

SIMA prosesiyle üretilmiş ETİAL 180 alüminyum alaşımına eser miktarlarda magnezyum ve kalay ilavesinin etkilerinin incelenmesi

Mustafa BAŞARANEL, Nurşen SAKLAKOĞLU*

Celal Bayar Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü, 45140, Manisa

Özet

Yarı-katı halde işleme prosesleri döküm, dövme ve toz metalurjisi tekniklerinin avantajlarını bir araya toplayan bir teknik olarak tanımlanmaktadır. Bir alaşımın yarı-katı halde şekillendirilebilmesi için ince eşeksenli küresel tane yapısına sahip olması gerekmektedir. Eşeksenli mikroyapıya sahip alaşımlar tiksotropiktir yani yarı-katı halde dendritik mikroyapılı alaşımlara göre yüksek akışkanlık özelliğine sahiptir. SIMA prosesi basit ve komplike ekipmanlar gerektirmeyen bir yöntem olması dolayısıyla yarı-katı şekil verme prosesleri arasında önemli avantajlar sağlamaktadır.

Alüminyum alaşımlarına eser miktarlarda ilave edilen çeşitli elementlerin alaşımın mekanik özelliklerine olumlu etkiler yaptığı bilinmektedir. Bu çalışmada basınçlı döküm alaşımı olan ETİAL 180'e eser miktarda Sn ve Mg ilave edilerek SIMA prosesi uygulanmıştır. Bu elementlerin döküm ETİAL 180'e etkileri incelenmiş, aynı zamanda SIMA prosesinin uygulanmasında bu elementlerin etkileri değerlendirilmiştir. Elde edilen numuneler metalografik olarak incelenmiş, sertlik testleri yapılmış ve XRD yöntemiyle detaylı olarak analiz edilmiştir. Sn ilavesinin sertlikte hafif düşüşe neden olduğu ancak Mg ilavesinin sertlikte artışa neden olduğu tespit edilmiştir. Sn ilavesi herhangi bir bileşik oluşuma yol açmayıp katı çözeltide bulunurken, Mg ilavesinin Mg₂Si bileşiklerine yol açtığı belirlenmiştir. SIMA prosesi uygulanmış numunelerde dendritik yapıların küresel tanelere dönüştüğü ve SIMA prosesi uygulamanın yeni bir bileşik oluşumuna yol açmadığı gözlenmiştir.

Yarı-katı halde şekillendirme sırasında uygulanan kuvvetin poroziteyi azaltmak, tane inceltmek gibi nedenlerle mekanik özelliklerde iyileşme sağladığı kabul edilir. Bu çalışmada SIMA prosesi sırasında malzeme yarı-katı aralıkta iken soğutularak iç yapısı incelenmiş ancak şekillendirme yapılmamıştır. Bu nedenle beklenen mekanik iyileşmeye ulaşılamamıştır.

Anahtar Kelimeler: ETİAL 180 alaşımı, Al-Si alaşımları, element, Eser XRD, SIMA Prosesi, Yarı-katı şekillendirme

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Nurşen SAKLAKOĞLU. nursen.saklakoglu@cbu.edu.tr; Tel: 0(236)2012043

The investigation of magnesium and tin addition into ETIAL 180 alloy produced by SIMA process

Extended abstract

It has been recognized that semisolid processing (SSP) offers several advantages over casting, forging and powder metallurgy techniques. The key to the SSP of alloys lies in the unique microstructures of the feedstock materials in which the solid particles are spheroidal in shape as opposed to the typical dendritic microstructures of cast alloys. A non-dendritic structure behaves as a 'thixotropic' slurry. When they are sheared, they readily flow.

SIMA process has advantages on other SSP process because it is simple process and it does not require complex equipments. In the SIMA method, the pre-deformed material is first heated to the semi-solid range. As it nears the solidus temperature, the grains recrystallize to form a fine grain structure. After the solidus temperature is passed, the grain boundaries melt to form the SSP microstructure.

