

Yarı katı şekillendirilmiş AlSi12 alüminyum alaşımında Ag ilavesinin mikroyapıya etkisinin incelenmesi

Adnan TÜRKER^{1,*}, Nurşen SAKLAKOĞLU²

¹Milli Savunma Üniversitesi Kara Astsb.MYO Makina Böl., Çayırhisar, Balıkesir

²Celal Bayar Üniversitesi Makina Müh. Böl., Muradiye Kampüsü, Manisa

Geliş Tarihi (Recived Date): 06.09.2017

Kabul Tarihi (Accepted Date): 07.02.2018

Özet

Bu çalışmanın temel amacı yarı katı halde şekillendirilmiş AlSi12 alaşımına eser miktarda Ag elementi ilavesinin malzemenin mikroyapısına ve mekanik özelliklerine etkilerini ortaya koymaktır. Yarı katı halde şekillendirmenin intermetalik morfolojisi, Si oluşumu ve küresel α -Al morfolojileri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Intermetalikler yarı katı halde şekillendirme esnasında kırılmaktadır. Ayrık Si partikülleri hem yarı katı hem de tiksö şekillendirmede gözlenmiştir ve mekanik özelliklere önemli katkısı olmuştur.

Anahtar kelimeler: AlSi alaşımları, intermetalik fazlar, mekanik özellikler, Ag ilavesi, yarı katı şekillendirme.

Investigation of microstructure effect of Ag addition in Thixo forming AlSi12 aluminum alloy

Abstract

The main objective of this study is to reveal the effect of the Thixo process on the microstructure and mechanical properties of the AlSi12 alloy with trace amounts of silver. It is concluded that Thixo has an important effect on the morphology of intermetallics and Si formation, as well as globular α -Al morphology. The intermetallics have been fractured during thixo. It is believed that the fine distribution of the intermetallics is one mechanism for the improved mechanical properties of Thixo

* Adnan TÜRKER, adnanturker2002@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3959-761X>
Nurşen SAKLAKOĞLU, nsaklakoglu@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6651-7542>

alloys. The discrete Si particles have been observed during both isothermal heating and Thixo and have an important effect on mechanical properties.

Keywords: *AlSi alloys, intermetallic phases, mechanical properties, Ag addition, thixo forming.*

1. Giriş

Yarı katı halde şekillendirme (Semisolid forming-SSF) metallerin solidüs ve likidüs sıcaklıkları arasında şekillendirilmesi yöntemidir [1,2]. Bu yöntem döküm ve dövme proseslerinin avantajlarını bir araya toplamasıyla bilinmektedir [3,4]. Yarı katı halden katılaşma, tamamen sıvıdan katılaşmaya göre düşük çekme, şeklin net oluşması, prosesin hızlı olması gibi avantajlara sahiptir [5]. Yarı katı halde şekillendirme intermetalik fazların morfolojisini, birincil fazların şekillerini ve boyutlarını etkileyebilmektedir. Bu, poroziteyi ve diğer döküm hatalarını düşürebilmektedir. Böylece alaşımın mekanik özellikleri geliştirilebilmektedir [6]. Tikso şekillendirme (thixoforging), tikso dövme (thixoforging), tikso döküm (thixocasting) gibi farklı uygulamaları bulunan bu yöntemde ortak nokta parçanın bu yöntemle şekillendirilebilmesi için küresel tane yapısına sahip olması gerekliliğidir. Küresel tane yapısı dendritik yapıya göre akışkanlığa daha az direnç göstermektedir. Eğimli soğutma plakasından döküm yöntemi yarı katı halde şekillendirilecek numuneyi üretmek için kullanılan çok basit bir yöntemdir. Soğutulan eğimli bir plaka boyunca döküm yapıldığında, dendritik yapının dejenere olduğu, yarı katı aralığa ısıtılma esnasında tanelerin küreselleştiği ve böylece yarı katı şekillendirmeye uygun hale geldiği bilinmektedir [7,8].

Malzeme özellikleri eğimli plakadan döküm parametreleri (soğutma gücü, eğim açısı vs), yarı katı aralık için sıcaklık ve bekleme süresi ile şekillendirme kuvveti gibi pek çok faktöre bağlıdır. Bunların dışında şekillendirme süresince malzemede oluşan intermetalik fazların şekli ve dağılımı da önemli etkiye sahiptir [9].

