

ETIAL 180 ALÜMİNYUM ALAŞIMINA İLAVE EDİLEN Mg ve Sn ELEMENTLERİNİN İNTERMETALİK FAZLARA ETKİSİ

Mustafa BAŞARANEL^{1*}, Nurşen SAKLAKOĞLU², Simge GENÇALP İRİZALP²

¹Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü 45140 Manisa TÜRKİYE

²Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü 45140 Manisa TÜRKİYE

Özet: Al-Si-Cu döküm alaşımlarının yapısal özellikleri α -Al fazı ve intermetaliklere bağlıdır. Bu çalışmada, özellikle otomotiv endüstrisinde yaygın olarak kullanılan ETIAL 180 alüminyum alaşımı kullanılmıştır. ETIAL 180 alüminyum alaşımına ağırlıkça % 0.2-0.4-0.6 Sn ve ağırlıkça % 0.4-0.6-0.7 Mg ilavesinin etkileri araştırılmıştır. Oluşan intermetalik yapıları incelemek üzere SEM kullanılarak EDS analizi yapılmış ve bölgesel haritalama yapılarak ilave edilen elementlerin etkileri detaylı olarak incelenmiştir. İntermetalik bileşiklerin Sn ilavesi ile kabalaştığı ve intermetalik fazda merkez ve kenar bölgesindeki değişimlerin segregasyondan dolayı oluştuğu gözlemlenmiştir. Mg ilavesinin artmasıyla mikro yapıdaki Mg₂Si fazı artmaktadır.

Anahtar Kelimeler: ETIAL 180 alaşımı, Al-Si-Cu alaşımları, SEM

THE INFLUENCE OF Sn AND Mg CONTENTS ON THE INTERMETALLIC PHASES OF ETIAL 180 ALLOY

Abstract: Structural properties of Al-Si-Cu cast alloys depend on α -Al phase and intermetallics. Commercial ETIAL 180 aluminum alloy was used in this study. ETIAL 180 alloy with addition of 0.2-0.4-0.6% Sn and 0.4-0.6-0.7% Mg was investigated. Primary phase and intermetallics was examined in detail by analyzing SEM and mapping. It was observed that the intermetallic compounds were coarse with Sn and the variations in region of centre and edge of intermetallic phase formed due to segregation. Mg addition increased the Mg₂Si phase in microstructure.

Keywords : ETIAL 180 alloy, Al-Si-Cu alloys, SEM

*Mustafa BAŞARANEL
mustafabasanel@hotmail.com

1. GİRİŞ

ETİAL 180 alaşımı esas olarak basınçlı döküm alaşımıdır. Normal olarak diğer tip dökümlerde kullanılmaz. Bu çalışmada ETİAL 180 alaşımına değişik oranlarda Sn ve Mg elementleri ilave edildikten sonra SEM analizi yapılmıştır.

Al-Si-Mg alaşımları basınçlı döküm sanayinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Otomotiv sektörü yanı sıra uçak ve kimya sanayisinde de ince cidarlı dökümler için yaygın kullanım yeri bulunmaktadır [1]. Mg ilaveli Al-Si alaşımı ısı işleme imkan sağlamakta [2-3] ve mekanik özellikleri önemli ölçüde arttırmaktadır [4-6]. Az miktarda alaşım elementi ilaveleriyle mekanik özellikleri iyileştirmek için birtakım çalışmalar yapılmaktadır.

Örnek olarak, Mg ilavesi durumunda mukavemette artış gözlemlenirken [7]), Mn ilavesi ile süneklikte artış meydana geldiği görülmektedir [8].

