alaşımındaki parçacıkların boyutundan daha küçüktür. Bu sonuç alaşımdaki B oranının artması ile tane boyutunun küçüldüğünü göstermektedir. Yani bor oranının artışı alaşımın mikroyapısında tane inceltici etkiye neden olmuştur. Bu sonuçlar daha önceki çalışmalarla benzerlik göstermektedir (Çağlar & Kurnaz, 2003). Diğer taraftan normal katılaştırma ile üretilen külçe alaşımların tane sınırları arasında boşluklu (porosity) yapılar oluşmuştur, bunun nedeni alaşımı oluşturan elementlerin farklı ergime sıcaklıklarının olmasından ve alaşımın oda sıcaklığında soğutularak katılaştırmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Başaranel ve Saklakoğlu, 2012). Alaşımın yüzeyinde oluşan bu boşluklar üretilen malzemenin kırılma olmasına ve kristal kusuru olarak tanımlanan malzeme içinde dislokasyonların oluşmasına neden olmaktadır. Xu-Guang An ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada benzer sonuçlara ulaştıklarını rapor etmişlerdir (An ve ark., 2016).



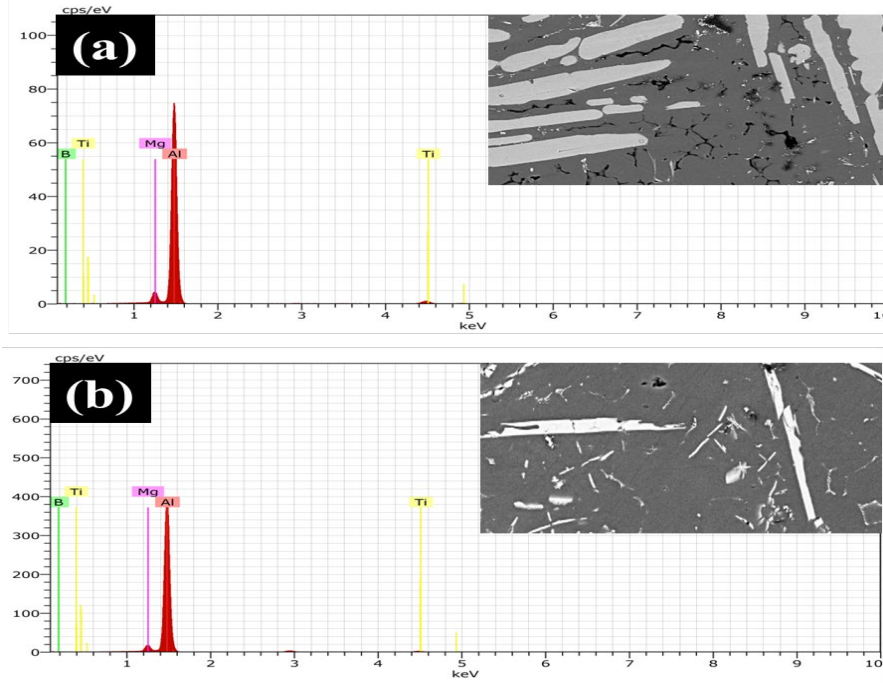
Şekil 2. (a, b ve c) $Al_{78}Mg_{15}Ti_6B_1$ alaşımının, (d, e ve f) $Al_{77}Mg_{15}Ti_6B_2$ alaşımının sırasıyla 100x, 500x, 1000x kat büyütülmüş SEM görüntüleri

Şekil 2'deki SEM fotoğrafında görülen ve alaşımların mikro yapısını oluşturan parçacıkları daha detaylı analiz edebilmek için numunelerin noktasal EDX analizleri yapılmış ve sonuçlar Şekil 3'de verilmiştir. Noktasal EDX analizi sonucunda, SEM fotoğraflarında görülen çubuksu yapıların alüminyum ile titanyumun katı çözeltili fazlarına ait olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuç çubuksu yapıların Al_3Ti fazı olduğunu doğrulamaktadır. Al_3Ti fazı Şekil 1'deki XRD analizinde de gözlenmiştir. Şekil 2'deki koyu renkli bölgelerin ise intermetalik $\alpha-Al$, Al_3Mg_2 fazlarına ait olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar Şekil 1'deki XRD sonuçları ile uyumludur.

