

SİNERLEME, YAŞLANDIRMA VE KRİYOJENİK ISIL İŞLEMLERİNİN AA2014-B₄C KOMPOZİT YAPISINA VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİ

Sinan AKSÖZ*, **A. Tamer ÖZDEMİR****, **Recep ÇALIN*****, **Zemzem ALTINOK****
Bülent BOSTAN**

*Gazi Üniversitesi, Atatürk Meslek Yüksek Okulu, Makine Metal

**Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalürji Malzeme Müh. Bölümü

***Kırıkkale Üniversitesi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü

sinanaksoz@gazi.edu.tr, tozdemir@gazi.edu.tr, calin34@kku.edu.tr, zaltunok@gmail.com,
bostan@gazi.edu.tr

(Geliş/Received: 30.11.2012; Kabul/Accepted: 08.10.2013)

ÖZET

Bu çalışmada, gaz atomizasyon yöntemi ile üretilen AA2014 alaşım tozlarına, basınçlı infiltrasyon yöntemiyle, %10 ve %20 B₄C takviye edilerek kompozit yapı elde edilmeye çalışılmıştır. Üretilen AA2014-B₄C kompozit yapısına uygulanan; sıvı faz sinterleme, yaşlandırma ve kriyojenik soğutma işlemlerinin sertliğe ve mikro yapıya etkileri belirlenmeye çalışılmıştır. Mikro yapıların incelemelerinde SEM ve MAP analizlerinden yararlanılarak, ısıl işlemlerin mikro yapı etkileri belirlenmeye çalışılmıştır. Kriyojenik soğutma işlemi sonrasında elde edilen sertlik değerleri, sinterleme ve yaşlandırma sonrasında elde edilen sertlik değerlerinden yüksek çıkması, kriyojenik işlemin bilhassa yaşlandırılabilir alaşımlar üzerinde etkin rol oynayabileceğini göstermektedir.

Anahtar kelimeler: AA2014, Kriyojenik, Yaşlandırma

EFFECTS OF SINTERING, AGEING AND CRYOGENIC TREATMENTS ON STRUCTURAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF AA2014-B₄C COMPOSITE

ABSTRACT

In this study, powders of gas atomized AA2014 and solid B₄C were mixed and then used in an infiltration system. To attain particulate reinforced aluminum composites, fine particles of B₄C were added in right proportions of 10% and 20% respectively. Micro structures of AA2014-B₄C composite were then analyzed systematically, where at first hardness measurement were applied after liquid phase sintering, ageing and cryogenic cooling. Samples were then analyzed with scanning electron microscopy (SEM) techniques to determine the effect of several heat treatment steps on the microstructure. It was found that hardness values particularly obtained right after cryogenic cooling treatment were considerably higher than that of sintering and ageing treatments. These results show that, application of cryogenics may play an effective role in the behaviour of age-hardenable alloys.

Keywords: AA2014, Cryogenic, Ageing

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Alüminyum ve alaşımları üzerine yapılan çalışmalar, son yıllarda yoğun bir şekilde artmaktadır [1,2]. Al alaşımlarının kullanım alanlarının gelişmesinde düşük yoğunluk, iyi şekillendirilebilirlik ve yüksek sertlik değerlerine ulaşabilmesinden kaynaklanmaktadır [3]. Birçok Al alaşımının magnezyum içermesi; hafifliği,

düşük maliyeti, dayanımı ve iyi korozyon direncini beraberinde getirirken [4], ıslatabilirliği de olumlu şekilde etkilemektedir [5]. Al ve alaşımlarının üretiminde geliştirilen yöntemlerden biri de infiltrasyon metodudur ve günümüzde kullanım alanları giderek yaygınlaşmaktadır [6,7]. İnfiltrasyon üretimi, sıvı emdirme yöntemidir ve sıvı seramik elde edebilmek için geliştirilmiştir [8,9]. İnfiltrasyon

işleminde sıcaklık [10], basınç [11] ve süre kontrolüyle [12,13] etki parametreleri değiştirilebilir. Al alaşımlarının özelliklerini geliştirmek için çeşitli işlemler uygulanabilmektedir. Örneğin 2XXX ve 7XXX serisi alaşımların dayanımını artırmada en temel yöntem yaşlandırmadır [14-16]. Kriyojenik ısıtma işlemi de, malzemelerin mekanik özelliklerini artırmak için son zamanlarda geliştirilen ısıtma işlemleri arasına katılmıştır [17 – 20].

Yapılan bu çalışmada, AA2014 alaşımı ticari değeri olan basınçlı infiltrasyon tekniği kullanılarak, B₄C seramik parçacıkları ile takviye edilerek elde edilen kompozit yapısı daha önce denenmemiş kriyojenik soğutma ile, tipik yaşlandırma ve sinterleme işlemleri ile güçlendirilerek sertlik ve mikroyapı etkileri tespit edilmeye çalışılmıştır.

2.YÖNTEM (METHOD)

2.1. Basınçlı İnfiltrasyon Yöntemi İle Parçaların Üretimi (Production of Particles Through the Method of Infiltration)

Çalışmada kullanılan AA2014 tozları gaz atomizasyon yöntemi kullanılarak, ~15 bar basınç altında elde edilmiştir. İlave edilen B₄C takviyesi hazır bir şekilde temin edilmiştir. AA2014 içerisine %10 ve % 20 oranlarında B₄C ilave edilerek metal matrisli kompozit (MMK) yapı elde edilmeye çalışılmıştır. AA2014 ve B₄C tozları iç çapı 10 mm olan paslanmaz çelik tüplere yerleştirilmiştir. İnfiltrasyon düzeneği için gerekli üretim parametrelerini sağlamak için optimum olarak dizayn gerçekleştirilmiştir (Şekil 1.a). Uygulanan infiltrasyon yöntemi için uygun parametreler; 550 mmHg (± 10 mmHg) vakum altında, 750 °C (± 5 °C) de 5 dakika süre ile y eksenli boyunca (Şekil 1.b) vakum işlemi gerçekleştirilmiştir. İnfiltrasyon tüplerinin en alt

