

Al-ağ. %6Si-ağ. %0.3Cu-ağ. 0.3%X (X= Be, Sb, Sc ve Ti) alaşımının mikroyapı ve mekanik özelliklerinin incelenmesi

Fatih YAŞAR^{1*} ve Fikret YILMAZ²

¹Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Tokat

²Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Tokat

*(fzyasar@gmail.com) Başlıca yazarın mail adresi

Özet –Alüminyum- Silisyum (Al- Si) alaşımları, döküm yoluyla üretilen alüminyum alaşımları içerisinde yaklaşık %90'lık bir paya sahiptir. Bu kadar yüksek oranda kullanılmasının ana nedeni bu alaşım grubunun otomotiv ve havacılık endüstrisinde geniş kullanım alanına sahip olmasıdır. Bu çalışmada, bazı elementlerin (ağ. %0.3 Be, Sb, Sc ve Ti), Al - ağ. %6 Si - ağ. %0.3Cu alaşımının mikroyapı ve mekanik özelliklerine etkisi incelendi. Alaşımların üretiminde indüksiyon ergitme yöntemi kullanıldı. XRD analizlerinden, Al ve Si için olası tüm pikler gözlenmiş olup bunun dışında herhangi bir safsızlık pikine rastlanmadı. Optik ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) incelemelerinde, tüm alaşımlar için ötektik Si ve α -Al fazları tam olarak gözlemlendi. Katkısız alaşımdaki kaba ve plaka yapılı Si fazlarının, Be, Sb ve Ti katkılı alaşımlarda ince ve lifsi yapıya dönüştüğü saptandı. Vicker's mikrosertlik analizleri, katkılı alaşımların sertlik değerlerinin, mikroyapı ile uyumlu olduğunu gösterdi ve Sb ilaveli alaşımın en yüksek sertlik değerine sahip olduğu saptandı.

Anahtar Kelimeler – Ötektik Altı Al- Si Alaşımı, İndüksiyon Ergitme, Modifikasyon, Mikroyapı, Mikrosertlik

I. GİRİŞ

Alüminyum silisyum alaşımları döküm kolaylığı, üstün korozyon direnci, düşük termal genişleme katsayısı, iyi kaynaklanabilirlik ve iyi mukavemet göstermesi gibi avantajları nedenleriyle otomotiv ve savunma sanayii başta olmak üzere uzay, havacılık, marine ve yapısal birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır [1, 2, 3, 4].

Manani ve ark. tarafından yapılan araştırmada, saf alüminyumun kaba ve sütunlu α - Al dendritlerden oluştuğunu ve ağırlıkça %3'e kadar Si katıldığında tane boyutu ve şeklinde önemli bir değişiklik olmadığını gösterdi. Ayrıca %3 Si ilavesiyle birincil α - Al tanelerinin şekli sütunlu yapıdan hücreli yapıya dönüştüğü ve artan Si miktarıyla saf alüminyuma göre tanelerin incelmeye eğiliminde olduğu tespit ettiler [1].

Ötektik altı Al-Si alaşımlarında ağ. % 0.1, 0.2, 0.5, 1.0 ve 1.5 bakır ilavesi yapıldığında alaşımdaki bakır miktarı arttıkça Vicker's sertlik değerinde kısmi bir artma gözlenmektedir. En yüksek sertlik değeri %1.5 Cu katkısında meydana gelmiştir. Nihai

çekme testinde en yüksek değer %1.0 Cu katkısında elde edilmiş, bakır miktarındaki artışla kopma uzamasının azaldığı tespit edilmiştir [5]. Al-Si alaşımında berilyumun silisyum parçacıkları üzerinde tane inceltici etki yaptığı, Be miktarının arttığında alaşımın sertlik değerinin azaldığı, ancak çekme dayanımının arttığı rapor edildi [6]. Ötektik silisyumun boyut, morfoloji ve dağılımının ağırlıkça %0.1, 0.3, 0.5 Sb elementi ile modifiye edilmesi ve T6 ısıl işlem uygulanması sonucu ötektik altı Al- Si alaşımında ötektik silisyumların inceliyor kırılıp küreselleştiği görülmüştür [7]. Döküm Al-Si alaşımına ağırlıkça %0.05,-0.4 arasında yapılan Sc katkısının ise ötektik Si morfolojisini plaka ve iğnemsiz yapıdan yuvarlak ve lifli Çince yazı benzeri bir yapıya dönüştürdüğü tespit edilmiştir [8]. Titanyum elementinin, Al-Si alaşımı üzerine etkisi, mikroyapıda oluşan $TiAl_3$ bileşiğinin meydana getirdiği heterojen çekirdeklenme mekanizması ile açıklanmıştır [9].