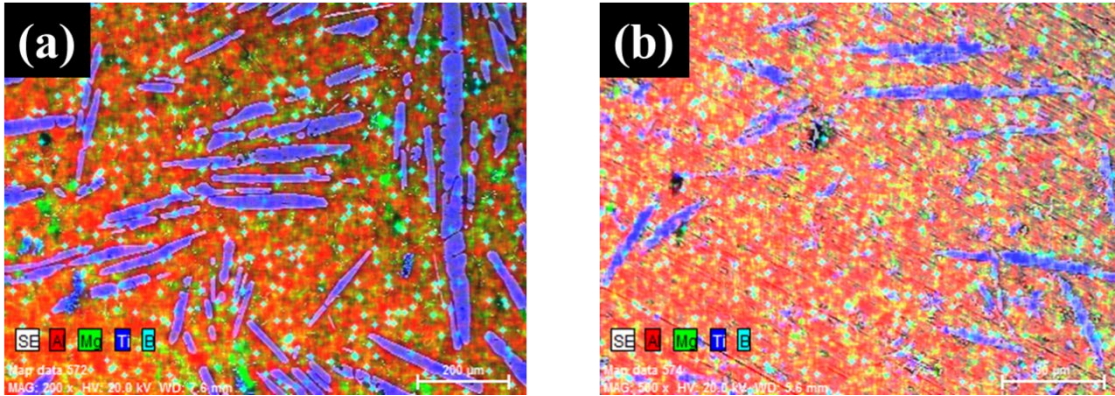


Şekil 3. $Al_{78}Mg_{15}Ti_6B_1$ alaşımının noktasal EDX analiz sonucu

$Al_{78}Mg_{15}Ti_6B_1$ ve $Al_{77}Mg_{15}Ti_6B_2$ alaşımlarını oluşturan elementlerin erime sıcaklıkları birbirinden oldukça farklı olduğu için, üretilen alaşımın homojen olması ve başlangıç kompozisyonuna uyumlu olması önemlidir. Bunun için normal katılaştırma ile üretilen alaşımların alan taramalı EDX analizleri yapılmış ve sonuçlar Şekil 4(a ve b)'de verilmiştir. Şekil 5(a ve b)'de sırasıyla $Al_{78}Mg_{15}Ti_6B_1$ ve $Al_{77}Mg_{15}Ti_6B_2$ alaşımlarının renkli haritalandırma ile yapılmıştır. Şekil 5(a ve b)'de alaşımı oluşturan elementlerin her biri farklı renklerde gösterilmektedir; Alüminyum kırmızı, magnezyum yeşil, titanyum lacivert ve bor turkuaz renkleri ile temsil edilmiştir. Bu sonuçlara göre üretilen alaşımın kompozisyonunun başlangıç kompozisyonu ile uyumlu ve dağılımın homojen olduğu görülmüştür. Bu sonuçlara göre; farklı erime sıcaklığına sahip elementlerle alaşımları külçeler halinde, homojen ve başlangıç kompozisyonuna uygun bir şekilde üretmek için normal katılaştırma metodu uygun bir tekniktir.

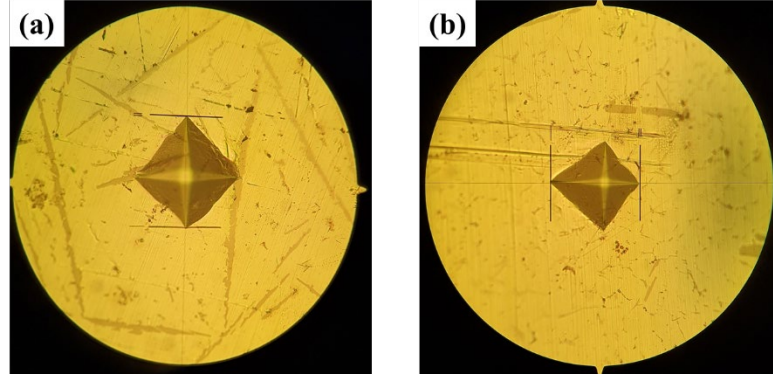


Şekil 4. (a) $Al_{78}Mg_{15}Ti_6B_1$ ve (b) $Al_{77}Mg_{15}Ti_6B_2$ alaşımlarının alan taramalı EDX analiz sonucu



