

# TİTREŞİMLİ KATILAŞTIRMANIN BİRİNCİL VE İKİNCİL Al7Si0,3Mg ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ İÇYAPISINA ETKİSİ

Çağlar YÜKSEL<sup>1</sup> (ORCID: 0000-0001-9591-6430)\*

<sup>1</sup>Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, Türkiye

Geliş / Received: 16.11.2017  
Kabul / Accepted: 22.01.2018

## ÖZ

Birincil alüminyumun üretim maliyetleri ve çevresel etkileri göz önünde bulundurulduğunda ikincil alüminyum öne çıkmaktadır. Ancak içerdiği katışımlar (inklüzyonlar) veya kirlilikler neticesinde ikincil alüminyumun da kritik parçaların üretiminde kullanılmaktan kaçınılmaktadır. Bu çalışmada titreşim altında katılma yapılar bu kirliliklerin titreşimin etkisi ile yüzeye doğru yükseltilmesi ve altta kalan nihai döküm parçasının sağlam şekilde imal edilip edilemeyeceğinin bir ön araştırması yapılmıştır. Aynı zamanda titreşimin katılma karakteristiğine de etkisi incelenmiştir. Işık mikroskobu kullanılarak katılma esnasında dendritlerin morfolojisi değişimi incelenmiştir. Dendrit kolları arası mesafe ve ikincil dendrit kolları arası mesafeler ölçülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Titreşimli döküm, katılaştırma, hurda, alüminyum, tane inceltme, gözeneklilik

## EFFECT OF VIBRATIONAL SOLIDIFICATION ON MICROSTRUCTURE OF PRIMARY AND SECONDARY Al7Si0,3Mg

### ABSTRACT

Secondary aluminum become prominent due to production costs and environmental issues of primary aluminum. However, inclusions and impurities included in secondary aluminum causes avoiding excess amount of secondary aluminum in fabricating critical parts. In this work, while vibrating the mould whether these inclusions were floated or not and whether solid part under these porosities and inclusions were produced or not were preliminarily explored. Concurrently, effect of vibrating on solidification was investigated. Variations of dendrite morphologies during solidification were examined using optical microscope. DAS and SDAS were measured.

**Keywords:** Vibrating casting, solidification, scrap, aluminum, grain refinement, porosity

## 1. GİRİŞ

Döküm alaşımlarından en yaygın olarak kullanılanını Al-Si alaşım grubuna giren Al-7Si-0,3Mg alaşımıdır. Bu alaşımının ısı iletkenliğinin yüksek olması, dökülebilirliğinin mükemmel seviyede olması, yüksek dayanım/ağırlık oranına sahip olması, korozyon direncinin iyi olması ve sızdırmazlık özellikleri gibi birçok faydalı niteliğe haiz olduğundan bu alaşım en çok kullanılan alaşımlardan biridir. Ancak döküm haliyle yapının usule uygun denetlenememesi hem sanayicinin hem de tüketicinin karşılaştığı en büyük zorluklardan biridir [1, 2]. Tane boyutu, şekli ve boyutu ile ikincil fazların bulunması ve bu fazların da morfolojisinin doğrudan nihai özelliklere etkidiği göz önünde bulundurulduğunda mutlaka doğru şekilde denetlenmesi gerektiği açıkça anlaşılmaktadır [3]. İçyapıda bulunan boşluklar, iri taneler ve ötektik silisyum mekanik özellikleri olumsuz yönde etkilerler [4].

\*Corresponding author / Sorumlu yazar. Tel.: +90 442 231 47 34; e-mail / e-posta: cyuksel@atauni.edu.tr

## Ç. YÜKSEL

Kalıbın titreştirilerek döküm haliyle ortaya çıkan yapının değiştirilmesi yaklaşık 150 yıllık bir geçmişe sahiptir. Dökme malzemelerde mekanik özellikler bakımından dendritik ve kaba taneli yapılardan ziyade ince ve dendritik olmayan tane yapısı tercih edilmektedir [5-7]. Dökümde sıvı metalin katılaşması sırasında uygulanan titreşimin etkisi ile tanelerin inceltmesi ve dendritik yapının parçalanması gerçekleştirilebilir ve bu yöntem nispeten basit bir yöntemdir. Titreşimli döküm elektromanyetik, ultrasonik ve mekanik titreşim gibi birçok titreşim oluşturabilecek yöntemi içermektedir. Mekanik titreşim elektromanyetik ve ultrasonik titreşim yöntemlerine kıyasla daha kolay uygulanabilir ve denetimi nispeten zor olmayan bir yöntemdir [8-13].