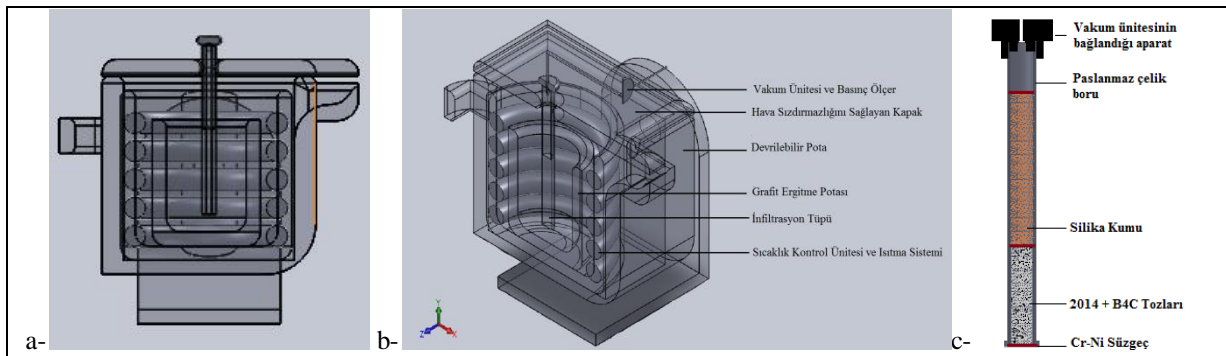
kısmına ve tozların üst kısımlarına Cr-Ni süzgeçler yerleştirilerek olması muhtemel tozların dökülmesi ve kirli metalin girişi engellenmiştir (Şekil 1.c). İnfiltrasyon sonrası tüpler havada soğutulmuş hassas kesme cihazı ile dilimlenmiştir. İnfiltrasyon işleminde ana malzeme olarak kullanılan AA2014'ün kimyasal bileşimi Tablo 1 de görülmektedir.

2.2. Metalografik İncelemeler (Metallography)

Atomizasyon sonrasında elde edilen tozlar Malvern Mastersizer E ver 1,2 b marka boyut analiz cihazında boyutlandırılması gerçekleştirilmiştir.

İnfiltrasyon işleminden elde edilen numuneler hassas kesme cihazında 12 mm kalınlığında dilimlenerek, daha sonra yapılacak olan sinterleme, yaşlandırma ve kriyojenik ısıtma işlemleri için numunelerin metalografik ve mikro sertlik çalışmaları için önce zımparalama sonra 3 µm ve 1 µm'lik keçelerde parlatılmıştır. Son olarak, keller reagent dağlayıcı ile 45 saniye süre ile dağlama yapılmıştır.

Dağlama sonrasında numunelere SEM, EDS ve FASTMAP analizleri yapılarak, yapının genel karakteristiği hakkında detaylı bilgi elde edilmiştir. Uygulanan mikro yapı incelemeleri için Joel JSM – 5600 model Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) kullanılmıştır. Numunelere uygulanan FASTMAP ve EDS analizleri sayesinde infiltrasyonun, sinterlemenin ve yaşlandırmanın etkileri ile birlikte, kriyojenik uygulamasının mikro yapıya olan etkileri belirlenmeye çalışılmıştır. FASTMAP uygulamaları ile elementlerin uygulanan ısıtma işlemleri sonrası matris yapı içerisinde yönelmeleri tespit edilmeye çalışılarak, B₄C partikülleri ve yapı içerisinde bulunan elementlerin mikro yapıda hangi etkilere neden olduğu belirlenmeye çalışılmıştır.



Şekil 1. İnfiltrasyon Sisteminin Modellenmesi (Modelling of Infiltration System)

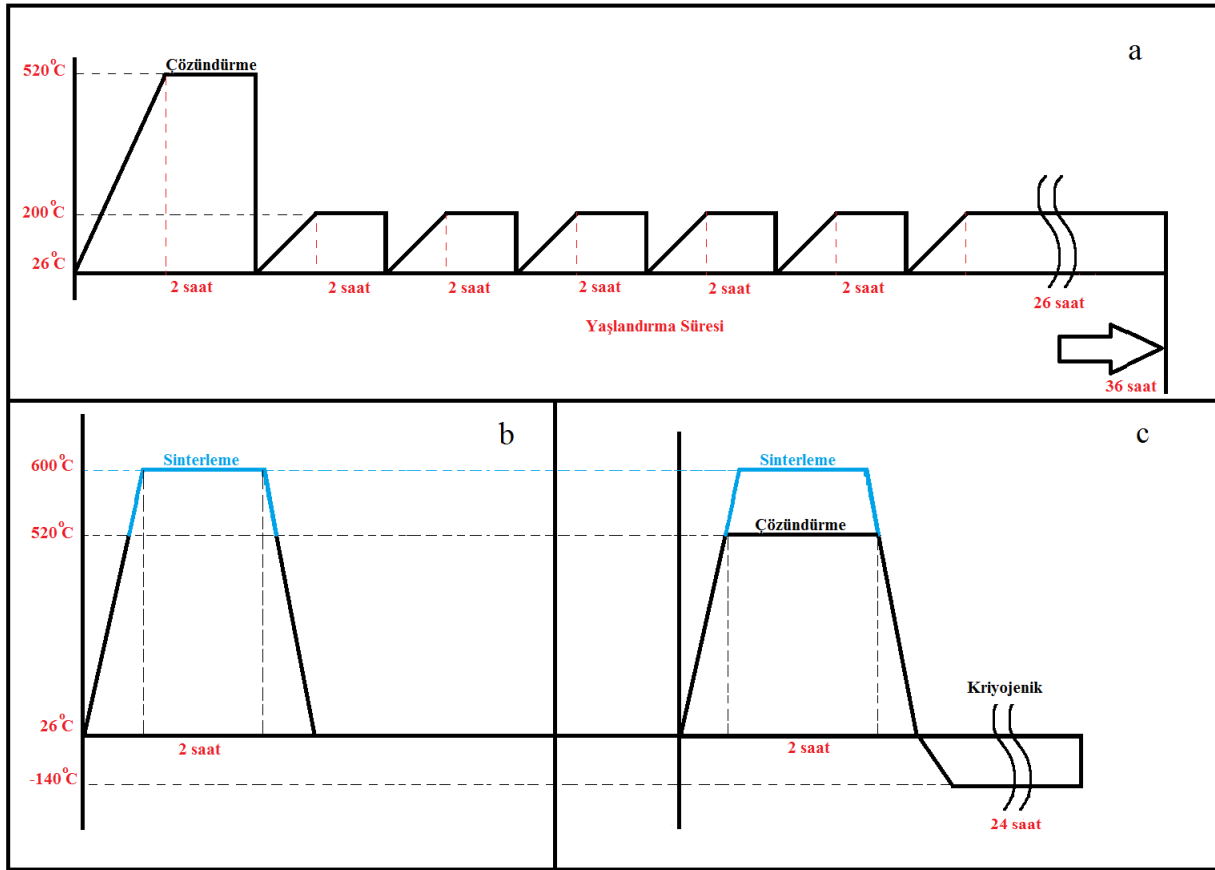
a-Sistemin önden kesit görünüşü (Front section page of system)

b-İnfiltrasyon sisteminin izometrik görünüşü ve birimleri (Isometric view of the infiltration system and units)

c-İnfiltrasyon tüpünün kesiti (Section of infiltration pipe)