Al-Si alloys are widely used because of their excellent combination of properties, including good castability, corrosion and wear resistance. Their solid mechanical and physical properties have been studied extensively. It is well-known that trace elements can change eutectic silicon morphology and refine primary silicon crystal, hence a number of properties like ultimate tensile strength, ductility, wear resistance are improved obviously. A range of different intermetallic phases may form during solidification, depending on alloy composition and solidification condition. Relative volume fraction, chemical composition and morphology of structural constituents have significant influence on their useful properties.

In this study, trace amounts of Mg and Sn elements were added to ETIAL180 alloy. The effects of trace elements on ETIAL 180 alloy were investigated. At the same time, the effect of the trace elements on SIMA process were evaluated. The samples were studied by means of metallographic examinations, the hardness tests were applied and the detailed examinations were done by XRD analyses. It was obtained that while Sn addition caused to slightly decrease in materials hardness, Mg addition increased the hardness. It was observed that Sn

addition didn't produce new compounds or intermetallics, it was in solid solution of the aluminum. On the other hand, Mg addition into ETIAL 180 alloy produced the Mg₂Si intermetallics. SIMA process resulted in changes from dendritic to globular structure. At the same time, it didn't yield to any new compound or intermetallics.

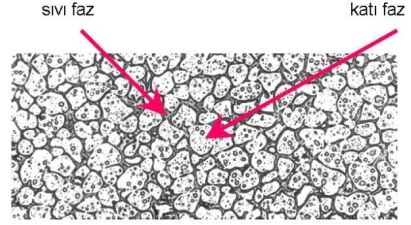
SSP generally improves mechanical properties due to loading during forming process. The loading causes to decrease of porosity and refine the grains.

In this study, ETIAL 180 was investigated while it was cooled to room temperature from semi-solid range, however forming process wasn't applied. Therefore, it wasn't obtained expected mechanical results.

Keywords: ETIAL 180 alloy, Al-Si alloys, Trace element, XRD, SIMA Process, Semisolid processing

Giriş

Yarı-katı halde şekil verme yöntemi, son yıllarda geliştirilen, dövme ve döküm yöntemlerinin avantajlarını bir araya getiren ve söz konusu yöntemlerde karşılaşılan olumsuzluklara karşı (kalıp ömürlerinin daha az olması, düşük tolerans aralığında parçanın kesin şeklinin elde edilememesi, kalıpta ekstra yolluk ve çıkıcı gibi dizaynlara ihtiyaç duyulması, yüksek otomasyon ve üretilebilirlik olmaması,) alternatif bir üretim yöntemi olarak önerilmektedir. Yarı-katı şekil verme yöntemi malzemelerin likidüs ve solidüs eğrileri arasında kuvvet uygulanarak şekillendirilmesini kapsayan basit bir yöntemdir. Alaşım yarı-katı sıcaklığa ısıtıldığında, dentritik yapı akışkanlığa büyük direnç oluşturduğundan bu tür şekillendirmelerde küresel tane yapısının önemi çok büyüktür. Küresel tane yapısı alaşım sıvı halde iken başlayarak mekanik, manyetik ya da ultrasonik karıştırma ve kontrollü bir soğuma ile gerçekleştirilebildiği gibi, alaşım katı halde iken yüksek deformasyonu takip eden yeniden kristalleşme ile de gerçekleştirilebilir. Bu metotlar arasında deformasyon ve yeniden kristalleşme metodu olarak bilinen SIMA (stres induced melt activated) prosesi, basitlik ve düşük donanım maliyeti gibi önemli avantajlar sunmaktadır. Bu yöntemde döküm sonrası malzeme deformasyona tabi tutularak dendrit yapı kırılır ve ince uzun taneli deforme olmuş yapı elde edilir. Soğuk deformasyonu takiben yarı-katı sıcaklığına kadar yapılan ısıtma işlemi sırasında, öncelikle tane sınırı segregasyonu ve yeniden kristalleşme gerçekleşir. Daha sonra sıcaklığın solidüsü geçmesiyle birlikte tane sınırlarında bulunan ötektik fazlar ergiyerek sıvı fazı oluştururlar. Malzemenin nihai yapısı sıvı fazlar tarafından çevrilmiş küresel katı partiküllerden oluşur (Şekil 1). Bu haldeki yapının şekillendirilmesine yarıkatı halde şekil verme ya da tıksoşekil verme denilmektedir (Jiang, vd. 2005; Saklakoğlu, vd. 2004; Sirong, vd. 2006; Birol, vd. 2005).