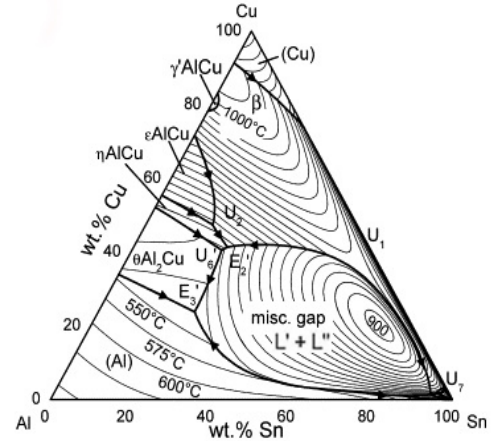
İntermetalik yapılar, alaşım içinde çok az miktarda bulunan elementlerin oluşturduğu bileşiklerdir. Miktarları az olmasına rağmen malzeme özelliklerini önemli ölçüde değiştirebilmektedir. Bu çalışmada ETİAL 180 alaşıma Sn ve Mg ilavesinin intermetaliklerin yapısına olan etkileri incelenmiştir. Bu amaçla literatürde bu konuda yeterince çalışma bulunmayan ancak geniş kullanım alanı olan ETİAL 180 alaşımı seçilmiştir.

Üçlü Al-Sn-Cu esaslı alaşımlar uzun yıllardır kendinden yağlamalı yatak malzemelerinde kullanılmaktadır. Bu alaşımlar mükemmel tribolojik, mekanik ve fiziksel özellikleri ile öne çıkmaktadır. Kalay demir ile kaynaklanmama özelliği dolayısıyla yatak malzemelerinde tercih edilmektedir. Mukavemeti ve elastisite modülü düşüktür ve yatak malzemesi olarak ideal yüzey özelliği sağlar.

Öte yandan bakır Al matrikse ilave edildiğinde çökeltme sertleşmesi ile

mukavemet artışı ve yorulma direnci sağladığından yatak malzemesi olarak kullanılan alüminyum alaşımlarının ana alaşım elementidir. Bu iki alaşım elementinin kombinasyonu sert bir matrikste yumuşak ve sünek disperse fazların oluşumunu sağlar.

Bu iki elementin alüminyum alaşımında bulunmasının bir diğer özelliği birbirine karışmayan Al-ca zengin ve Sn-ca zengin iki ayrı sıvının oluşmasıdır. Al-ca zengin (L') ve Sn-ca zengin (L'') sıvılar arasındaki büyük yoğunluk farkı dolayısıyla şiddetli segregasyon meydana gelir. Şekil 1'de üçlü faz diyagramı görülmektedir [9].



Şekil 1. Al-Sn-Cu üçlü faz diyagramı

2. MATERYAL METOD

Külçe halinde piyasadan temin edilen ETİAL 180 alüminyum alaşımı potaya sığacak büyüklüklerde kesildikten sonra ağırlıkça oranları kadar Sn ve Mg elementleri 850°C deki alaşıma ilave edilip çelik çubuk ile karıştırılıp homojen bir karışım, her bir potada farklı oranda alaşım olacak şekilde toplam 7 pota ve dolayısıyla 7 farklı alaşım gravite döküm yoluyla elde edildi.

Elde edilen numunelerden Ø30x3mm ebatlarında parçalar kesilip Emilsiyon Spektro – BAIRD – DV – 6E spektro analiz cihazında iki noktadan spektro analiz yapılmıştır ve bu değerlerin ortalaması alınarak kimyasal kompozisyonları Çizelge 1. de verilmiştir.