Tablo 1. AA2014 alaşımının kimyasal kompozisyonu (Chemical composition of AA2014 Alloy) [1].

İÇERİK	Al	Cu	Si	Mn	Mg	Fe	Diğer
% ORAN	93,5	4,06	0,6	0,57	0,56	0,47	0,24



Şekil 2. Sinterleme, Yaşlandırma ve Kriyojenik Isıl İşlemlerinin Diyagramları (Diagrams of Sintering, Aging and Cryogenic Heat Treatment)

2.3. Sinterleme, Yaşlandırma ve Kriyojenik Isıl İşlemleri (Treatments of Sintering, Ageing and Cryogenic)

Dilimlenen numunelere sinterleme, yaşlandırma, kriyojenik ısı işlemleri uygulanmıştır. Yaşlandırma ısı işlemi 520 °C’de 2 saat çözündürüldükten sonra, 2 şer saat arayla 10 saate kadar sırayla gerçekleştirilmiştir. 8 ile 10 saat arası en yüksek sertlik değerine ulaşıldığı süredir. Daha sonra, 26 saat uzun süreli ek yaşlandırma uygulanarak toplamda 36 saatte işlem tamamlanmıştır (Şekil 2.a). Öte yandan 600 °C de 2 saat sinterlenen numuneler (Şekil 2.b) ile beraber 600 °C de 2 saat sinterleme ve 520 °C de 2 saat çözündürülen numunelere ayrıca -140 °C de 24 saat kriyojenik ısı işlemi tatbik edilmiş ve sertliğe olan etkileri tespit edilmeye çalışılmıştır (Şekil 2.c).

2.4. Sertlik ve Yoğunluk Ölçümleri (Hardness Values and Density Measurements)

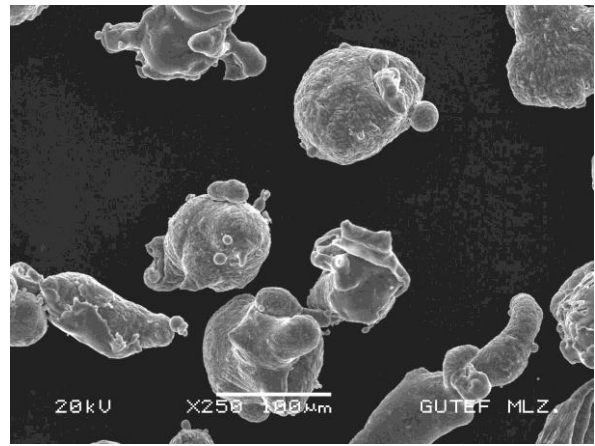
Numunelere infiltrasyon sonrasında ve uygulanan yaşlandırma, sinterleme, ve kriyojenik ısı işlemleri sonrasında sertlik ölçümleri gerçekleştirilerek, uygulanan ısı işlemlerin sertlik üzerine olan etkileri belirlenmeye çalışılmıştır.

Mekanik özelliklerin tespiti için, SHIMADZU marka Mikro Sertlik cihazında 10 g ve 1 kg yük kullanılarak mikro ve makro sertlik değerleri tespit edilmiştir.

Ayrıca elde edilen bütün numunelerin yoğunluk ölçümleri ARSHIMENT tekniği uygulanarak gerçekleştirilmiştir.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

İnfiltrasyon işleminde kullanılan tozların boyutlarının AA2014 için 123 µm, B₄C için ise 6,48 µm olduğu belirlenmiştir (Tablo 2). İnfiltrasyon işleminde akıcılığı sağlamak için AA2014 tozlarının ortalama boyutu 100 µm’nin üzerinde [21], küresel (Şekil 3) olması işlem verimliliğinde önemli rol oynamaktadır.



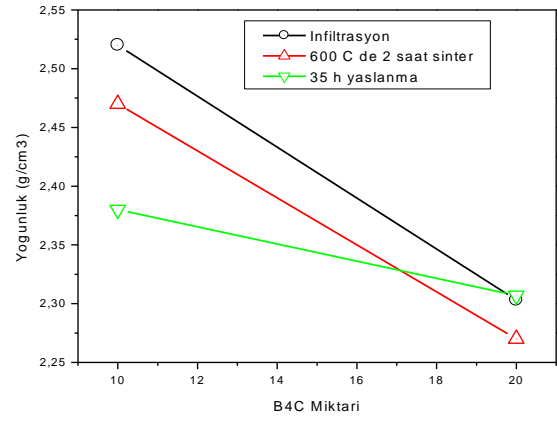
Şekil 3. AA2014 tozlarının SEM görüntüleri (SEM images of AA2014 powders)

Takviyenin 10 µm'nin altında olması ise yüksek mekanik özellikler kazandırılmasında [22] önemli rol oynarken, sonrasında yapılan yaşlanma işleminde etkin rol üstlenmektedir. Tane boyutunun azalması ile birlikte dislokasyonlarda meydana gelen artış mekanik özellikleri arttırdığı hall-petch eşitliği ile desteklenirken [23], takviye oranının mekanik özellikler üzerinde önemli etkileri olduğu [24], yapılan mikro yapı ve sertlik incelemeleriyle de desteklenmiştir.