Şekil 1. Tipik bir yarı-katı hal mikroyapısı

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 katıldıktan sonra SIMA prosesi uygulanmış olup, bu elementlerin SIMA prosesi uygulanmış alaşımın metalürjik özelliklerine olan etkileri incelenmiştir. Al-Si alaşımında magnezyum miktarındaki artışın alaşımın mekanik özellikleri arttırdığı buna karşılık % uzamayı azaldığı bilinmektedir (Moteği, vd. 1998 ; Esmaelili, 2005). Gravite döküm yöntemiyle üretilmiş ETİAL 180 alaşımına Sn ilavesinin sertlikte azalmaya, Mg ilavesinin ise sertlikte artışa neden olduğunu tespit etmişlerdir (Başaranel, vd. 2012). Ancak bu malzemenin yarı-katı halde şekillendirilmesine yönelik bir çalışmaya ulaşılamamıştır.

Materyal – Metot

Külçe halinde alınan ETİAL 180 grafit potalara sığacak büyüklüklerde kesildi. Kesilen parçaların değişik oranlarda Sn ve Mg parçaları ilave edilerek dökümler gerçekleştirildi. Elde edilen numunelerin Emilsiyon Spektro – BAIRD – DV – 6E spektro analiz cihazında belirlenen kimyasal kompozisyonları Tablo 1. de verilmiştir.

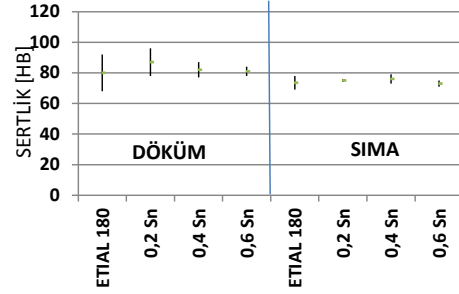
Tablo 1. Bu çalışmada gravite döküm yöntemiyle üretilen alaşımların kimyasal kompozisyonları

ETİAL 180	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg		
	84,61	9,59	0,8	1,94	0,18	0,28		
0,2 Sn	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg		
	84,6	9,31	0,81	1,97	0,18	0,31		
	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		
	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		
	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		
	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		
	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		
	2,22	0,03	0,02	0,04	0,09	0,03	0,01	

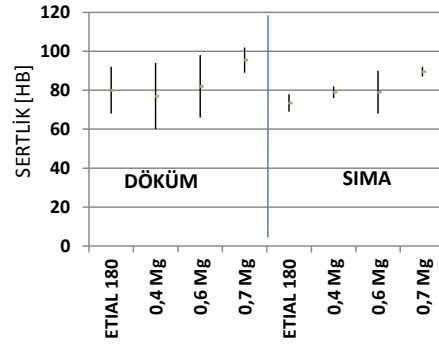
Sonuçlar

ETİAL 180 alaşımının Mg ve Sn ilavesinin DÖKÜM ve SIMA olarak sertlik değişimleri Şekil 2 ve Şekil 3 de görülmektedir.

ETİAL 180'e eser miktarlarda ilave edilen Sn'nin sertlik değerlerinde önemli bir artış göstermediği, hatta sertlikte hafifçe düşüş meydana geldiği görülmüştür. Bununla birlikte ilave edilen Mg ile doğru orantılı olarak sertliğin artış gösterdiği gözlemlenmiştir. SIMA prosesi sonrasında ise sertlik değerlerinde düşüş meydana geldiği gözlemlenmiştir.