Şimdiye kadar yapılan çalışmalarda, Be, Sb, Sc ve Ti elementlerinin ötektik altı Al-Si alaşımlarının mikroyapı ve mekanik özellikleri üzerine etkisi ayrıntılı olarak incelenmedi. Bu bakımdan, bu çalışmada söz konusu elementlerin, Al-Si alaşımının mekanik özellikler ve mikroyapı üzerine etkileri ayrıntılı olarak çalışıldı.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

Ötektik altı Al-6Si-0.3Cu (Base) ve 0.3X (Be, Sc, Sb, Ti) katkılı alaşımlarının üretimi için yüksek saflıktaki Al ağ.%99.9, Si ağ.%98.4, Cu ağ.%99.9, Be ağ.%99.5, Sc ağ.%99.9, Sb ağ.%99.8 ve Ti ağ.%99.95 elementleri kullanılmıştır. Alaşımlar vakumlu kvartz pota içerisinde indüksiyon ergitme ocağında 900°C sıcaklıkta eritilmiştir. Eriyiğin atmosfer ortamında soğuması sağlanmıştır. Alaşımlar, homojenizasyon için 530 °C'de 12 saat boyunca tavlansmıştır.

PANalytical Epsilon5 XRF cihazı ile 100 kV'a kadar hızlandırma voltajı altında 0.6 ila 24 amperlik akım aralığında analizleri yapıldıktan sonra PANalytical Emperians XRD cihazı ile 45 kV, akım 40 mA değerinde ve dalga boyu $\lambda=0.154$ nm olan monokromatik $\text{CuK}\alpha$ radyasyonu ile analizler yapılmıştır. Yapılan XRD analizleri oda sıcaklığında ve $2\theta=10^\circ - 90^\circ$ aralığında alınmıştır. SEM görüntüleri için QUANTA 450 Field Emission Gun (FEG) cihazı kullanılmıştır. Görüntüler 2 ila 10 μm çözünürlükte ve 10kx ila 50kx büyütmede alınmıştır. Alaşımların sertlik değerleri HighWood HWDM-3 marka statik sertlik cihazıyla ve Vicker's uç kullanılarak yapılmıştır

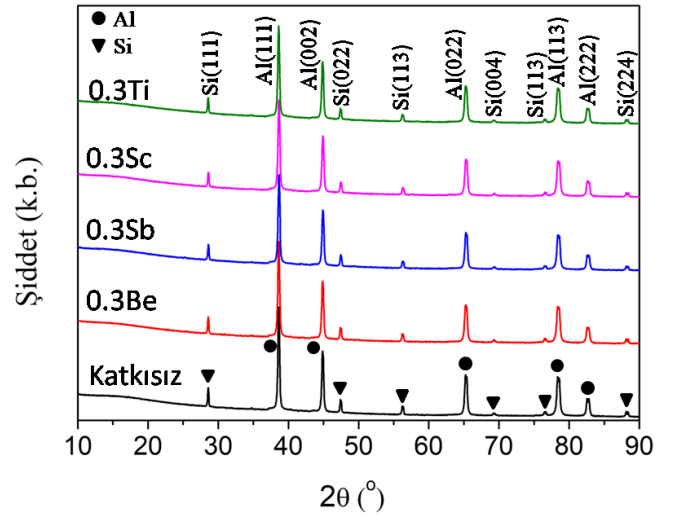
III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Tablo 1.'de indüksiyon ergitme fırınında külçe formunda üretilen alaşımların XRF sonuçları listelenmektedir. Tabloya göre alaşımların Al-ağ. %6Si- ağ. %0.3Cu- ağ. %0.3X bileşimine sahip olması amaçlanmıştır. Be ve Sb katkılı alaşımların katkı oranlarının, amaçlanandan bir miktar düşük olduğu görülmektedir. Bu durum alaşım elementlerindeki safsızlıktan kaynaklandığı, alaşım içerisindeki miktarlarının kabul edilebilir değerlerde olduğu görülmektedir.

Tablo 1. Külçe formda üretilen alaşımların XRF yöntemi ile belirlenen ağırlıkça % bileşim değerleri

Alaşım	Al	Si	Cu	Be	Sb	Sc	Ti	Diğer
Base	93.359	6.040	0.382	-	-	-	-	0.219
Base + 0.3Be	93.564	5.885	0.332	0.217	-	-	-	0.152
Base + 0.3Sb	93.445	5.061	0.305	-	0.210	-	-	0.979
Base + 0.3Sc	93.050	5.935	0.282	-	-	0.364	-	0.369
Base + 0.3Ti	93.007	6.017	0.341	-	-	-	0.382	0.253