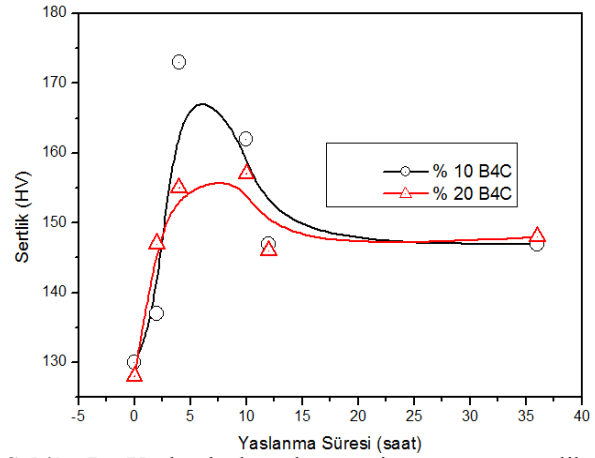
İnfiltrasyon ve ısıl işlemler sonrasında numunelerin yoğunluk değerleri karşılaştırıldığında B₄C miktarının artmasına bağlı olarak, numunelerin yoğunluklarında azalış meydana geldiği gözlemlenmektedir (Şekil 4). En yüksek yoğunluğa %10 B₄C takviye edilmiş malzemede erişilmiştir. Uygulanan 600°C 2 saat sinterleme sonrasında yoğunluğun düştüğü ve 520°C de 2 saat çözündürme sonrasında 36 saat yaşlandırılan numunenin yoğunluğunun ise diğer numunelere göre ciddi oranda azaldığı gözlemlenmiştir. Ancak, artan takviye oranına karşı gerçekleşen yoğunluk azalmasının bire-bir (lineer) olmadığı anlaşılmıştır. %10 B₄C içeren yapı incelendiğinde (Şekil 5), yaşlanma süresine bağlı olarak sertliğin 8 saate kadar arttığı (≈174 HV), 8 saatten sonra ise aşırı yaşlanma sonrası, sertliğin düştüğü gözlemlenmektedir. 12 saat yaşlanma ile sertlik 147 HV'ye kadar düşmüştür. Bundan sonra devam eden yaşlanmada ise sertliğin sabit kaldığı gözlemlenmiştir. Buradaki sertliğin sabit kalmasının nedeni [25,26]; yapıda yoğun olarak bulunan, homojen ve çok sık dağılımlı, kararlı katı partiküllerin (B₄C) sertliği kontrol etmeye başlamasından kaynaklanmaktadır. Çalışmada AA2014 matris yapı içerisine takviye yapılan B₄C katı parçacıklarının tane sınırlarına tutunması ve onların büyümesini kontrol etmesi önemlidir. Böylece, Al₂Cu faz parçacıklarının irileşmesine rağmen dayanımda azalma engellenmektedir [27].

İnfiltrasyon sonrasında numunelerin yoğunlukları incelendiğinde, artan takviye oranlarına göre gözeneklilikte de bir artış meydana geldiği ve buna bağlı olarak yoğunlukta bir düşüş meydana geldiği tespit edilmiştir (Şekil 4). Artan gözenekliliğe bağlı olarak sertlikte de bir azalış meydana gelmektedir (Tablo 3).

Soğuma hızının artması ile sertliğin arttığı daha önce yapılan çalışmalarda da görülmektedir [16]. Bu çalışmada infiltrasyon ve ısıl işlemler sonrasında



Şekil 4. B₄C miktarına göre yoğunluk değişimi (Variation density according to the amount of B₄C)



Şekil 5. Yaşlandırılan kompozit yapının sertlik değerleri (Hardnesses values of aged composite structures)

uygulanan -140°C'de 24 saat kriyojenik ısıl işleminin sertlikte önemli değişiklikler meydana getirdiği tespit edilmiştir (Tablo 3). Tablo 1 incelendiğinde infiltrasyon sonrasında sertlik değeri 138 HV olan alaşımın sertlik değeri kriyojenik ısıl işlemi ile 177 HV değerine ulaşmıştır. Ham numuneye uygulanan kriyojenik ısıl işlemi ile elde edilen sertlik değeri, 600°C de 2 saat uygulanan sinterleme ve 520°C de 2 saat çözündürme sonrası 200°C de 4 saat yaşlandırma ısıl işlemleri sonrasında elde edilen sertlik sonuçlarından daha yüksektir. AA2014 alaşımı üzerine yapılan diğer çalışmalarda, soğutma işlemleri ile çekme ve akma dayanımlarının artırılabilceği görülmüştür [28].

Tablo 2. AA2014 ve B₄C tozlarının toz boyut analizleri (Size analyze of AA2014 and B₄C powders)

Çöküntü = %7.941	Yoğunlaşma = %0.000	
Homojenlik = 0.242	Span = 0.754	
d(v,0.5) = 122.8 mikron	Modu = 122.12 mikron	D [4, 3] = 126.87 mikron
d(v,0.1) = 82.32 mikron	d(v,0.9) = 174.94 mikron	D [3, 2] = 116.45 mikron
Çöküntü = % 8.417	Yoğunlaşma = %0.010	
Homojenlik = 18.776	Span = 72.918	
d(v,0.5) = 6.18 mikron	Modu = 445.14 mikron	D [4, 3] = 119.01 mikron
d(v,0.1) = 1.73 mikron	d(v,0.9) = 452.54 mikron	D [3, 2] = 4.13 mikron

Tablo 3. Isıl işlemlerin sertliğe etkileri (Heat treatments effects on hardness)

Yapılan İşlemler	Isıl	Sertlik (HV)	
		% 10 B ₄ C	% 20 B ₄ C
I		138	125
I + C		177	164
I + T ₁		130	128
I + T ₁ + C		154	138
I + T ₂		138	144
I + T ₂ + C		171	130
I + T ₁ + T ₃		173	155
I + T ₁ + T ₃ + T ₄		148	149