Şekil 2. Sn ilaveli numunelerin sertlik değerleri



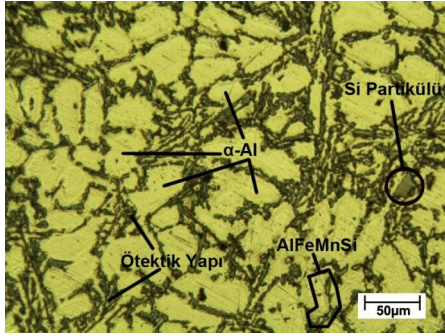
Şekil 3. Mg ilaveli numunelerin sertlik değerleri

SIMA yöntemiyle şekillendirilen parçaların daha iyi özelliklerde sahip oldukları bilinmektedir (Parshizfard, vd. 2011; Alipour, vd. 2012). Ancak bu çalışmada SIMA prosesinin uygulanması sürecinde yalnızca yarı-katı haldeki durumu incelemek üzere yarı-katı halde iken malzeme şekil verilmeden soğutulmuş, dolayısıyla şekil vermenin etkisi burada gerçekleşmemiştir. Parshizfard ve ark. A380 Al alaşımının SIMA prosesi ile üretildiğinde gravite döküm yöntemine göre çekme mukavemetinin %14 ve sünekliğinin %30 daha iyi olduğunu bulmuşlardır. Bu iyileşmenin SIMA prosesinin poroziteyi çok azaltması, ince ve eşeksiz α -Al tane yapısına sahip olması ve homojen bir mikroyapının oluşmasından kaynaklandığı vurgulanmaktadır (Parshizfard, vd. 2011). Alipour ve ark.

SIMA prosesiyle üretilmiş ETİAL 180 alüminyum alaşımının incelenmesi

çalışmalarında SIMA prosesi ile üretilen Al-Zn alaşımında çekme mukavemetinde %17, uzama değerinde ise %90'a ulaşan iyileşme sağlandığını bulmuşlardır. T6 işlemi uygulanan numuneler karşılaştırıldığında ise, çekme mukavemetinde önemli farklılık göstermediği, süneklilikte %30 artış sağlandığı görülmüştür. Tüm bu sonuçlar SIMA prosesinin mekanik özellikleri iyileştiren bir proses olduğunu göstermektedir. Alipour ve ark., bu çalışmada olduğu gibi, yalnızca yarı-katı aralığa ısıttıklarında porozitede büyük artış olduğunu, kuvvet uygulanarak şekillendirmenin porozitenin azalmasına katkı sağladığını ve mekanik özelliklerdeki iyileşmenin porozitenin azalmasının yanı sıra α -Al taneleri, ötektik yapı ve intermetaliklerin dağılımına bağlı olduğunu vurgulamaktadırlar (Alipour, vd. 2012).

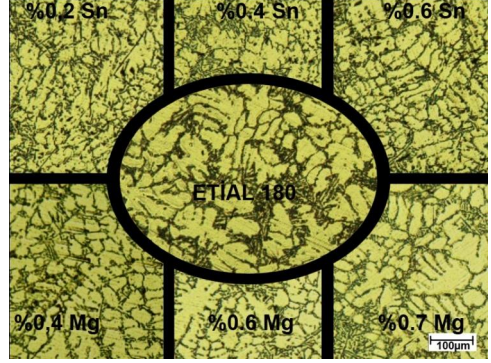
Metalografik incelemeler sonucunda ETİAL 180 alaşımının dendritik yapı ve bunu çevreleyen ötektik yapıdan oluştuğu, ayrıca çeşitli intermetalik yapıların oluştuğu görülmektedir. Literatür çalışmaları ve deneyimlerimiz bu yapıların AlFeMnSi ve primer Si partikülleri olduğunu göstermiştir (Voncina vd., 2011,) (Şekil 4).



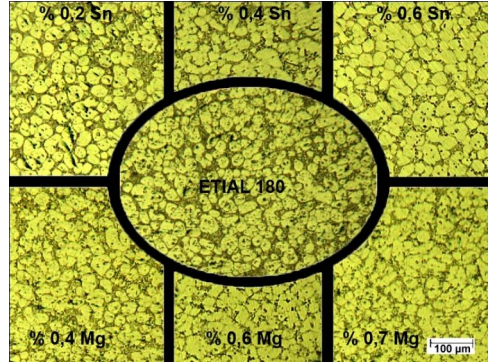
Şekil 4. ETİAL 180 alaşımının mikroyapısı