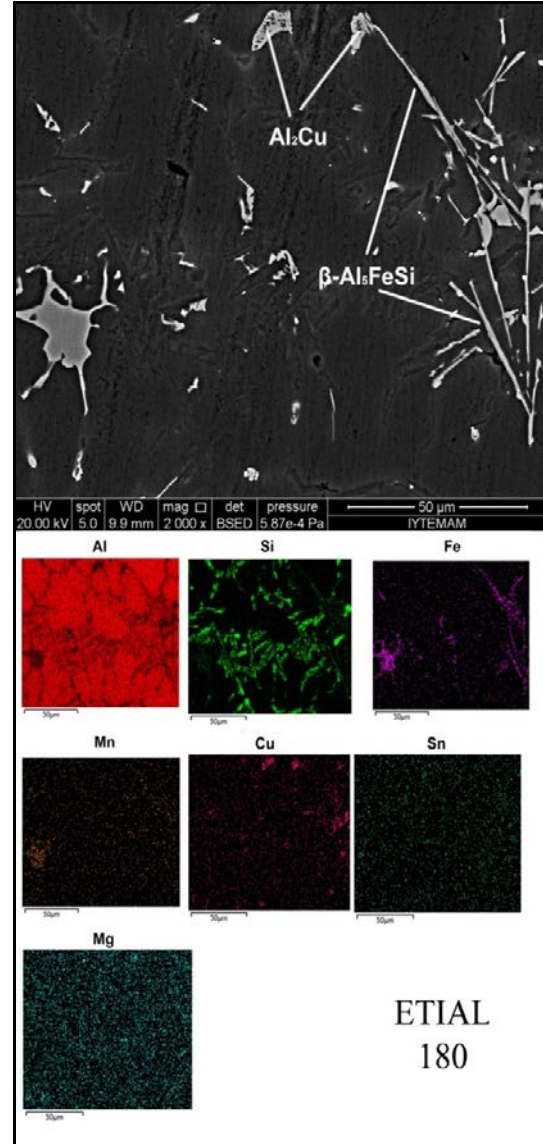
Çizelge 1. Spektro analiz cihazında belirlenen kimyasal kompozisyonlar

ETIAL 180	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	
	84,61	9,59	0,8	1,94	0,18	0,28	
	Zn	Ti	Cr	Ni	Pb	Sn	Sb
	2,33	0,04	0,03	0,04	0,09	0,04	0,03
0,2 Sn	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	
	84,6	9,31	0,81	1,97	0,18	0,31	
	Zn	Ti	Cr	Ni	Pb	Sn	Sb
	2,4	0,03	0,02	0,04	0,09	0,2	0,03
0,4 Sn	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	
	85,51	8,8	0,78	1,56	0,18	0,29	
	Zn	Ti	Cr	Ni	Pb	Sn	Sb
	2,31	0,03	0,02	0,04	0,1	0,37	0,01
0,6 Sn	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	
	84,96	9,22	0,7	1,59	0,15	0,29	
	Zn	Ti	Cr	Ni	Pb	Sn	Sb
	2,3	0,03	0,02	0,04	0,09	0,59	0,02
0,4 Mg	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	
	86,41	8,35	0,78	1,45	0,2	0,39	
	Zn	Ti	Cr	Ni	Pb	Sn	Sb
	2,19	0,03	0,03	0,04	0,08	0,03	0,02
0,6 Mg	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	
	85,26	9	0,82	1,55	0,2	0,64	
	Zn	Ti	Cr	Ni	Pb	Sn	Sb
	2,28	0,03	0,03	0,04	0,1	0,03	0,02
0,7 Mg	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	
	85,48	9,09	0,64	1,45	0,2	0,7	
	Zn	Ti	Cr	Ni	Pb	Sn	Sb
	2,22	0,03	0,02	0,04	0,09	0,03	0,01

Bu numunelerden Ø30x45mm ebatlarında parçalar kesildikten sonra gerekli parlama işlemleriyle SEM incelemelerine hazır hale getirilmiştir. Numunelerin SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) analizleri İYTE Malzeme Araştırma Merkezi (İYTE-MAM)'nde Phillips XL-30S FEG cihazında yapılmıştır.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