3000 serisi alüminyum alaşımları yaygın olarak inşaat, mühendislik uygulamaları, ulaşım, havacılık ve otomotiv sektöründe kullanılmaktadır. Son yıllarda, düşük yoğunluk ve makul sertliklere ulaşmak amacı ile matriks yapıya eser miktarda (mikro alaşım) Sn, In, Cd ve Ag ilavesi araştırmaları yapılmaktadır [10]. Alaşımın kompozisyonuna ve katılaşma koşullarına bağlı olarak katılaşma esnasında geniş aralıkta intermetalik fazlar oluşabilmektedir. Literatürde intermetalik partikül karakterizasyonu yanı sıra alaşım kimyasal kompozisyonunun optimizasyonuna yönelik de bir çok çalışma bulunmaktadır “[11-15]. Ancak çok az çalışmada intermetaliklerin yarı katı şekillendirme esnasındaki davranışı araştırılmıştır. S.G.Shabestari ve M.Ghanbari Al-8Si-3Cu-4Fe-2Mn alaşımında yarı katı şekillendirme esnasında Fe-esaslı intermetaliklerin ortalama çaplarının azaldığı ve daha iyi bir dağılım meydana geldiğini ve bunun sonucunda mekanik özelliklerin iyileştiğini vurgulamaktadırlar [16]. S.G. Irizalp ve N. Saklakoglu A380 alüminyum alaşımında α -Al₁₅Si₂(Fe,Mn)₃ intermetalik partikülünün döküm prosesinde çin-yazısı formunda oluştuğunu tikso şekillendirmede ise polihedral morfolojiye dönüştüğünü göstermiştir [17]. E.M. Elgallad ve ark. Al- % 2.0 Cu- % 1.0 Si- % 0.4 Mg alaşımına Sr, TiB₂, Zr, Ag, Fe, Mn, Sn ve Bi ilavesinin döküm ve ısıtılma işlemdeki etkilerini araştırmıştır [18]. Daha önceki çalışmalarımızda alüminyum alaşımına Sn, In, Cd ve Ag elementlerin eser miktarlarda

ilavesinin yaşlanma prosesinde önemli etkilere sebep olduğunu bunlardan mekanik özelliklerde en önemli iyileşmenin Ag elementi ilavesinde sağlandığı gözlenmiştir [19].

Bu çalışmada eser miktarda Ag ilavesinin AlSi12 alüminyum alaşımının tikso şekillendirilebilirliğine, tane yapısına, intermetalik morfolojisine ve mekanik özelliklere etkileri araştırılmıştır.

2. Deneysel çalışmalar

2.1. Malzeme

Bu çalışmada kullanılan alaşımın kimyasal kompozisyonu Tablo 1 de gösterilmiştir.

Tablo 1. AlSi12 alaşımının kimyasal kompozisyonu (Kütlece %).

Al	Si	Mg	Fe	Ti	Mn	Sb	Ni	Zn
87.73	11.70	0.16	0.15	0.10	0.05	0.02	0.01	0.07

2.2. Numune hazırlama

Alüminyum alaşımı elektrik direnç fırınında ergitilmiştir. Dökümden önce flux ilave edilmiştir. Gaz ve istenmeyen artık maddeler uzaklaştırılmış, daha sonra 270.242 g AlSi12 alaşımına 0.540 g Ag ilave edilmiştir. Alaşımın kompozisyonunun tamamen homojen olabilmesi için 750 °C sıcaklıkta 10 dakika bekletilmiştir. Eğimli soğutma plakasından döküm düzeneği için numuneye açılan 3 mm çapında ve 3 mm derinliğinde bir deliğe yerleştirilen dijital bir göstereye bağlı olan prob (K tipi termokopul) yardımı ile sıcaklık kontrolü sağlanmıştır. Eğimli soğutma plakasından döküm parametreleri Şekil 1’de gösterilmiştir. Kalıp 200 °C’de ön ısıtmada tutulmaktadır. Ergiyiğin ısı 650 °C’ye soğutulmuş sonra eğimli soğutma plakasına dökülerek buradan kalıba akmıştır (Şekil 1).