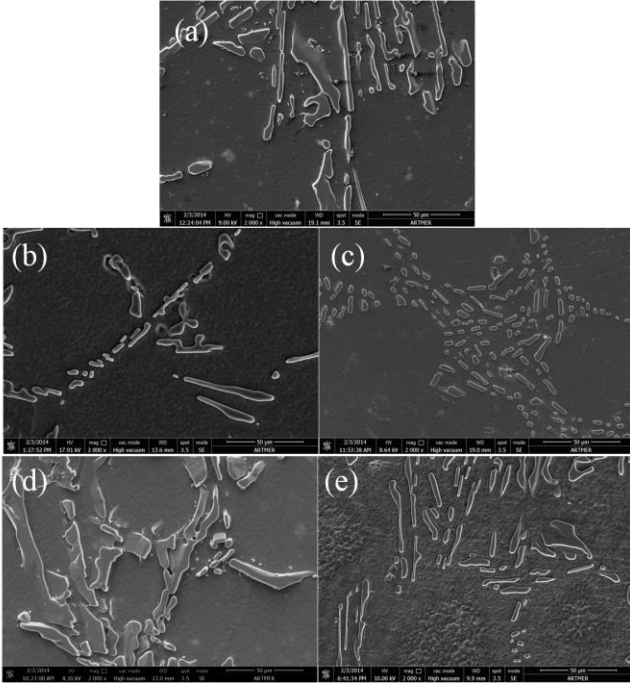
Şekil 1.'de külçe alaşımlara ait XRD desenleri verilmektedir. Alaşımların tamamında, $2\theta=10^\circ-90^\circ$ aralığında Al ve Si'ye ait mümkün olan tüm kırınım pikleri gözlenmiş olup herhangi bir safsızlık pikine rastlanmamıştır. Ayrıca, Cu ve diğer katkı elementlerine ait (Be, Sb, Sc ve Ti) herhangi bir intermetalik faza ait pik de gözlenmemiştir. Bu durum söz konusu elementlerin, Al ana matrisi içinde çözünmesi ile açıklanmaktadır.



Şekil 1. İndüksiyon ergitme ile üretilen külçe alaşımlara ait XRD desenleri

Şekil 2.'de katkısız (a) ve katkılanmış (b), (c), (d), (e) külçe alaşımlarının SEM görüntüleri verilmektedir. Katkısız külçe alaşımın mikroyapısının düzensiz α -Al dentritleri ve ötektik Si fazlarından oluştuğu, ötektik Si fazlarının, kaba ve köşeli yapıda olduğu görülmektedir. Be katkılı külçede mikroyapının düzenli α -Al dentritlerinden ve ötektik Si fazlarından oluştuğu görülmektedir (Şekil 3.(b)). Ötektik Si fazlarının boyutları bir miktar küçülmüştür. Öte yandan, ötektik Si'nin

köşeli morfolojisi değişerek oval bir morfolojiye dönüşmüştür.



Şekil 2. Külçe alaşımların birlikte mikroyapı görüntüleri (2000x), (a) Al-6Si-0.3Cu, (b) Al-6Si-0.3Cu-0.3Be, (c) Al-6Si-0.3Cu-0.3Sb, (d) Al-6Si-0.3Cu-0.3Sc, (e) Al-6Si-0.3Cu-0.3Ti

Sb katkılı Al-6Si0.3Cu alaşımında α -Al dentrit yapısının, katkısız alaşıma kıyasla oldukça küçüldüğü görülmektedir (Şekil 3.(c)). Ayrıca ötektik Si'lerin tamamen oval lifsi ve küresel morfolojiye dönüştüğü ve boyutlarının önemli ölçüde azaldığı görülmektedir. Bu açıdan Sb elementi, hem tane inceltici hem de modifiye edici bir özellik göstermiştir.

Sc katkılı alaşımda, mikroyapının düzenli α -Al dentritlerinden ve ötektik Si fazlarından oluştuğu ve α -Al dentrit kollarının, katkısız alaşıma nazaran küçüldüğü görülmektedir (Şekil 2d). Ancak ötektik Si fazının boyutlarında ve morfolojisinde belirgin bir değişiklik gözlenmemiştir. Bu bakımdan, Sc'nin Si fazlarını modifiye edemediği ancak Al-dentrit yapısını düzenlediği sonucuna ulaşılabilir.

Ti katkılı alaşım incelendiğinde, α -Al dentrit yapısının, katkısız alaşıma kıyasla daha düzenli ve dentritik kolları arası mesafenin azaldığı görülmektedir (Şekil 2e). Ötektik Si fazlarının ise tamamen ince ve lifsi morfolojiye dönüştüğü, bu bağlamda Ti katkısının hem α -Al dentrit yapısını incelttiği hem de ötektik Si morfolojisini modifiye ettiği söylenebilir.