I: Infiltrasyon sonrası ham numune C: Kriyojenik

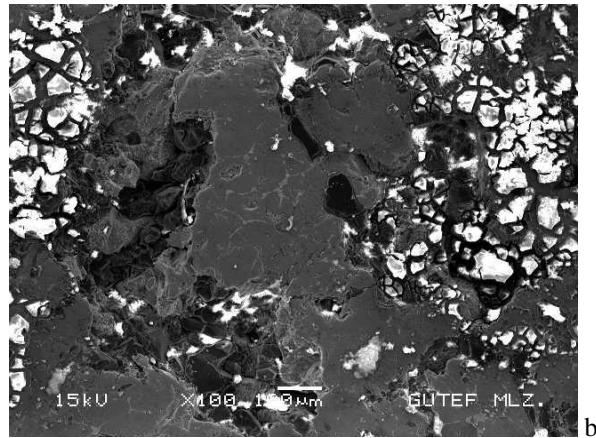
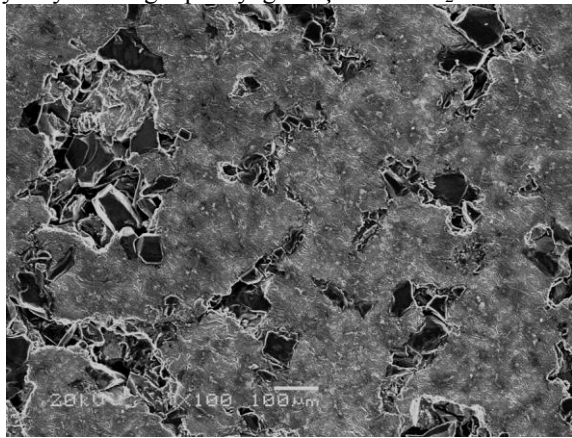
T₁ = 520 °C de 2 h çözündürme

T₂ = 600 °C de 2 h sinterleme

T₃ = 200 °C de 4 h yaşlandırma (mak. Sertlik)

T₄ = 200 °C de aşırı yaşlandırma (36 h)

İnfiltrasyon sonrası numunelerin SEM görüntüleri incelendiğinde %10 ve %20 B₄C takviye oranına sahip numunelerde, ilave takviyeler genellikle tane sınırlarında ve homojen bir dağılım sergilemiştir (Şekil 6.a). Artan takviye oranına bağlı olarak yapı içerisinde kümelenme eğilimleri artmaktadır (Şekil 6.b). Takviye oranını artması ile birlikte (Şekil 6.b), ıslatabilirlik azalmakta ve buna bağlı olarak gözeneklilik miktarında da bir artış meydana gelmektedir. Gözenekliliğin artması yoğunluğun azalmasına sebep olmaktadır (Şekil 4). Yapılan çalışmalarda, ıslatabilirliğe sıcaklığın doğrudan etkilediğini gösterirken [29], Al içerisinde bulunan Mg'nin ıslatabilirliği olumlu şekilde artırdığını göstermektedir [4]. Al alaşımlarında; yapı içerisinde bulunan Cu elementinin malzeme yoğunluğunu kontrol ettiği bilinmektedir (Şekil 4) [30-32]. Sırasıyla önce Mg ve daha sonra Cu Al içerisinde hızla yayılabilmekte ve böylece de küçük tane veya toz ara yüzeylerine hızla çıkabilmektedir. Özellikle Mg, sıcaklığın etkisi ile Cu'a göre 5 kat daha hızlı yayınıp, buharlaşarak ardında boşluk bırakmaktadır [33]. Mg'ye göre yavaş ilerleyen Cu, daha sonra ara yüzeylere gelip yoğunlaşarak Al₂Cu fazını

**Şekil 6.** % 20 B₄C takviyeli (20% B₄C-Reinforced)

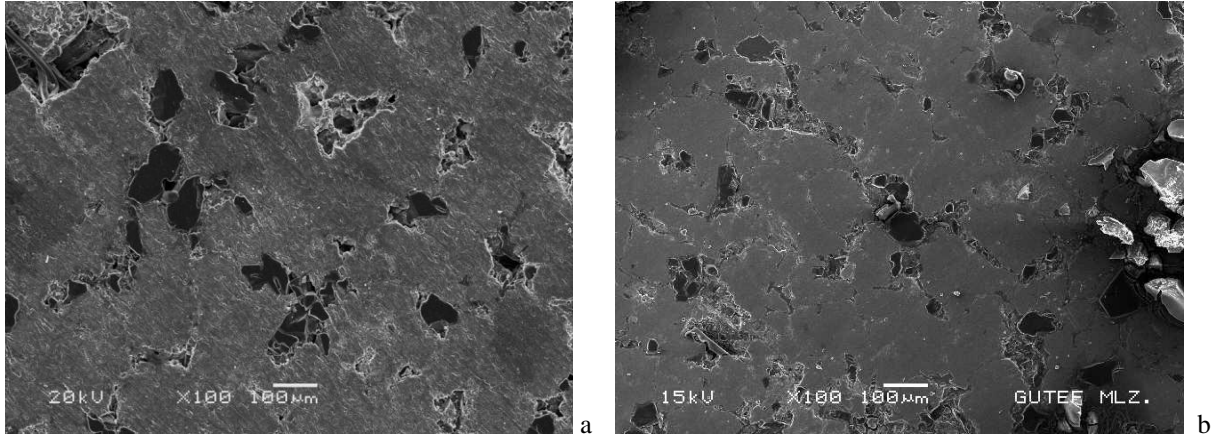
a-SEM görüntüsü (SEM images)

b-Kriyojenik sonrası SEM görüntüsü (SEM images after cryogenic)

oluşturmakta ve sıvı haldeki bu faz zamanla tüm ara yüzeyi kaplama eğiliminde olduğu için gözeneklilikte bir azalma başlamaktadır. Bu yüzden sinterleme ile birlikte Mg alaşımının azaldığı tespit edilebilmektedir [30,33].