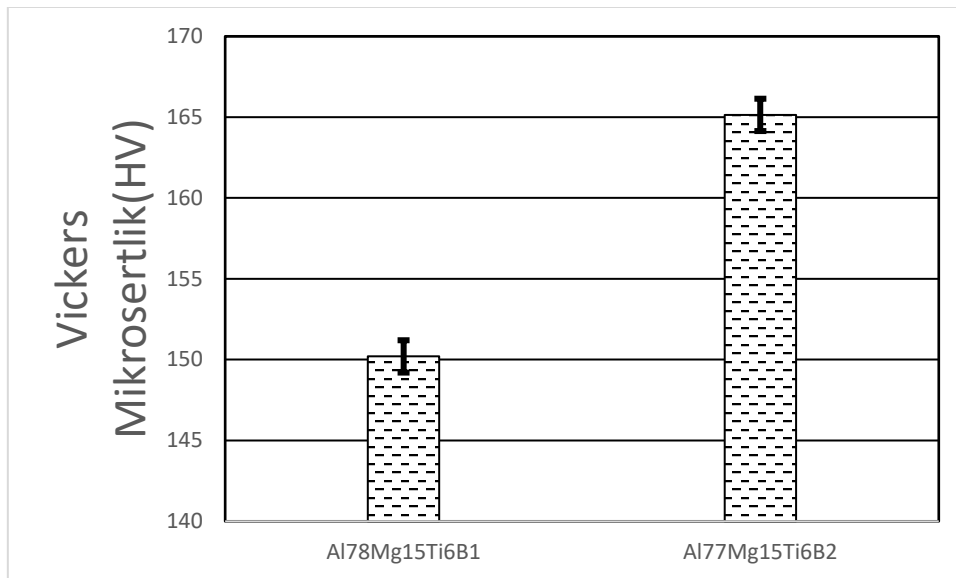
Şekil 5. (a) $Al_{78}Mg_{15}Ti_6B_1$ ve (b) $Al_{77}Mg_{15}Ti_6B_2$ alaşımlarının renkli haritalandırılmış EDX analiz sonucu

Bu çalışmanın amacı yoğunlukları düşük elementlerle külçe halinde hafif alaşımlar üretmektir. Hafif alaşımlara olan ilginin asıl nedeni üstün mekanik özelliklerden dolayı geniş uygulama alanlarının olmasıdır. Bu nedenden dolayı üretilen alaşımların mekanik özelliklerinin bilinmesi önemlidir. Malzemelerin mekanik özellikleri genellikle mikrosertlik testi ve çekme testi vb. testlerle belirlenmektedir. Bu çalışmada alaşımların mekanik özellikleri için mikrosertlik testi seçildi. Bunun nedeni bu testin kolay olması, sonuçların güvenilir olması ve malzemenin diğer mekanik özellikleri hakkında genel bir bilgi vermesidir. Alaşımların mikrosertlik değerlerini ölçmek için önce uygun miktarda numuneler alınarak, bu numuneler bakalite alınmış, zımparalama ve parlatma işlemleri de yapılarak ölçüme hazır hale getirilmiştir. Numunelerin mikrosertlik değerini ölçmek için yüzeye bir yük uygulanmış ve bu yükün yüzey üzerinde oluşturduğu iz ölçülerek mikrosertlik değeri hesaplanmıştır. Malzemenin mikrosertliği, bu izin büyüklüğü ile ters orantılıdır. Şekil 6(a ve b)'da sırasıyla $Al_{78}Mg_{15}Ti_6B_1$ ve $Al_{77}Mg_{15}Ti_6B_2$ alaşımlarının mikrosertlik testi sonucu numunelerin yüzeylerinde oluşan izler görülmektedir. Her numuneden on farklı yüzeyinden ölçümler alınmış ve bu değerlerin ortalaması alınarak mikrosertlik değerleri hesaplanmıştır.