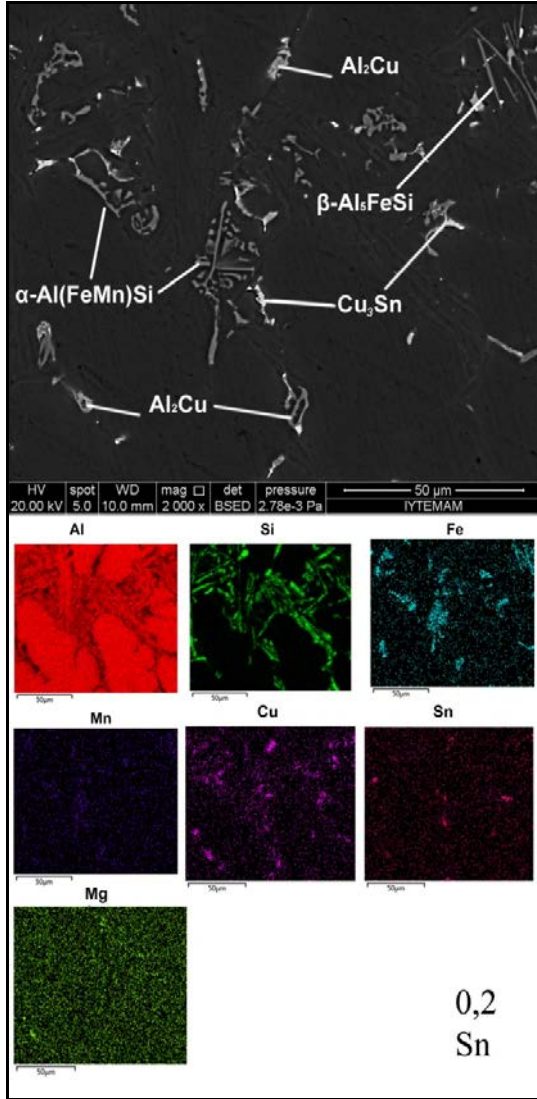
SEM analizi intermetalik incelemede önemli araç olmuştur. Şekil 2 de ETIAL 180 alaşımının SEM görüntüsü ve elementel haritalama analizi görülmektedir. Gravite döküm yoluyla üretilmiş ETIAL 180 alaşımında malzeme üzerinde ince uzun çubuksu ve partikül şeklinde intermetalikler görülmüştür. Ayrıca arka planda ötektik Si partikülleri seçilebilmektedir. SEM element



Şekil 2. ETIAL 180 Alaşımının SEM görüntüsü ve elementel haritalama analizi.

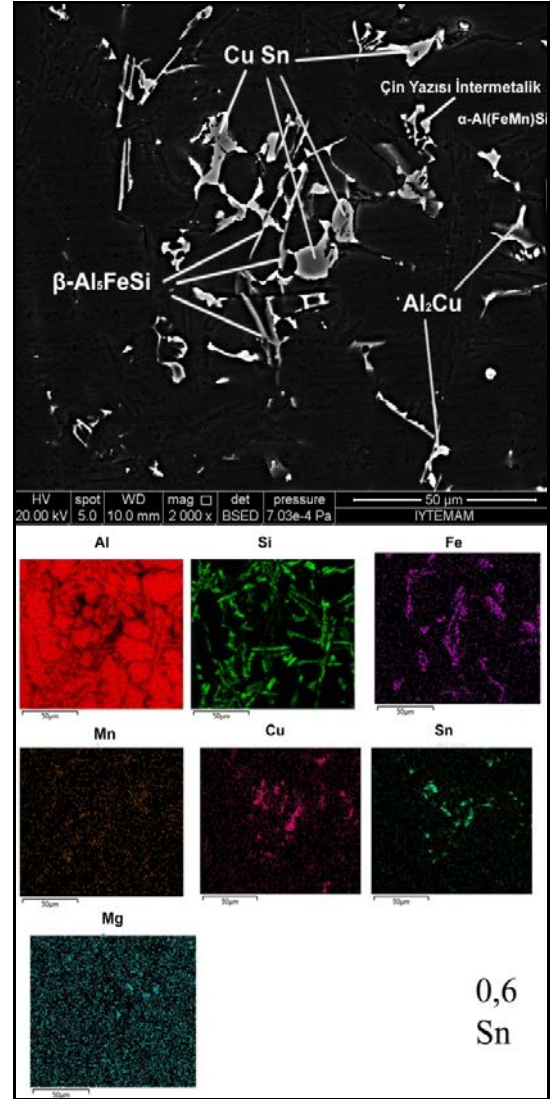
haritalama analizi partikül ve çubuksu intermetaliklerin Fe, Si ve Mn elementlerince zengin olduğunu göstermiştir. Fe'in Al'da çözünürlüğü çok düşüktür (maximum 0.05% at equilibrium) ve Al alaşımlarında Fe'in çoğu alaşımın kompozisyonuna ve katılma durumuna bağlı olarak Fe-içeren intermetalikleri oluşturur [10].