ETİAL 180 alaşımında α -Al taneleri net olarak birbirinden ayrılmış ve ötektik bölge geniş olarak oluşmasına karşın, Sn ilavesi sonucu α -Al tanelerinin net olarak birbirinden ayrılmamış ve ötektik faz miktarı daha az oluşmuştur (Şekil 5). SIMA prosesi uygulanmış numunelerin

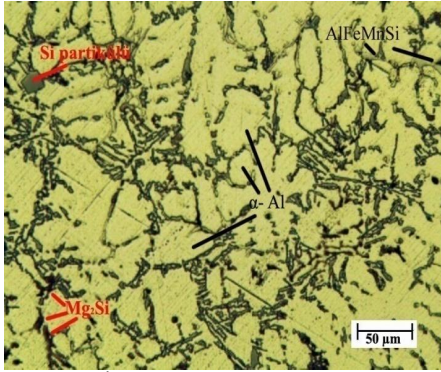
mikroyapıları incelendiğinde ise dendritik yapıların kırıldığı ve tanelerin küreselleştiği gözlemlenmiştir (Şekil 6). Mg ilavesi sonucunda Mg_2Si bileşiklerinin oluştuğu Şekil 7' de görülmektedir.



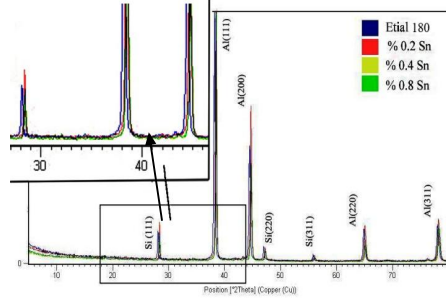
Şekil 5. Eser miktarda Sn ve Mg ilave edilen tüm numunelerin mikroyapıları



Şekil 6. SIMA prosesi uygulanmış numunelerin mikroyapıları

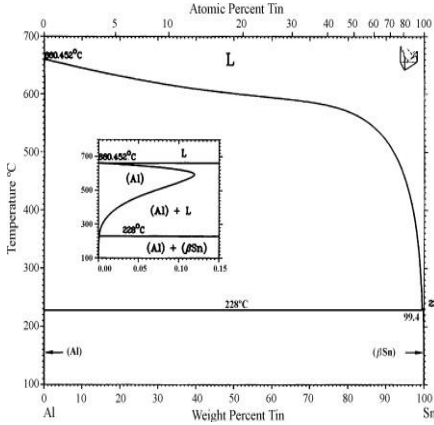


Şekil 7. ETİAL 180 alüminyum alaşımına %0.6 Mg ilave edilen numunenin mikroyapısı



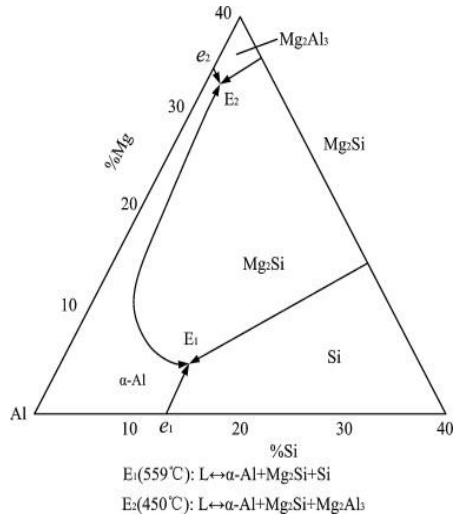
Şekil 9. ETİAL 180 ve Sn ilavelerinin XRD sonucu

Al-Sn faz diyagramına bakıldığında (Şekil 8), Sn'nin alüminyum içerisinde çok sınırlı çözünürlüğe sahip olduğu görülmektedir (Xian-Jin Ning vd. 2009). XRD incelemeleri Sn ilavesinin yeni pik oluşturmadığını dolayısıyla yeni bir faz oluşumunun gerçekleşmediğini göstermiştir (Şekil 9). Oluşan piklerin kırılma açıları incelendiğinde, aralarında önemli bir fark oluşmadığı görülmüştür.