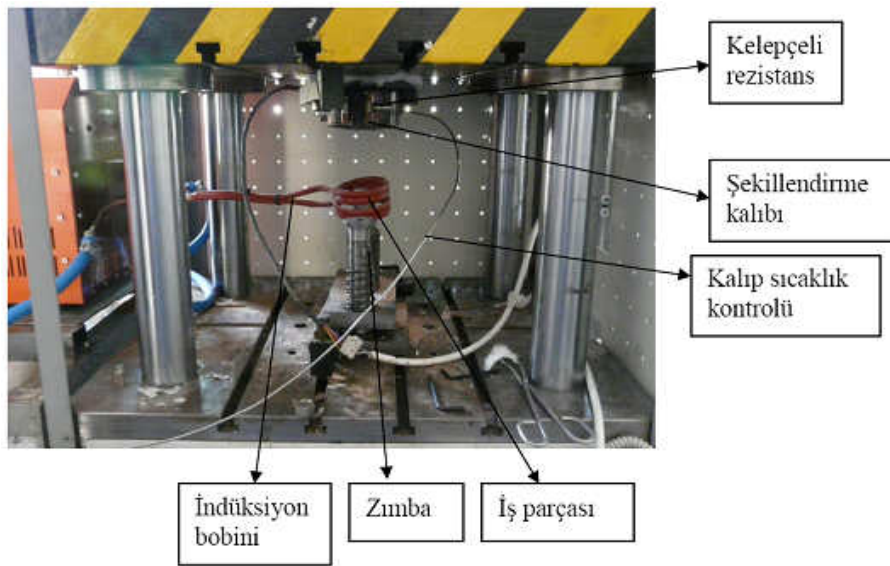
Şekil 1. Çalışmada kullanılan eğimli soğutma plaka düzeneği.

Eğimli soğutma plakasından döküm için kullanılan parametreler Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. Eğimli soğutma plakası deney düzeneği parametreleri.

Plaka malzemesi	1.2344
Plaka kaplama malzemesi	Bor nitrür (BN)
Plaka eğim açısı	60°
Plaka döküm uzunluğu	350 mm.
Döküm sıcaklığı	650 °C

Yarı katı halde şekillendirme aparatları ve deneysel koşulları Şekil 2 ve Tablo 3’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Çalışmada kullanılan yarı katı şekillendirme düzeneği.

Tablo 3. Yarı katı şekillendirme ünitesinin özellikleri.

Şekillendirme ünitesinin boyutları	57 x 72 x 195 mm
Maksimum yük	20 ton-kuvvet
Maksimum hız	250 mm/s
Strok	400 mm

Bu çalışmada iki farklı uygulama yapılmıştır:

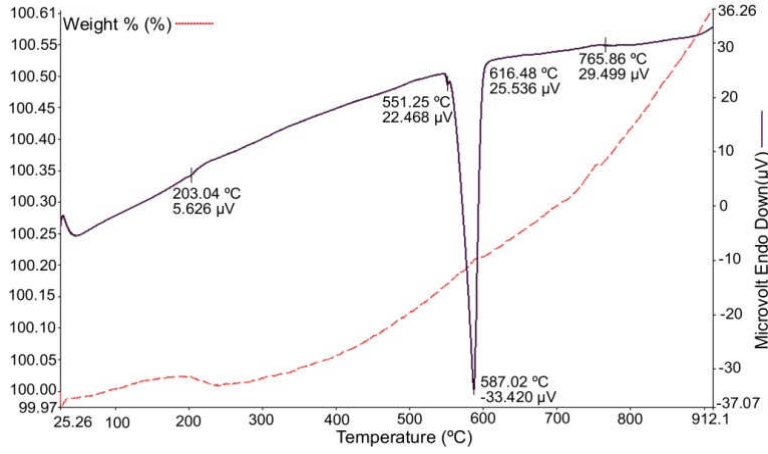
(i) Yarı katı aralığa ısıtma ve bu haldeki mikroyapıyı incelemek üzere hızlı soğutma (gösterimi ‘YARI-KATI’),

(ii) Yarı katı aralığa ısıtma, basınç uygulayarak numunenin şekillendirilmesi sonra yarı katı şekillendirilebilirliğinin araştırılması için yavaşça soğutma (gösterimi ‘TİKSO FORMİNG’).

Hem YARI-KATI hem TİKSO FORMİNG numuneler üretildikten sonra metalografik ve mekanik özellikleri araştırılmıştır. Numunelerin yüzeyleri zımparalama, parlatma prosedürleri kullanılarak ve keller çözeltisi ile dağlanarak hazırlanmıştır. (50 ml H₂O içine % 0,5 HF). Alaşımın mikroyapısının araştırılması NIKON 300 optik mikroskobu

kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Numunelerin morfolojisi HITACHI S-3400 taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile belirlenmiştir. İntermetaliklerin kimyasal kompozisyonu SEM ve Thermo Noran programı ile bağlantılı EDS ile belirlenmiştir. Mikrosertlik testleri Metkon metallography MH-6 mikrosertlik ölçüm cihazı ile 40X büyütmede, 25 gr yük, 5 saniye (dwell dell) uygulanarak yapılmıştır. Mikrosertlik deneyi silisyum hegzagonalları şekillendirilmiş numunelerde gözüktüğü için şekillendirilmiş ve %0,2 Ag ilaveli şekillendirilmiş numunelerde yapılmıştır. 8 mm yükseklikte, 15 mm çapta numuneler hazırlanmış ve bunlar üzerinde sertlik ölçümleri yapılmıştır. ImageJ 1.44 programı kullanılarak tane ve küresellik ölçümü yapılmıştır.