Sn ilave edilen ETIAL 180 alaşımının Sn'ca en az ve en çok olan alaşımların (0,2-0,6) SEM görüntüsü ve elementel haritalama analizi Şekil 3 ve 4'de verilmiştir.



Şekil 3. 0,2 Sn oranındaki alaşımanın SEM görüntüsü ve elementel haritalama analizi.

Bu çalışmada her ne kadar çok düşük miktarlarda element ilavesi söz konusu olsa da Sn ilavesinin uyumsuz katılma doğurduğu ve Sn'in segregasyona yol açtığına dair izlere rastlanmaktadır. Şekil 3 ve 4 detaylı incelendiğinde, Sn'in Cu'a eşlik ettiği ve Sn'in çoğunlukla oluşan intermetalik merkez kısmında yoğunlaştığı görülmektedir. D. Mirković ve ark.'a göre, Al-Cu-Sn üçlü alaşımlarının katılma sırasında ilk reaksiyon $524\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de $L' = \Theta\text{Al}_2\text{Cu} + L''$ olup $\Theta\text{Al}_2\text{Cu}$ kristallerinin katılma esnasında Sn-ca zengin L'' sıvısı $\Theta\text{Al}_2\text{Cu}$ kristalleri tarafından hapsedilmekte ve L'' sıvısının $226.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de katılmasıyla



Şekil 4. 0,6 Sn oranındaki alaşımanın SEM görüntüsü ve elementel haritalama analizi.

merkezde saf Sn olan kaba iğnemi $\Theta\text{Al}_2\text{Cu}$ kristalleri meydana gelmektedir [9] Oluşan intermetalik merkez ile kenar bölgelerinde renk farklılığı meydana gelmesi de segregasyon oluştuğunun bir göstergesi olarak kabul edilmiştir. İlave edilen Sn miktarı arttıkça oluşan intermetalik boyutu büyümüş ve intermetalik merkez ile kenar bölgeler arasındaki fark daha belirgin hale gelmiştir. Öte yandan, D. Mirković ve ark.'a göre, Sn'in az miktarda ilave edilmesi halinde bile Al'da Cu çözünürlüğü azalmaktadır. Yaklaşık ağırlıkça %1 Sn ilave edilmesi $530\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'deki % 5.1 olan Cu çözünürlüğünü %1,52'ye düşürmektedir. Bu

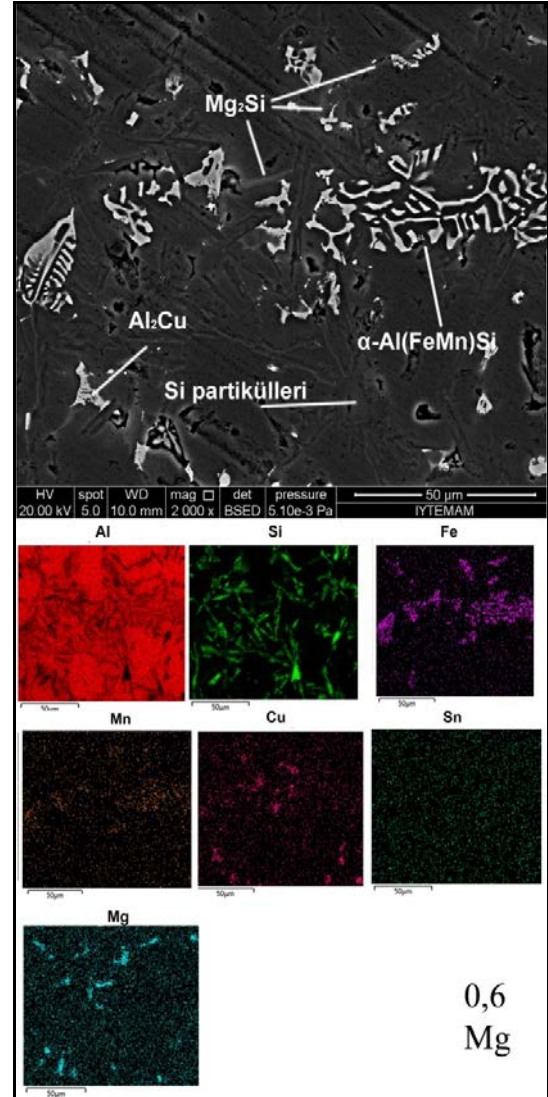
çalışmada Sn ilavesi arttıkça Al_2Cu bileşiğinin boyutunun büyüdüğü tespit edilmiş olup, bunun daha fazla Cu'nun bileşik oluşturmasından kaynaklandığı düşünülmektedir [9].