Şekil 8. Al-Sn faz diyagramı

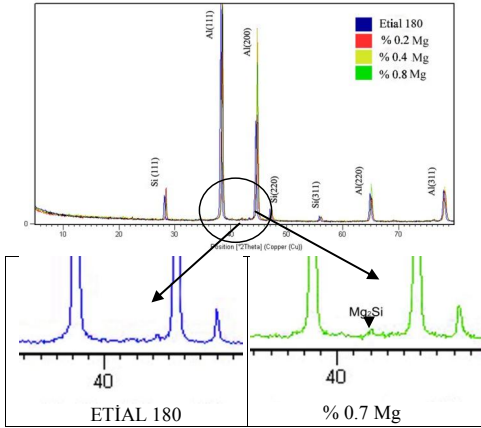
Al-Si-Mg üçlü faz diyagramı Mg_2Si bileşiklerinin oluşabileceğini göstermektedir (Chen vd. 2011) (Şekil 10). Bu çalışmada ETİAL 180 alaşımına Mg ilavesinin $2\theta=23^\circ$ ve $2\theta=42^\circ$ açılarında Mg_2Si 'a ait pikler oluşturduğu tespit edilmiştir (Şekil 11).



Şekil 10. Al-Si-Mg üçlü faz diyagramının alüminyumca zengin köşesi

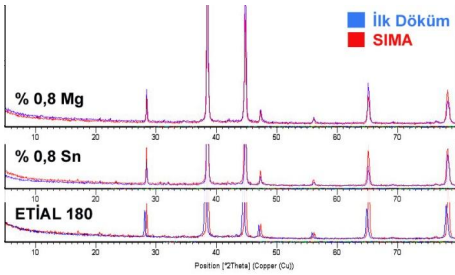
Buna göre, ilave edilen Sn'nin katı çözüldüğü ve kafes parametrelerinde herhangi bir gerilmeye neden olmadığı, ayrı bir faz olarak oluştuğu ancak miktarca çok az olduğundan XRD analizi ile tespit edilemediği söylenebilir.

SIMA prosesiyle üretilmiş ETİAL 180 alüminyum alaşımının incelenmesi



Şekil 11. ETİAL 180 ve Mg ilavelerinin XRD sonucu

SIMA prosesi sonrasında gerçekleştirilen XRD analiziyle ilk döküm numunelerinden elde edilen XRD analizleri arasında fark olmadığı, dolayısıyla SIMA prosesi uygulamanın yeni bir faz oluşumuna neden olmadığı gözlemlenmiştir (Şekil 12).



Şekil 12. ETİAL 180 - %0,8Sn- %0,8Mg ilavelerinin ilk döküm ve SIMA numunelerinin XRD sonucu

Mikroyapı fotoğrafları incelendiğinde ETİAL 180 alaşımına ilave edilen Mg miktarı arttıkça Mg_2Si miktarının da arttığı görülmüştür. S.Gençalp ve arkadaşları çalışmasında(4) α -Al tanesinin ortalama sertliğinin 90,1HV olduğunu buna karşın Mg ilave edilen alaşımda α -Al tanesinin ortalama sertliğinin 90HV ve Mg_2Si

tanesinin ortalama sertliğinin 2088HV olduğu ifade etmektedirler. Buna göre Mg ilave edilen ETİAL 180 alaşımında meydana gelen sertlik artışı Mg_2Si oluşumuyla doğru orantılıdır. Sun ve arkadaşları (5) Mg_2Si bileşiklerinin dislokasyon hareketine engel teşkil etmesi ile sertlikte artış gerçekleştiğini savunmaktadır. Bu tez doğru olmakla birlikte, Mg_2Si bileşiklerinin kendilerinin çok sert olması dolayısıyla sertlik artışında önemli bir rol oynadıklarını düşünmekteyiz.