Optimum yarı-katı sıcaklığın tahmini için diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) değerleri kullanılmıştır. Likidüs ve solidüs sıcaklıklarının 551 °C ve 616 °C aralığında olduğu DSC ile tespit edilmiştir (Şekil 3). Hem DSC sonuçları ve hem deneysel tecrübelerimiz AlSi12 alaşımı için en iyi yarı katı sıcaklığın 572 °C olduğunu göstermiştir. Eğimli soğutma plakasından döküm yapmak üzere döküm sıcaklık aralığı, deneysel tecrübelerimizi de kullanarak 645 °C – 655 °C arasında seçilmiştir.



Şekil 3. Ergiyikten soğumaya kadar ki aşamada kaydedilen AlSi12 alaşımının DSC eğrisi.

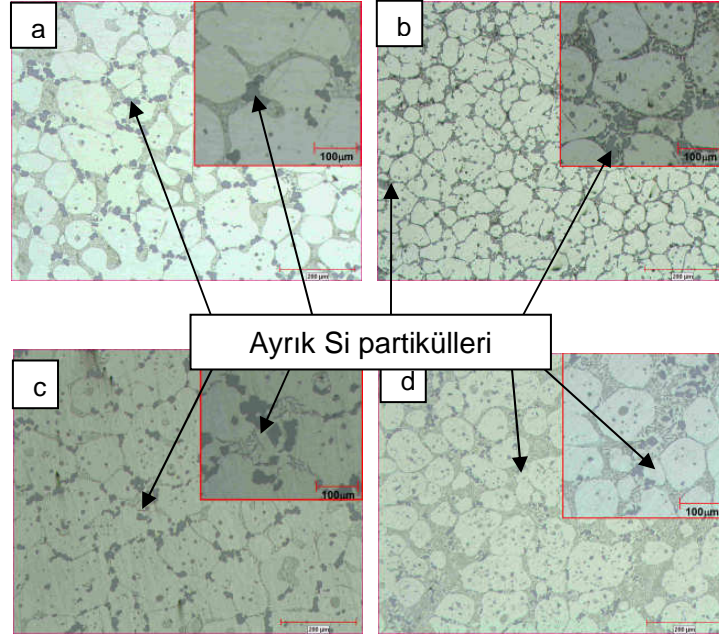
3. Sonuçlar ve tartışma

3.1. Mikro yapı ve tane analizi

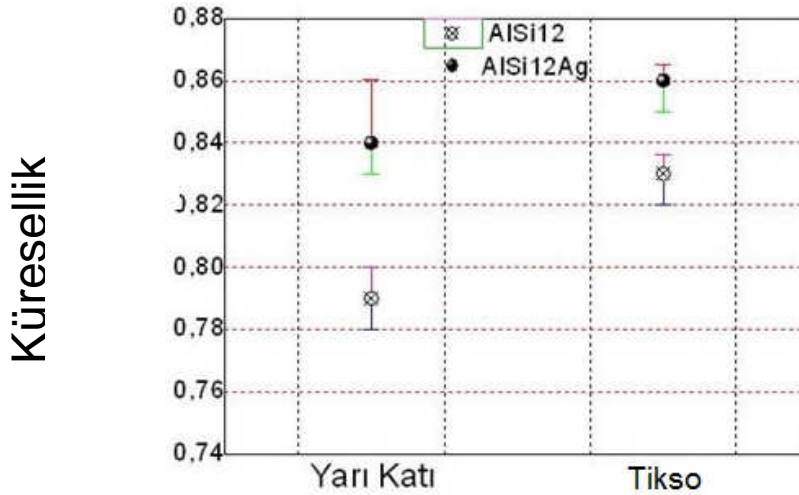
Şekil 4(a), (b) (c) ve (d) YARI-KATI ve TIKSO FORMİNG numunelerin mikroyapısını göstermektedir. Şekil 4(a) da yarı-katı numunenin içyapısında ötektik fazla çevrelenmiş tipik küresel yapı görülmektedir. Ag ilavesi sonucu tane boyutu incelmıştır (Şekil 4 b). Yarı katı şekillendirme ile numune yavaşça soğuduğu için tane boyutları artmıştır. Yarı katı halde şekillendirilmiş numunelerin (TIKSO FORMİNG) mikro yapıları Şekil 4(c) ve Şekil 4(d) de gösterilmiştir. Dikkat çekici sonuçlardan biri; ‘ayrık Si partikülleri’ diye adlandırılan Si ötektiklerinin yarı katı şekillendirmeden sonra daha ince bir formda oluşmasıdır. AlSi12 alaşımına Ag ilavesinin ayrık silisyum partiküllerinin boyutunu küçülttüğü ve sayısını artırdığı Şekil 4’ten anlaşılmaktadır. Yarı katı halde şekillendirme ayrık silisyum partiküllerinin incelmeye ve karışıp dağılmasına sebep olmuştur. Basınç uygulaması süresince, ergiyen ötektik bölge hareket ederken, ergimeyen ve ergiyik içinde askıda kalmış ayrık silisyum partikülleri toplanma eğilimindedirler