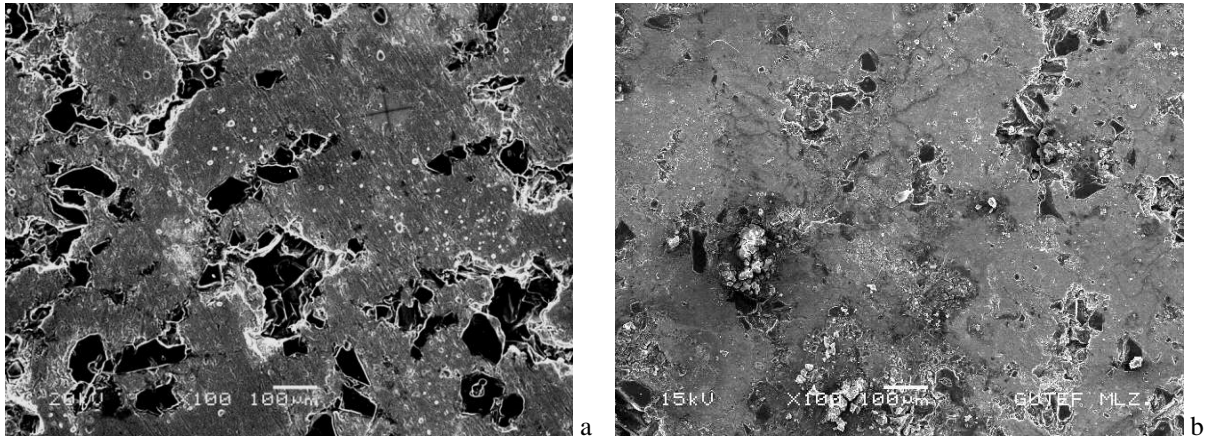
Sinterleme, yaşlandırma ve sonrasında uygulanan kriyojenik ısıl işlemi sonrasında çekilen SEM görüntülerinde (Şekil 7 ve 8), kompozit yapının matris içerisinde homojen bir şekilde dağıldığı görülmektedir. Uygulanan kriyojenik ısıl işlemi sonrasında SEM görüntülerinde herhangi bir belirgin değişim meydana gelmemektedir (Şekil 7b, Şekil 8b). SEM görüntüleri incelendiğinde, B₄C partikülleri elde edilen kompozit malzemenin üretimi sırasında kullanılan infiltrasyon metodu ile ıslatabilirliğin iyileştirilebileceği ve homojen bir dağılım elde edilebileceği görülmektedir (Şekil 9).

Kriyojenik ile oluşturulan yüksek soğuma miktarı, bilhassa bazı alaşım sistemleri için, başlangıçtaki düzensiz kristal yapı, düzenli bir yapıya geçerek süper-kafes yapısı meydana getirebilmektedirler [34]. Bu aynı zamanda süper-iletkenliğe de neden olmaktadır [35]. Süper-kafes yapıda boşluklar çok azaldığı için, kriyojenik sonrası sertlikler yükselebilmektedir. Benzer şekilde yaşlanma sonrası da kriyojenik soğutma yapıyı etkilemekte ve dayanım artmaktadır [36]. Bu çalışmada kriyojenik sonrası yapıdaki Mg ve Cu elementlerinin MAP görüntüleri incelenmiş ve kriyojenik öncesi yapılarıyla karşılaştırıldığında, daha homojen ve ince bir dağılım olduğu saptanmıştır (Şekil 10). Hatta, sinterleme ve yaşlanma sonrası yapı ile mukayese edildiğinde, yaşlanma sonrası elde edilen yapıya göre daha ince, yoğun ve homojen bir dağılım elde edildiği görülmektedir (Şekil 11, Şekil 12). Buradan, kriyojenik ile elde edilen sertlik değerinin, yaşlanma sonrası en yüksek sertlik değerlerinden çok daha yüksek çıkmasını açıklamaktadır (Tablo3).



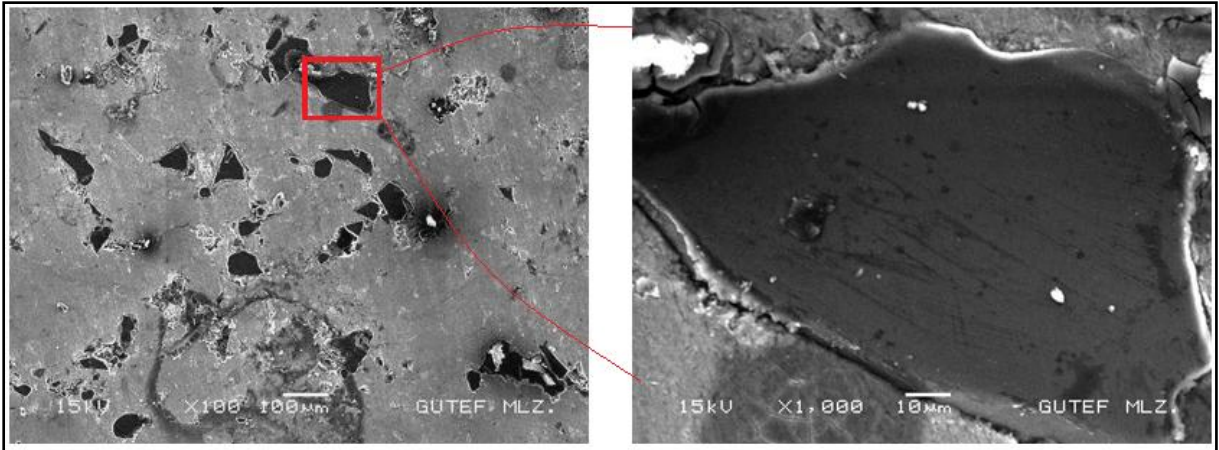
Şekil 7. % 10 B₄C takviyeli (10% B₄C-Reinforced)

- a- 600°C de 2 saat sinterleme (Sintered at 600°C for 2 hours)
- b- 2 saat sinter + kriyojenik (Sintered 2 hours + cryogenic)

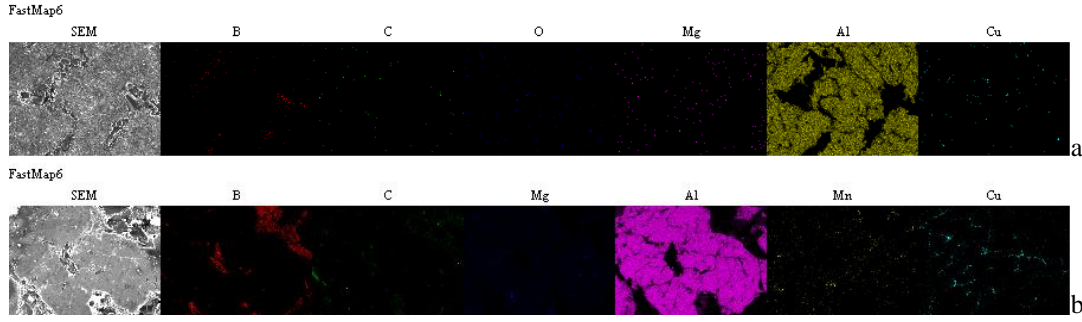


Şekil 8. % 20 B₄C takviye sonrası 24 h yaşlanma (24 h aged after 20% B₄C Reinforced)