Kocatepe [14] ötektik altı Al-7Si ve ötektik Al-12Si alaşımlarına düşük frekanslı mekanik titreşim uygulamasının yanı sıra hem Na modifikasyonlu hem de modifikasyonsuz yapıların gözenek yapısını incelemiştir. Modifiye edilmemiş bu iki alışımda da artan titreşim şiddeti ile gözenek boyutunda ve miktarında artış gözlemlenmiştir. Buna ilaveten hem Na ile modifiye edilen hem de titreştirilen alaşımlarda gözenek boyutu da sayısı da artmıştır.

Abu-Dheir, vd. [15] Al-Si alaşımında içyapı üzerine mekanik titreşimin etkisini incelemiştir. Titreşimin uygulanması ile dendritik yapının ve ötektik bileşimin değişime uğradığını gözlemlenmiştir. Mekanik titreşimin doğru ve uygun bir biçimde uygulanması neticesinde dendrit kollarının kırılarak küçük parçalara ayrıldıklarını görmüşlerdir. Bu çalışmada sadece birincil alüminyum kullanılarak kıyaslamalar yapılmıştır.

Bu çalışmada titreşimli dökümün birincil ve ikincil Al-7Si-0,3Mg alaşımının tane inceltmesi, dendrit morfolojileri ve kirliliklerin temizlenebilmesi üzerine etkisi incelenmiştir. Titreşimli döküm ile titreşimsiz dökümün sonuçları da kıyaslanarak hem sayısal hem de gözlemsel olarak karşılaştırma yaparak irdelenmiştir.

## 2. MATERYAL ve METOD

Birincil alüminyum için yaklaşık 7 kg'lık külçelerden tek parça ve ikincil alüminyumdan ise talaşların 6 atm'de bir kovan içerisinde sıkıştırılarak yığın haline getirilmesi ile ortaya çıkartılan etli parça kullanılmıştır. Tablo 1 ve Tablo 2'de külçe ve talaşların kimyasal bileşimleri verilmiştir. Ergitme işi elektrik dirençli fırında gerçekleştirilmiştir. SiC pota kullanılmıştır. Döküm sıcaklığı 730 °C'dir.

**Tablo 1.** Külçenin kimyasal bileşimi (%ağ.).

Si	Mg	Fe	Ti	B	Ni	Sr	Al
7,31	0,32	0,07	0,11	0,00	0,01	0,02	Geri kalan

**Tablo 2.** Talaşların kimyasal bileşimi (%ağ.).

Si	Mg	Fe	Ti	B	Ni	Sr	Al
7,28	0,227	0,07	0,11	0,003	0,004	0,013	Geri kalan

Şekil 1'de döküm için kullanılan kalıp ve titreşim cihazı gösterilmektedir. Bu metal kalıp 3 basamaklıdır ve üç farklı kesit kalınlığına sahiptir. Basamaklar kare prizma şeklinde olup yüzey alanları birbirine eşittir (40mm x 40mm). Et kalınlıkları ise alt basamakta 5 mm, orta basamakta 10 mm ve üst basamakta ise 20 mm'dir. 400 °C'ye ön-ısıtılmış metal kalıp Şekil 1b'de gösterilen 60 Hz sabit frekansta ve 3 mm genlikte titreşim üreten Octagon 200 marka elek analiz cihazının üzerine yerleştirilmiştir. Kalıbın 90 saniye boyunca cihaz üzerinde titreşerek katılaşması sağlanmıştır.



(a)

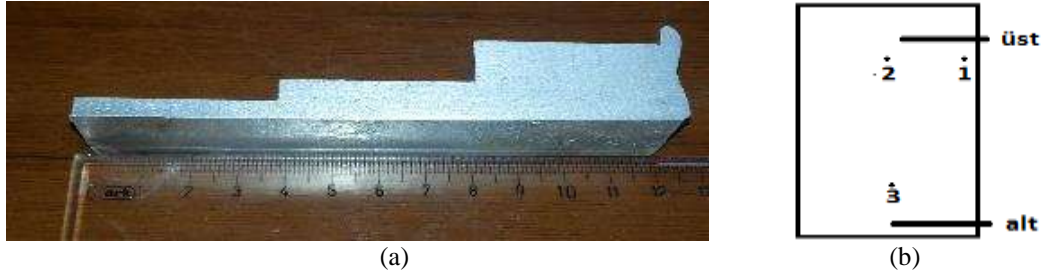


(b)

**Şekil 1.** (a) Metal kalıp (b) Titreşim cihazı

### TİTREŞİMLİ KATILAŞTIRMANIN BİRİNCİL VE İKİNCİL $Al_7Si_3$ ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ İÇYAPISINA ETKİSİ