[5,20]. Yarı katı halde şekillendirme ayrık Si partiküllerini homojen bir şekilde dağıtmıştır (Şekil 4(c) ve (d)).

Bunun yanında, yarı katı halde şekillendirme esnasında uygulanan basınç ile tanelerin çarpıldığı ve sıvı fazın tanelerin arasında dolaşmasından dolayı α -Al (~5%)’un küreselliğinin arttığı Şekil 5’te görülmektedir [21]. Ag ilavesi küreselliği artırmaktadır. Tanelerin küreselliği yarı katı halde şekillendirmeyi etkilemektedir. Küresellik ne kadar yüksek ise yarı katı şekillendirmenin başarısı o kadar artacaktır . [22,23,24,25].



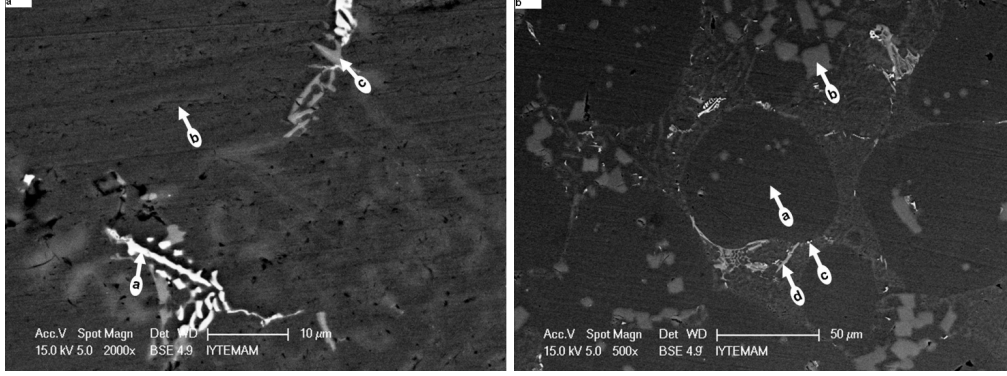
Şekil 4. Mikroyapılar : (a) AlSi12 alaışımının YARI-KATI numunesi , (b) AlSi12 alaışımının Ag ilaveli YARI-KATI numunesi, (c) AlSi12 alaışımının yarı katı şekillendirilmiş (TIKSO FORMİNG) numunesi, (d) AlSi12 alaışımının Ag ilaveli yarı katı şekillendirilmiş (TIKSO FORMİNG) numunesi.



Şekil 5. AlSi12 ve AlSi12Ag’ün YARI-KATI ve TIKSO FORMİNG durumdaki küresellik değerleri.

3.2. İntermetalik ve sertlik analizi

Şekil 6 ve Tablo 4, α -Al matrisi, ayrı Si partikülleri ve bazı intermetaliklerin morfolojilerini ve EDS analizlerini göstermektedir. Buna göre, AlSi12 alaşımı içinde Fe-ce ve Si-ca zengin intermetaliklerin oluştuğu görülmektedir. Çalışmalarımızda bu intermetaliklerin α -Al(FeMn)Si & β -Al5FeSi olduğu gözlenmiştir [26].