H.R. Kotadia ve ark., (a) Al-10Sn-10Cu, (b) Al-20Sn-10Cu, (c) Al-35Sn-10Cu, ve (d) Al-45Sn-10Cu olmak üzere farklı oranda Sn içeren 4 farklı alaşım üretmişler, oluşan fazların miktarlarını belirlediklerinde Sn miktarı arttıkça $\theta-Al_2Cu$ miktarının da arttığını tespit etmişlerdir [10].

Öte yandan Sn ilavesiyle çin yazısı şekilli intermetaliklerin oluştuğu görülmüştür. Element haritalama analizi bu intermetaliklerin Fe ve Si yanı sıra Mn da ihtiva ettiğini göstermiştir. ETIAL 180 alaşımında oluşan çubuksu intermetaliklerden farkı Mn ihtiva etmesidir. Literatür çalışmaları Fe ve Si-ca zengin intermetaliklerin $\beta-Al_5FeSi$ ve Fe ve Si'ü nispeten daha az ihtiva eden ve aynı zamanda yüksek oranda Mn içeren intermetaliklerin ise $\alpha-Al(FeMn)Si$ yapısında olduğunu ortaya koymaktadır [12-17].

Buna göre ETIAL 180 alaşımında oluşan çubuksu intermetaliklerin $\beta-Al_5FeSi$ yapısında olduğu ve Sn ilavesiyle oluşumu tetiklenen çin yazısı şekilli intermetaliklerin $\alpha-Al(FeMn)Si$ yapısında olduğu düşünülmektedir. Çünkü Mn'in çubuksu intermetaliklerden ziyade çin yazısı şekilli intermetaliklere eşlik ettiği görülmüştür. Peyman Ashtari ve ark. Al-6.5Si-3.5Cu-1.0Fe alaşımına Sr ve Mn ilavesinin çubuksu $\beta-Al_5FeSi$ intermetaliklerinin oluşumunu baskıladığı ve çin yazısı şekilli $\alpha-Al(FeMn)Si$ intermetaliklerin oluşumunu tetiklediğini bulmuşlardır [18].

MEHDI HOSSEINIFAR ve ark. Al-Mg-Si alaşımına La'nın etkisini incelemişler ve La'nın $\beta-Al_5FeSi$ intermetaliklerinin daha az zararlı şekle sahip olan çin yazısı formunda $\alpha-AlFeSi$ bileşiğine dönüşmesine neden olduğunu tespit etmişlerdir [19]. $\alpha-Al$ 'ün katılaşması esnasında Si, Mn, Fe vs. alaşım



Şekil 5. 0,6 Mg oranındaki alaşımının SEM görüntüsü ve elementsel haritalama analizi.

ve katışkı elementlerinin katı-sıvı ara yüzey tarafından itildiği ve tane sınırlarına doğru bu elementlerin zenginleştiği bilinmektedir. Zenginleşen elementlerin uygun kompozisyonlara ulaşması halinde Si-partikülleri ya da Si-Fe-Mn-Mg taşıyan intermetalikler oluşmaktadır [20-22].