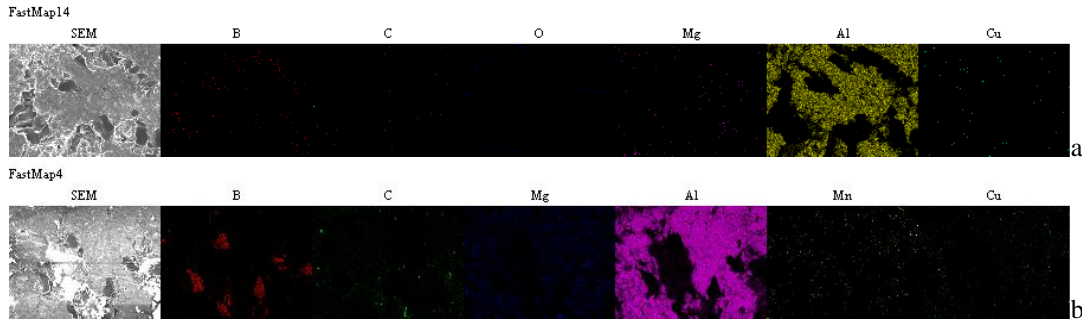
- a- SEM görüntüsü (SEM images)
- b- Kriyojenik sonrası SEM görüntüsü (SEM images after cryogenic)



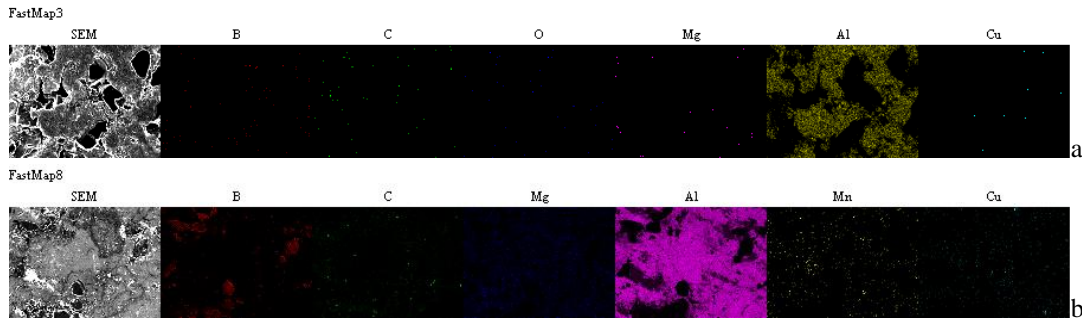
Şekil 9. % 10 B₄C takviyeli yapıya yaşlandırma sonrasında kriyojenik işlemi (10% B₄C-reinforced sample cryogenic after ageing)



Şekil 10. %20 B₄C takviye edilmiş (20% B₄C Reinforced)
 a- İnfiltrasyon sonrası (After infiltration)
 b- İnfiltrasyon sonrası kriyojenik (Cryogenic after infiltration)



Şekil 11. %20 B₄C takviye edilmiş (20% B₄C Reinforced)
 a- 600 °C de 2 saat sinter (Sintered at 600°C for 2 hours)
 b- 600 °C de 2 saat sinter + kriyojenik (Sintered at 600°C for 2 hours + cryogenic)



Şekil 12. %20 B₄C takviye edilmiş (20% B₄C Reinforced)
 a- İnfiltrasyon sonrası yaşlandırma (After infiltration aged)
 b- Yaşlandırma sonrası kriyojenik (After aged applied cryogenic)

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND RECOMMENDATION)

1. AA2014-B₄C kompozit yapısı infiltrasyon tekniği kullanılarak elde edilmiştir.
2. Üretilen kompozit yapıda en yüksek sertlik değerleri kriyojenik soğutma işlemi sonrası saptanmıştır.
3. Sinterleme, yaşlandırma ve kriyojenik sonrası MAP analizleri incelendiğinde, homojen element dağılımını kriyojenik soğutma uygulanan numunelerde elde edilmiştir.
4. Kriyojenik soğutma işleminde yüksek sertlik değerlerine çıkılmasının sebebi olarak genel mikro-yapının incelendiği ve soğutma sonrası yapının daha düzenli hale geldiği görülmektedir.

Öneriler / (Suggestion)

- Sinterleme, yaşlandırma ve kriyojenik sonrası elde edilen numunelerin elektriksel iletkenliklerine bakılarak, kriyojenik soğutmanın iletkenliğe etkileri belirlenebilir.
- Numunelere TEM incelemeleri yapılarak, kriyojenik sonrası düzensiz formdan düzenli forma geçmiş taneler belirlenebilir.

TEŞEKKÜRLER (ACKNOWLEDGEMENT)