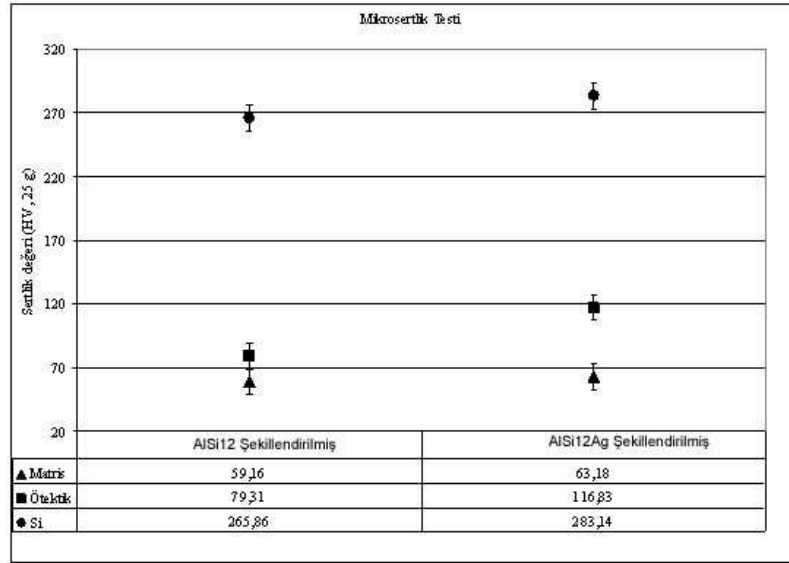


Şekil 6. (a) Yarı katı şekillendirilmiş AlSi12 içindeki intermetalikler, (b) Yarı katı şekillendirilmiş AlSi12Ag içindeki intermetalikler.

Tablo 4. Yarı katı halde şekillendirilmiş (TİKSO FORMİNG) AlSi12 ve AlSi12Ag'nin EDS sonuçları.

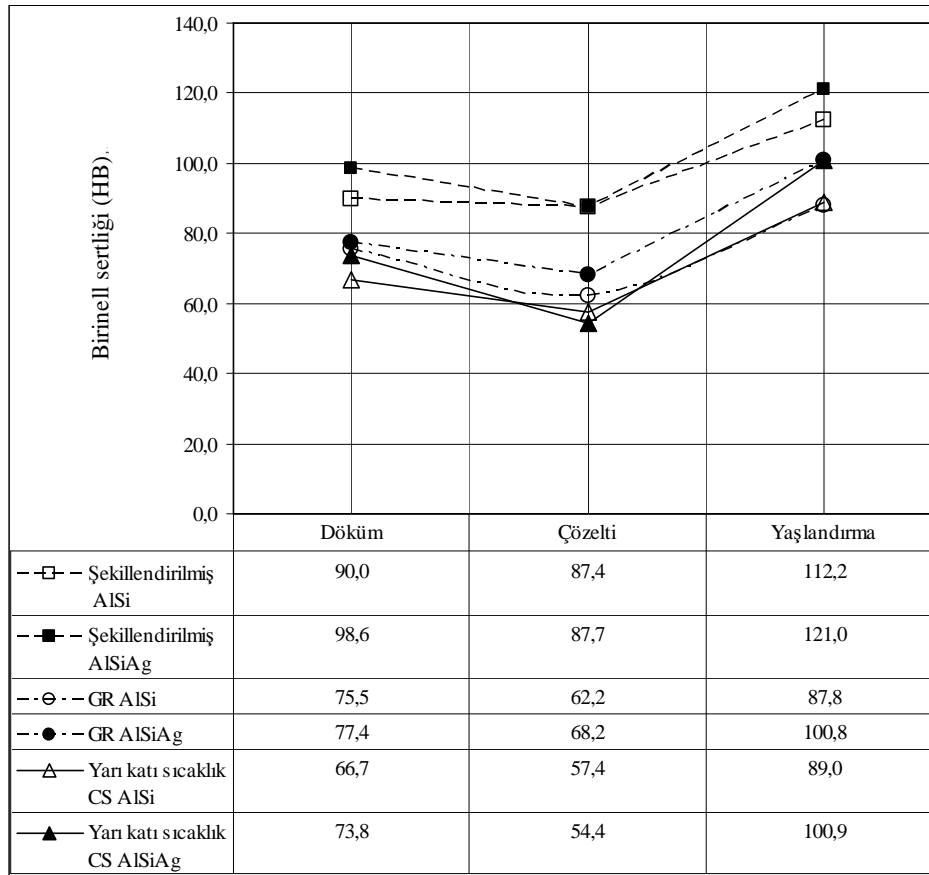
	Test yeri	Si	Fe	Mg	Mn	Ag	Al
AlSi12	a	-	-	1.17	-	-	98.83
	b	7.41	22.79	-	6.35	-	63.46
	c	19.31	8.42	10.46	-	-	
AlSi12Ag	a	1.63	-	-	-	7.23	91.14
	b	98.40	-	-	-	-	1.60
	c	10.53	12.65	1.87	4.23	3.88	66.84
	d	20.97	8.68	10.24	1.73	2.66	55.73