Şekil 6. (a) $Al_{78}Mg_{15}Ti_6B_1$ ve (b) $Al_{77}Mg_{15}Ti_6B_2$ alaşımının mikrosertlik test sonucu yüzeyde oluşan izlerin görünümü.

Normal katılaştırma tekniği ile üretilen alaşımlara herhangi bir ısıl işlem uygulanmamıştır. Elde edilen alaşımlar döküm sonrası bakalite alma, zımparalama ve parlatma yapılarak mikrosertlik ölçümü yapılmıştır. Şekil 7’de $Al_{78}Mg_{15}Ti_6B_1$ ve $Al_{77}Mg_{15}Ti_6B_2$ alaşımının mikrosertlik değerleri verilmiştir. Şekil 7’de görüldüğü gibi $Al_{78}Mg_{15}Ti_6B_1$ ve $Al_{77}Mg_{15}Ti_6B_2$ alaşımlarının mikrosertlik değerleri sırasıyla; $152,8 \pm 5$ HV ’den $165,14 \pm$ HV olarak hesaplanmıştır. $Al_{77}Mg_{15}Ti_6B_2$ alaşımının mikrosertlik değerleri $Al_{78}Mg_{15}Ti_6B_1$ alaşımının mikrosertlik değerinden daha yüksektir. Bu sonuçlara göre alaşım içindeki bor oranının artması, alaşımın mikrosertlik değerini artırmıştır. Bunun nedeni bor’un tane inceltici özellik göstermesi ve bu nedenle kristal boyutunun azalması ve fazların küçülmesi gibi etkiler olmuştur. Bor oranının artmasıyla kristal yapı boyutundaki düşüş gerilme enerjisini artırarak malzemenin mikrosertlik değerinin artmıştır. Bunun yanı sıra alaşımların mikrosertliğinin artmasına etki eden faktörler arasında alaşımın katılaşması sırasında ısı kaybetmesi ile oluşan plastik deformasyon sertleşmesi ve alaşım içerisinde çözünen atomların oluşturduğu katı eriyik sertleşmesi gibi etkenler de vardır (Çağlar & Kurnaz, 2003). Bu gibi etkenler dislokasyon hareketlerini engeller ve malzemenin daha sert olmasını sağlamaktadır (Pracha ve ark., 2019). Bor elementinin tane inceltici özelliği daha önce yapılan çalışmada da rapor edilmiştir (Hekimoğlu ve ark., 2019). Diğer taraftan malzemelerin mikro yapısının değişimi ile malzemenin mekanik özelliklerinde önemli değişimler olduğu bilinmektedir (Avar ve ark., 2019).



Şekil 7. $Al_{78}Mg_{15}Ti_6B_1$ ve $Al_{77}Mg_{15}Ti_6B_2$ alaşımının mikrosertlik değerleri

SONUÇLAR

$Al_{78}Mg_{15}Ti_6B_1$ (at.%) ve $Al_{77}Mg_{15}Ti_6B_2$ (at.%) alaşımları normal katılaştırma yöntemi ile külçeler halinde üretilmiştir. Alaşımların mikro yapısında α -Al, Al_3Mg_2 ve Al_3Ti şeklinde üç farklı faz gözlenmiştir. Bu alaşımların morfolojik yapısı, beyaz çubuksu yapılardan, koyu renkli temel alan ve oldukça az miktarda noktamsı veya küçük kırık yapılarından oluşmaktadır. Alaşımların mikro yapısını oluşturan fazların dağılımının homojen olduğu EDX haritalaması ile tespit edilmiştir. Herhangi bir ısı işlem uygulanmayan $Al_{78}Mg_{15}Ti_6B_1$ ve $Al_{77}Mg_{15}Ti_6B_2$ alaşımlarının mikrosertlik değerleri sırasıyla; $152,8 \pm 5$ HV 'den $165,14 \pm$ HV olarak hesaplanmıştır. Alaşım içindeki bor oranının artması, alaşımın mikrosertlik değerinin artırmasına neden olmuştur. Bu çalışma; farklı erime sıcaklığına sahip elementlerle alaşımları külçeler halinde, homojen ve başlangıç kompozisyonuna uygun bir şekilde üretmek için normal katılaştırma metodu uygun bir teknik olduğunu ortaya koymuştur.