Yazarlar bu çalışmayı 41/2011-04 kodlu proje ile desteklediği için Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Proje Birimine teşekkür ederler.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Aksöz S., Özdemir A.T., Bostan B., “Alloyed AA2014 Aluminium Powders Synthesized with carbon and determined properties”, **Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University**, 27 (1):109-115, 2012.
2. Bostan B., “Examination of Al₄C₃ Formation After Mechanically Alloying and Extrusion” **Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University**, 23(2):343-348, 2008.
3. Li Y., Zhao Y.H., Ortalan V., Liu W., Zhang Z.H., Vogt R.G., Browning N.D., Lavernia E.J., Schoenung J.M., “Investigation of aluminum-based nanocomposites with ultra-high strength”, **Materials Science and Engineering A** 527: 305–316, 2009.
4. 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.
5. 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.
6. Wannasin J., Flemings M.C., “Threshold pressure for infiltration of ceramic compacts containing fine powders”, **Scripta Materialia** 53: 657–661, 2005.
7. Molina J.M., Piñero E., Narciso J., García-Cordovilla C., Louis E., “Liquid metal infiltration into ceramic particle preforms with bimodal size distributions”, **Current Opinion in Solid State and Materials Science** 9: 202–210, 2005.
8. Leon C.A., Drew R.A.L., “Preparation of nickel-coated powders as precursors to reinforce MMCs”, **J. Mater Sci** 35: 4763-8, 2000.
9. Acilar M., Gül F., “Effect of applied load, sliding distance and oxidation on the dry sliding wear behaviour of Al-Si/SiCp composites produced by vacuum infiltration technique”, **Materials and Design**, 25: 209-217, 2004.
10. Tian J., Piñero E., Narciso J., Louis E., “ Effects of temperature on pressure nfiltration of liquid Al and Al-12wt.%Si alloy into packed SiC particles”, **Scripta Materialia** 53: 1483-1488, 2005.
11. Garcia-Cordovilla C., Louis E., and NarcisoJ., “Pressure Infiltration Of Packed Ceramic Particulates By Liquid Metals”, **Acta Mater.** Vol. 47, No:18, pp.4461-4479, 1999.
12. Candan E., Atkinson H.V., Jones H., “Role of Surface Tension in Relation to Contact Angle in Determining Threshold Pressure for Melt Infiltration of Ceramic Powder Compacts”, **Scripta Materialia**, Volume 38, Issue 6, Pages 999-1002, 1998.
13. Acılar M. And Gül F., “Effect of the reinforcement particle size on the abrasive wear behaviour of the Al-SiCp composites produced by pressure infiltration technique”, **Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University**, Vol:22, No 2, 323-327, 2007.
14. Ambriz R.R., Chicot D., Benseddiq N., Mesmacque G., de la Torre S.D., “Local mechanical properties of the 6061-T6 aluminium weld using micro-traction and instrumented indentation”, **European Journal of Mechanics - A/Solids**, V. 30, 3:307-315, 2011.
15. Odabaş D., Su Ş., “A comparison of the reciprocating and continuous two-body abrasive wear behavior of solution-treated and age-hardened 2014 Al alloy”, **Wear** 208:25–35, 1997.
16. Kaçar Durmuş H., Okur A., Meriç C., “Investigation of effect of cooling conditions on hardness of the AA2014 and AA2014 wrought aluminium alloys”, **Journal of Engineering Sciences** 9 (1) 9-13, 2003.
17. Reed R.P., Golda M. , “Cryogenic composite supports: a review of strap and strut properties”, **Cryogenics**, Volume 37, 5, p. 233–250, 1997.
18. Darwin J.D., Mohan Lal D., Nagarajan G., “Optimization of cryogenic treatment to maximize the wear resistance of 18% Cr martensitic stainless steel by Taguchi method”, **Journal of Materials Processing Technology**, Volume 195, Issues 1–3, p. 241–247, 2008.
19. Bensely A., Prabhakaran A., Mohan Lal D., Nagarajan G., “Enhancing the wear resistance of case carburized steel (En 353) by cryogenic treatment”, **Cryogenics**, Volume 45, Issue 12, p. 747–754, 2005.
20. Woodcraft Adam L., “ Predicting the thermal conductivity of aluminium alloys in the cryogenic to room temperature range”, **Cryogenics**, Volume 45, Issue 6, p.421-431, 2005.
21. Cordovilla C.G., “Pressure infiltration of packed ceramic particulates by liquid, no.metals” **Acta Mater.** Vol. 47 no:18, pp. 4461-4479, 1999.
22. Volume Chair; Miracle D.B., Donaldson S.L., “Composites”, **ASM HAND BOOK**, V.21, p.132, 2001.
23. Carlton C.E. , Ferreira P.J., “What is behind the inverse Hall–Petcheffect in nanocrystalline materials?”, **Acta Materialia**, Volume 55: 11, p. 3749–3756, 2007.
24. Hasçalık A., “Al₂O₃ Oranının Al/Al₂O₃ Kompoziti ile AISI 1020 Çeliğinin Sürtünme Kaynağına Etkisi”, **F. Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi**, 15(2), 99-108, 2003.
25. Amini S., Barsoum M.W., “On the effect of texture on the mechanical and damping properties of nanocrystalline Mg-matrix composites reinforced with MAX phases”, **Materials Science and Engineering A** 527:3707–3718, 2010.

26. Tjong S.C., Ma Z.Y., “Microstructural and mechanical characteristics of in situ metalmatrix composites”, **Materials Science and Engineering**, 29:49-113, 2000.
27. Aksöz S., Özdemir A.T., “Synthesis of Al₄C₃ Phase In 2014 Aluminium-Carbon System and Its Effect on Subsequent aging Treatment”, **6th International Powder Metallurgy Conference and Exhibition** October 05-09, 2011.
28. Volume 2, “Properties and selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials”, **ASM HANDBOOK**, Volume 2, p.250, 1992.
29. Zhang D., Shen P., Shi L., Lin Q., Jiang Q., “Wetting and evaporation behaviors of molten Mg on partially oxidized SiC substrates”, **Applied Surface Science**, 256: 7043-7047, 2010.
30. Aksöz S., Özdemir A.T., Bostan B., “High Speed Milling Of 2014 Aluminum Powders Together With 2% Graphite And Progress In Micro-Structure During Long Term Annealing After Cold Compaction” **6th International Powder Metallurgy Conference and Exhibition** October 05-09, 2011.
31. Zhou, J., Duszczyk, J., 1999. “Liquid Phase Sintering of an AA2014-Based Composite Prepared from an Elemental Powder Mixture”, **J. Mater. Sci.** 34, 545–550, 2008.
32. Dunnett K.S., Mueller R.M., Bishop D.P., “Development of Al-Ni-Mg-(Cu) Aluminum P/M Alloys”, **Journal of materials processing technology** 198:31-40, 2008.
33. Şimşir M., Güngör Ö., Ögel B., “Al-Cu ve Al-Cu-Mg Toz Karışımlarının Azot Atmosferi Altında Sıcak Presleme Çalışmaları”, **10. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi Bildiriler Kitabı** Cilt III, 2-28 Mayıs, İstanbul, 1781-1788, 2000.
34. LIU J., LI G., CHEN D., CHEN Z., “Effect of Cryogenic Treatment on Deformation Behavior of As-cast AZ91 Mg Alloy”, **Chinese Journal of Aeronautics** 25:931-936, 2012.
35. Tang J, He L. “Resistance characterization of the orderly clustering phenomenon of alloying elements in austenitic manganese steel”, **Guizhou Science**, 24(4):7-11, 2006.
36. Nageswara rao P., Jayaganthan R., “Effects of warm rolling and ageing after cryogenic rolling on mechanical properties and microstructure of Al 6061 alloy”, **Materials and Design** 39: 226–233, 2012.