Yarı katı şekillendirmiş AlSi12 ve AlSi12Ag'nin mikrosertlik sonuçları Ag ilavesinin sertliği artırdığını ve ayrı Si partiküllerinin sertliğinin matris yapıdan 5 kat daha fazla olduğunu göstermiştir (Şekil 7). Yarı katı şekillendirmiş alaşım içindeki sert silikon partiküller intermetalikler gibi davranmaktadır [20].



Şekil 7. Yarı katı şekillendirmiş (TİKSO FORMİNG) AISi12 ve AISi12Ag (TİKSO FORMİNG) alaşımında görülen çeşitli fazların sertlik değerleri.

Genel sertliği önemli derecede artırmaktadır. Yarı katı halde şekillendirme prosesi sertlik üzerinde Ag ilavesinden daha iyi bir etkiye sahiptir (Şekil 8).



Şekil 8. Yarı katı şekillendirmiş (TİKSO FORMİNG), Graviti (GR) dökümü yapılmış ve Yarı katı sıcaklıkta bekletilip (CS) soğutulmuş AISi12 ve AISi12Ag alaşımlarının sertlik değerleri.

3.3. Sonuçlar

Çalışmanın sonuçları aşağıda özetlenmiştir:

- Hem yarı-katı aralığa ısıtılmış hem de yarı-katı aralıkta şekillendirilmiş numunelerde ayırık Si partikülleri oluşumu gözlenmiştir.
- AlSi12 alaşımına Ag ilavesi ile ayırık Si partikülleri artmış ve küçülmüştür.
- Yarı katı şekillendirme ayırık Si partiküllerinin incelmesine sebep olmuştur.
- Yarı katı şekillendirmeden sonra ayırık Si partikülleri toplanmaya meyillenmiş ve vizkozite düşmüştür.
- Hem yarı katı şekillendirme hem Ag ilavesi küreselliği daha çok artırmıştır.
- İntermetalikler kırılmaya ve küçülmeye maruz kalmıştır.
- Yarı katı şekillendirilmiş alaşımlarda intermetaliklerin iyi dağılımı alaşımın mekanik özelliklerine olumlu katkı sağlayacaktır.
- Yarı katı halde şekillendirme prosesi sertlik üzerinde Ag ilavesinden daha iyi bir etkiye sahiptir.
- Ayırık Si partikülleri matriksten yaklaşık 5 kat daha fazla sertliğe sahiptir.

Kaynaklar

- [1] Bolouri, A. ve Kang, C.G., Characteristics of thixoformed A356 aluminum thin plates with microchannels, **Materials Characterization**, 82, 86–96, (2013).
- [2] Bolouri, A., Bae J.W. ve Kang C.G., Tensile properties and microstructural characteristics of indirect rheoformed A356 aluminum alloy. **Materials Science and Engineering A**, 562(1), 1-8, (2013).
- [3] Chung G.K., Chul K. J. ve Amir B., Semisolid forming of thin plates with microscale features , **Procedia Engineering**, 81, 63-73, (2014).
- [4] Kim, W.Y., Kang, C.G. ve Kim, B.M., The effect of the solid fraction on rheological behavior of wrought aluminium alloys in incremental compression experiments with a closed die, **Materials Science and Engineering A**, 44, 1-10, (2007).
- [5] Hekmat-Ardakan, A. ve Ajersch, F., Effect of isothermal ageing on the semi-solid microstructure of rheoprocessed and partially remelted of A390 alloy with 10% Mg addition, **Materials Characterization**, 61, 778–85, (2010).
- [6] Flemings, M.C., Behavior of metal alloys in the semi-solid state, **Metal. Trans. A**, 22A, 952-981, (1991).
- [7] Wang, J.J., Phillion, A.B. ve Lu, G.M., Development of a visco-plastic constitutive modeling for thixoforming of AA6061 in semi-solid state, **Journal of Alloys and Compounds**, 609, 290-295, (2014).
- [8] Zhang, L., Liu, Y.B., Cao, Z.Y., Zhang, Y.F. ve Zhang, Q.Q., Effects of isothermal process parameters on the microstructure of semisolid AZ91D alloy produced by SIMA, **Journal of Materials Processing Technology**, 209, 792-797, (2009).
- [9] Wang, S.C., Zhou, N., QI W.J. ve Zheng, K.H., Microstructure and mechanical properties of A356 aluminum alloy wheels prepared by thixo-forging combined with a low superheat casting process, **Trans. Nonferrous Met. Soc.**, 24, 2214-2219, (2014).
- [10] Banerjee, S., Robi, P.S., Srinivasan, A. ve Lakavath, P.K., Effect of trace additions of Sn on microstructure and mechanical properties of Al–Cu–Mg alloys. **Materials & Design**, 31(8), 4007-4015, (2010).