Şekil 5'da çeşitli oranlarda Mg ilave edilen ETIAL 180 alaşımlarından oranca orta yoğunluktaki 0,6 Mg ilaveli alaşımın SEM görüntüsü ve elementel haritalama analizi görülmektedir.

Mg ilavesinin Sn gibi çin yazısı şekilli $\alpha-Al(FeMn)Si$ intermetaliklerin oluşumunu tetiklediği görülmüş, ayrıca Mg ve Si-ca

zengin intermetaliklerin oluştuğu tespit edilmiş olup bu yapıların Mg₂Si bileşiği olduğu düşünülmektedir. Mg ilavesinin miktarı arttıkça Mg₂Si bileşiklerinin miktarının da arttığı tespit edilmiştir. Mg ilavesi neticesinde Mg₂Si intermetalığının mikroyapıda daha fazla rastlanır hale geldiği gözlemlenmiştir. Sertleşme mekanizmasının dislokasyonların hareketine engel olan Mg₂Si fazlarının oluşumundan ileri geldiği bilinmektedir [23].

4. GENEL SONUÇLAR

Aşağıda döküm ile üretilmiş ETIAL 180 alaşımına ağırlıkça %0.2-0.4-0.6 Sn ve %0.4-0.6-0.7 Mg ilaveleri ile alaşım üzerinde yapılan araştırmaların sonuçları verilmiştir.

- 1) ETIAL 180 alaşımının gravite döküm yoluyla üretilmesiyle ince uzun çubuksu ve partikül şeklinde intermetalikler oluşmuştur.
- 2) ETIAL 180 alaşımına farklı oranlarda Sn ilave edilmesi ile segregasyon meydana gelmiştir.
- 3) Sn arttıkça intermetalikler kabalaşmış ve segregasyon miktarı artmıştır.
- 4) Sn ve Mg ilavesi ile çin yazısı morfolojisine sahip intermetalikler elde edilmiştir.
- 5) Mg miktarının artması ile Mg₂Si bileşiğinin miktarı artmıştır.

Kaynaklar

- [1] Metals Handbook (1988). Casting, ASM, Ninth Edition, Volume 15.
- [2] Terjesen, G., (2003). Effect of elevated temperature on tensile properties and fracture toughness of an AlSi10Mg alloy, Aluminium, 79, 9, 748-754.
- [3] Shah, B.K., Kumar S.D. ve Dwivedi D.K., (2003). Aging temperature and abrasive wear behaviour of cast Al-(4%, 12%, 20%)Si-0.3% Mg alloys, Materials and Design, 28, 6, 1968-1974.
- [4] Esmaili S., Lloyd D.J. ve Poole W.J., (2003). Modeling of precipitation hardening for the naturally aged Al-Mg-Si-Cu alloy AA6111, Acta Materialia, 51, 12, 3467-3481.

[5] Esmaili S. ve Lloyd D.J., (2005). Modeling of precipitation hardening in pre-aged AlMgSi(Cu) alloys, Acta Materialia, 53, 20, 5257-5271.

[6] Wang Q.G. ve Davidson C.J., (2001). Solidification and precipitation behaviour of Al-Si-Mg casting alloys, Journal of Materials Science, 36, 3, 739-750.

[7] Tavitas-Medrano F.J., Gruzleski J.E., Samuel F.H., Valtierra S. ve Doty H.W., (2008). Effect of Mg and Sr-modification on the mechanical properties of 319-type aluminum cast alloys subjected to artificial aging, Materials Science and Engineering A, 480, 1-2, 356-364.

[8] Hwang J.Y., Doty H.W. ve Kaufman M.J., (2008). The effects of Mn additions on the microstructure and mechanical properties of Al-Si-Cu casting alloys, Materials Science and Engineering A, 488, 1-2, 496-504.

[9] Mirković D., Gröbner J. ve Schmid-Fetzer R., "Liquid demixing and microstructure formation in ternary Al-Sn-Cu alloys" ScienceDirect, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921509307017728> (20.10.2012).