İndüksiyon ergitme yöntemiyle üretimi yapılan külçe alaşımlardan alınan örnekler kalıplanıp parlatıldıktan sonra Vicker's statik sertlik değerleri 0.3 kg-f ve 0.5 kg-f gibi farklı yükler altında yapılmıştır. Külçe alaşımların sertlik değerleri, katkısız, Be, Sb, Sc ve Ti katkılı alaşımlar için sırasıyla, 40, 58, 45 49 ve 50 HV olarak ölçüldü. Bulunan değerler literatürle uyum içindedir [10]. Külçe alaşımlarda en yüksek sertlik değeri Be katkılı alaşımda görülmektedir. Bu durum söz konusu alaşımın homojen ve ince yapılı bir mikroyapıya sahip olması ile açıklanmaktadır.

IV. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Al-6Si-0.3Cu-0.3X (X=Be, Sb, Sc, Ti) alaşımında, katkı elementlerinin alaşımın mikroyapı ve mekanik özellikleri üzerine etkisi incelendi. XRD analizlerinde, Al ve Si'ye ait pikler görülürken diğer olası fazlara ait pikler saptanmadı. SEM analizlerinde, özellikle Sb, Ti ve Be katkılı alaşımlar Si fazlarının incelendiği ve daha oval bir yapıya dönüştüğü görüldü. Sertlik analizlerinde ise, katkılı alaşımların tamamının katkısız alaşıma kıyasla daha yüksek sertlik değerine sahip olduğu ve özellikle Ti ve Sc katkılı alaşımların en yüksek sertlik değerlerine ulaştığı saptandı.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri komisyonu tarafından, 2018/13 nolu proje ile desteklendi.

KAYNAKLAR

- [1] S. Manani, A. Patodi, M. N. Verma and A. K. Pradhan, "Comparative Study of Microstructure and Properties of Hypoeutectic Al-Si Alloys Being Cast With and Without Melt Thermal Treatment," *Metallography, Microstructure, and Analysis*, vol. 11, no. 3, pp. 412-424, 2022.
- [2] L. Yuxian, H. Anita, F. Yintian, L. Sufeng, S. Wutian, H. Henry and N. Xueyuan, "Al Alloys and Casting Processes for Induction Motor Applications in Battery-Powered Electric Vehicles: A Review," *Metals*, no. 12, p. 216, 2022.
- [3] A. Adekunle, A. Adeleke, I. PP, P. Omoniyi, T. Gbadamosi and J. Odusote, "Effect of copper addition and solution heat treatment on the mechanical properties of aluminum alloy using formulated bio-

quenchant oils,” *Engineering and Applied Science Research*, vol. 47, no. 3, pp. 297-305, 2020.

- [4] H. Chen, Y. Zeng, Y. Li, C. Wang and X. Ji, “Study of Microstructure Scale and Regulation of Mechanical Properties of Al-6Si Hypoeutectic Alloy,” *Silicon*, vol. 15, no. 4, p. 1635–1646, 2023.
- [5] K. Yamamoto, M. Takahashi, Y. Kamikubo, Y. Sugiura, S. Iwasawa and T. Nakata, “Optimization of Cu content for the development of high-performance T5-treated thixo-cast Al–7Si–0.5Mg–Cu (wt.%) alloy,” *Journal of Materials Science & Technology*, vol. 93, pp. 178- 190, 2021.
- [6] M. Rejaeian, M. Karamouz, M. Emamy and M. Hajizamani, “Effects of Be additions on microstructure, hardness and tensile properties of A380 aluminum alloy,” *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, vol. 25, no. 11, pp. 3539-3545, 2015.
- [7] J. Guo, Z.-P. Guan, R.-F. Yan, P.-K. Ma, M.-H. Wang, P. Zhao and J.-G. Wang, “Effect of Modification with Different Contents of Sb and Sr on the Thermal Conductivity of Hypoeutectic Al-Si Alloy,” *Metals*, vol. 10, no. 12, pp. 1637-1650, 2020.
- [8] P. Seensattayawong, P. Pandee and C. Limmaneevichitr, “Impression creep properties of hypoeutectic Al-Si alloys with scandium additions,” *Materials Today: Proceedings*, vol. 5, no. 3, pp. 9440-9446, 2018.
- [9] G. K. Sigworth and T. A. Kuhn, “Grain refinement of aluminium casting alloys,” *International Journal of Metalcasting*, vol. 1, no. 1, pp. 31- 40, 2007.
- [10] R. C. Sales, P. Felipe Junior, K. G. Paradela, W. J. L. Garção and A. F. Ferreira, “Effect of Solidification Processing Parameters and Silicon Content on the Dendritic Spacing and Hardness in Hypoeutectic Al-Si Alloys,” *Materials Research*, vol. 21, no. 6, 2018.