- [11] Mrówka-Nowotnik, G., Sieniawski, J. ve Wierzbińska, M.. Analysis of intermetallic particles in AlSi1MgMn aluminium alloys, **Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering** 20, 155-158, (2007).
- [12] Mrówka-Nowotnik, G., Sieniawski, J. ve Wierzbińska, M.. Intermetallic phase particles in 6082 aluminium alloy, **Archives of Materials Science and Engineering** 282, 69-76, (2007).
- [13] Wierzbińska, M. ve Mrówka-Nowotnik, G., Identification of phase composition of AlSi5Cu2Mg aluminium alloy in T6 condition, **Archives of Materials Science and Engineering**, 30(2), 85-88, (2008).
- [14] Zajac, B., Bengtsson, Ch. ve Jönsson,, Influence of cooling after homogenization and reheating to extrusion on extrudability and final properties of AA 6063 and AA 6082 alloys, **Materials Science Forum**, 396-402, 675-680 (2002).
- [15] Zhen, L. ve Kang, S.B., DSC analyses of the precipitation behavior of two Al-Mg-Si alloys naturally aged for different times. **Materials Letters**. 37, 349-353, (1998).
- [16] Shabestari, S.G. ve Ghanbari, M., Effect of plastic deformation and semisolid forming on iron–manganese rich intermetallics in Al–8Si–3Cu–4Fe–2Mn alloy. **Journal of Alloys and Compounds**, 508(2), 315-319, (2010).
- [17] Irizalp, S.G., Saklakoğlu, N., Effect of Fe-rich intermetallics on the microstructure and mechanical properties of thixoformed A380 aluminum alloy. **Engineering Science and Technology, an International Journal**, 17(2), 58-62, (2014).
- [18] Elgallad, E.M., Samuel, A.M., Samuel, F.H. ve Doty, H.W., Effects of additives on the microstructures and tensile properties of new Al-Cu based alloy intended for automotive castings. **AFS Transactions , American Foundry Society, Schaumburg IL USA**, 10-42, (2010).
- [19] Türker, A., ETİAL 171 Alaşımının yarı katı halde şekillendirilebilirliğine eser miktarda Ag ilavesinin etkisinin incelenmesi, **Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği**, Doktora Tezi, (2011).
- [20] Ittipon, D., Semi-solid processing of hypereutectic aluminum-silicon alloys, **Massachusetts Institute of Technology**, Mater Sci Eng, MIT, (1996).
- [21] Saklakoglu, N. ve Turker, A., Characterization of thixoformed AlSi12 alloy with the addition of trace amounts of silver, World Academy of Science, **Engineering and Technology International Journal of Aerospace and Mechanical Engineering**, 10(7), (2016).
- [22] Legoretta, E.C., Atkinson H.V. ve Jones H., Cooling slope casting to obtain thixotropic feedstock, **Proceedings of the 5th Decennial International Conference on Solidification Processing**, 23-25 July, Sheffield, UK. (2007).
- [23] Birol, Y., A357 thixoforming feedstock produced by cooling slope casting, **Journal of Materials Processing Technology**, 186, 94–101, (2007).
- [24] Haga, T. ve Kapranos, P., Simple rheocasting processes, **Journal of Materials Processing Technology**, 130–131, 594–598, (2002).
- [25] Haga, T. ve Suzuki, S., Casting of aluminium alloy ingots for thixoforming using a cooling slope, **Journal of Materials Processing Technology**, 118, 169–172, (2001).
- [26] Türker, A. ve Saklakoglu, N., The influence of Ag content on the microstructure and intermetallic phases of AlSi12 alloy, **International Journal of Cast Metals Research**, 129-133, (2013).