Teşekkür

Bu çalışma Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (BAP) tarafından (Proje No: 2017/2-42 D) desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- An, X. G., Liu, Y., Ye, J. W., Wang, L. Z., & Wang, P. Y. (2016). Grain refining efficiency of SHS Al-Ti-B-C master alloy for pure aluminum and its effect on mechanical properties. *Acta Metallurgica Sinica (English Letters)*, 29(8), 742–747.
- Avar, B., Şimşek, T., & Gögebakan, M. (2019). Mekanik Alaşımlama ile Üretilen Nanokristal $Fe_{60}Al_{30}Cu_{10}$ (at.%) Tozların Yapısal ve Mekanik Özellikleri. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 7(1), 184–192.
- Başaranel, M., & Saklakoğlu, N. (2012). SIMA prosesiyle üretilmiş ETİAL 180 alüminyum alaşımına eser miktarlarda magnezyum ve kalay ilavesinin etkilerinin incelenmesi. *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 3(2), 83–90.
- Bu, L. P., Gao, Y., Li, G. L., Zhang, W. D., & De, X. H. (2013). Effect of B_2O_3 on microstructures and mechanical properties of cast Mg-Al-Ti-B alloys. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China (English Edition)*, 23(8), 2260–2264.
- Çağlar, B., & Kurnaz, C. (2003). Sıkıştırma Döküm Yöntemi ile Üretilen Ti-B ilaveli ZA-12 Alaşımının özelliklerinin İncelenmesi. *SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7(2.Sayı).
- Cai, Y., Wang, C., & Zhang, J. (2013). Microstructural characteristics and aging response of Zn-containing Al-Mg-Si-Cu alloy. *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, (7), 659–664.
- Candan, S., & Candan, E. (2018). Comparative study on corrosion behaviors of Mg-Al-Zn alloys. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China (English Edition)*, 28(4), 642–650.
- Gögebakan, M. (2002). Mechanical properties of AlYNi amorphous alloys. *Journal of Light Metals*, 2(4), 271–275.
- Hekimoğlu, A. P., Turan, Y. E., İsmailoğlu, İ. İ., Akyol, M. E., & Şen, E. (2019). Effect of grain refinement with boron on the microstructure and mechanical properties of Al-30Zn alloy. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 34(1), 523–534.
- Huashun, Y., Kim, J. D., & Kang, S. B. (2004). The formation of AlN and TiN particles during nitrogen bearing gas injection into Al-Mg-Ti melt. *Materials Science and Engineering A*, 386(1–2), 318–325.
- Lu, L., Lai, M. ., Toh, Y. ., & Froyen, L. (2002). Structure and properties of Mg–Al–Ti–B alloys synthesized via mechanical alloying. *Materials Science and Engineering: A*, 334(1–2), 163–172.
- Ma, P., Zhang, D., Zhuang, L., & Zhang, J. (2015). Effect of alloying elements and processing parameters on the Portevin – Le Chatelier effect of Al – Mg alloys. *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, 22(2), 16–21.

- Povstugar, I. V., Streletskii, A. N., Permenov, D. G., Kolbanev, I. V., & Mudretsova, S. N. (2009). Mechanochemical synthesis of activated Me-BN (Me:Al, Mg, Ti) nanocomposites. *Journal of Alloys and Compounds*, 483(1–2), 298–301.
- Pracha, O., Trudonoshynb, O., Randelzhofer, P., Körner, C., & Durst, K. (2019). Effect of Zr, Cr and Sc on the Al–Mg–S–Mn high-pressure die casting alloys. *Materials Science & Engineering A*, 759(May), 603–612.