[10] Grażyna Mrówka-Nowotnik G., "intermetallic Phases Examination in Cast AlSi5Cu1Mg and AlCu4Ni2Mg2 Aluminium Alloys in As-Cast and T6 Condition " Intech, http://cdn.intechopen.com/pdfs/24032/InTech-Intermetallic_phases_examination_in_cast_alsi5cu1mg_and_alcu4ni2mg2_aluminium_alloys_in_a_s_cast_and_t6_condition.pdf (22.10.2012)

[11] Kotadia H.R., Das A., Doernberg E. ve Schmid-Fetzer R., "A comparative study of ternary Al-Sn-Cu immiscible alloys prepared by conventional casting and casting under high-intensity ultrasonic irradiation" ScienceDirect, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0254058411007802> (11.10.2013).

[12] Taghaddos E, Hejazi MM, Taghiabadi R, Shabestari SG. Effect of iron-intermetallics on the fluidity of 413 Aluminum alloy. J Alloys and Compounds;468(1-2);539-5 (2009).

[13] Warmuzek M, Sieniawski J, Wicher K, Mrówka-Nowotnik G. The study of distribution of the transition metals and Si during primary precipitation of the intermetallic phases in Al-Mn-Si alloys. J Mater Process Technol;175(1-3):421-6 (2006).

[14] Liu YL, Kang SB, Kim HW. The complex microstructures in as-cast Al-Mg-Si alloy. Mater Lett;41:267-72 (1999).

- [15] Mrówka - Nowotnik G, Sieniawski J, Wierzbińska M. Analysis of intermetallic particles in AlSi1MgMn aluminium alloy. *J Ach Mater and Manufac Eng*:20(1-2);155-8 (2007).
- [16] Seifeddine S, Johansson S, Svensson I. The influence of cooling rate and manganese content on the β -Al5FeSi phase formation and mechanical properties of Al-Si-based alloys. *Mater Sci Eng:A* 490(1-2):385-90 (2008).
- [17] Warmuzek M, Rabczak K, Sieniawski J. The course of the peritectic transformation in the Al-rich Al-Fe-Mn-Si alloys. *J Mater Process Technol*;162-163:422-8 (2005).
- [18] Ashtari P., Tezuka H. ve Sato T., "Influence of Sr and Mn Additions on Intermetallic Compound Morphologiesin Al-Si-Cu-Fe Cast Alloys" The Japan Institute of Light Metal, <http://www.jim.or.jp/journal/e/pdf3/44/12/2611.pdf>(08.09.2011)
- [19] Mehdi Hosseinfar M. ve Malakhov D.V., "The Sequence of Intermetallics Formation during the Solidification of an Al-Mg-Si Alloy Containing La" *The Minerals, Metals & Materials Society and ASM International* <http://materials.mcmaster.ca/faculty/malakhov/Publications/2011%20Hosseinfar%20Malakhov.pdf> (29.06.2012)
- [20] Liu SF, Li B, Wang XH, Su W, Han H. Refinement effect of cerium, calcium and strontium in AZ91 magnesium alloy. *J Mater Process Technol*:209(8):3999-4004 (2009).
- [21] Cizek L, Hanus A, Sozanska M, Tanski T, Pawlica L. Structure characteristics of magnesium alloys with admixture of Aluminium, Silicon and Zirconium. *Acta Metallurgica Slovaca*:13:531-8 (2007).
- [22] Açıkgöz Ş, Şevik H, Kurnaz, SC. Influence of silver addition on the microstructure and mechanical properties of squeeze cast Mg-6Al-1Sn-0.3Mn-0.3Ti. *J Alloys Compd*:509 (27):7368-72 (2011).
- [23] Sun Y. ve Ahlatci H., Mechanical and wear behaviors of Al-12Si-XMg composites reinforced with in situ Mg₂Si particles, *Materials and Design*, 32, 5, 2983-2987 (2011).

Geliş Tarihi: 07.05.2013

Kabul Tarihi: 05.11.2013