Genel Sonuçlar

1. XRD sonuçları Sn'nin hiçbir bileşik oluşturmadığını ve katı çözültide olmadığını göstermiştir. Sertlik incelemeleri ise Sn ilavesinin sertlikte kayda değer bir değişime neden olmadığını ortaya koymuştur.
2. XRD sonuçları Mg ilavesinin Mg_2Si bileşiklerine yol açtığını göstermiştir. Mg ilavesinin sertlik artışında önemli rol oynadığı ve % 20'lere varan sertlik artışına neden olduğu belirlenmiştir.
3. SIMA prosesi sonucunda tanelerin dendritik yapıdan küresel yapıya dönüştüğü, SIMA prosesinin herhangi yeni bir faz oluşumuna yol açmadığı görülmüştür.
4. Literatür çalışmaları SIMA prosesinde basınç uygulanarak şekil vermenin mekanik özellikleri olumlu etkilediği özellikle toklukta artış sağladığını göstermiştir.
5. Literatür çalışmaları yarı-katı halde şekil verme yöntemiyle üretilen alaşımların mekanik özelliklerinin porozitenin azalmasının yanı sıra, α -Al tanelerinin şekli ve boyutu, ötektik yapı ve intermetaliklerin dağılımına bağlı olduğunu vurgulamaktadır.

Kaynaklar

- Alipour M., Motlagh M.N., Mirjavadi S., 2012 Effect of the strain-induced melt activation (SIMA) process on the tensile properties of a new developed super high strength aluminum alloy modified by Al-5Ti-1B grain refiner, *Materials Characterization*, *accepted manuscript*.
- Başaranel M., Saklakoğlu N., 2012. Eser miktarda Mg ve Sn ilavesinin etial 180 alüminyum alaşımına etkilerinin incelenmesi, *CBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, : 2-4
- Biroş, Y., Kubilay, C., Altıntaş, S., Önsel, M., Bozkurt, U., (2005). Alüminyum Alasımlarında SIMA Prosesiyle Tikotropik Yapı Elde Edilmesi, 12. Kongre Bildirileri, OK-020.
- Esmaili S. ve Lioyd D.J., 2005. Modeling of precipitation hardening in pre-aged AlMgSi(Cu) alloys, *Acta Materialia*, 53, 20, :5257-5271
- Gençalp S., Aksoy U., Ersenbil E., 2011 A360 alüminyum alaşımına Mg ilavesinin malzeme yapısındaki sertlik dağılımına etkisinin incelenmesi, *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, : 2-4
- Jiang, H., Li M., (2005). Microscopic observation of cold-deformed Al-4Cu-Mg alloy samples after semi-solid heat treatments, *Materials Characterization* 54 :451-457
- Motegi, T., Ogawa, N., Kondo, K., Liu, C., and Aoyama, S., (1998). Continuous casting of semisolid Al-Si-Mg alloy, *T.Sato, Proceedings of the ICAA-6, Toyohashi*, :297-326
- Parshizfard E., Shabestari S.G., 2011. An investigation on the microstructural evolution and mechanical properties of A380 aluminum alloy during SIMA process, *Journal of Alloys and Compounds* 509 9654- 9658
- Saklakoğlu, N., Saklakoğlu, E., Tanoğlu, M., Ozaş, O., Çubukçuoğlu, O., (2004). Mechanical properties and microstructural evaluation of AA5013 aluminum alloy treated in the semi-solid state by SIMA process, *Journal of Materials Processing Technology*, Volume 148, Issue 1, :103-107
- Sirong, Y., Dongcheng, L., Kim, N., 2006. Microstructure evolution of SIMA processed Al2024 *Materials Science and Engineering: A*, Volume 420, Issues 1-2, : 165-170
- Sun Y. ve Ahlatci H., 2011. Mechanical and wear behaviors of Al-12Si-XMg composites reinforced with in situ Mg2Si particles, *Materials and Design*, 32, 5, :2983-2987.
- Turker A., Saklakoğlu N., 2012. The influence of Ag content on the microstructure and intermetallic phases of AlSi12 alloy *International Journal of Cast Metals Research*, Accepted,.
- Xian-Jin N., Jin-Hong K., Hyung-Jun K., Changhee L., 2009. Characteristics and heat treatment of cold-sprayed Al-Sn binary alloy coatings, *Applied Surface Science*, Volume 255, Issue 7, Pages 3933-3939
- Chen S., Li L., Chen Y., Huang J., 2011. Joining mechanism of Ti/Al dissimilar alloys during laser welding-brazing process, *Journal of Alloys and Compounds*, Volume 509, Issue 3, 21 January 2011, Pages 891-898