Şekil 2a'da döküm parçasının kesiti görülmektedir. Numunenin içyapılarındaki değişimleri gözlemlemek için aynı yöntem uygulanarak birincil ve ikincil alüminyumdan imal edilmiş numunelerin titreşim uygulanmadan birer adet de referans dökümleri yapılmıştır. Her deneyin metalografik incelemesinde döküm parçaları ortadan kesilerek 180, 400, 600, 800 ve 1200'lük zımparalar ile zımparalandıktan sonra 3  $\mu$ m'luk elmas pasta ile ince parlatma işlemi gerçekleştirilmiştir. Şekil 2b'de her bir kesit kalınlığı için ışık mikroskobunda incelenen bölgelerin konumları resmedilmektedir. Bu üç farklı konumdan alınan görüntüler her bir kesit için ayrı ayrı incelenmiştir. Görüntüler 20 mm et kalınlığındaki (kalın kesit) ve 10 mm et kalınlığındaki (orta kesit) numuneden alınmış olup yalnızca 5mm et kalınlığındaki (ince kesit) numunelerde inceleme yapılmamıştır. Kesit kalınlığı ayırımına bağlı olarak soğuma hızı farklılıklarından oluşan tane boyutu ve morfolojisi, birincil dendritlerin uzunluğu (DAS) ve ikincil dendrit kolları arası mesafe (SDAS) farklılıkları incelenmiştir.



Şekil 2. a) Döküm parçası ve b) her bir kesit için görüntü alınan bölgeler

### 3. BULGULAR ve TARTIŞMA

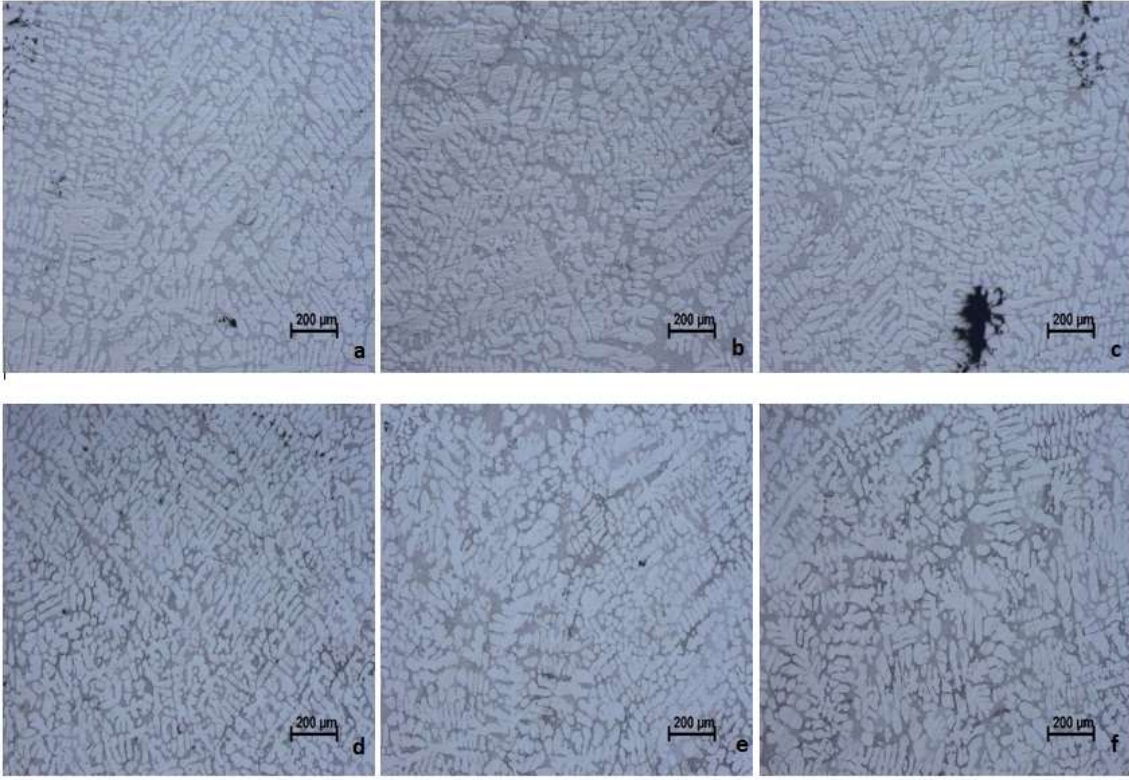
Alüminyum ve alaşımlarında gözenekliğin sebebi bifilm denilen katlanmış çift katlı oksit filmleridir [16, 19]. Bu çift katlı oksit filmleri bünye içerisinde 0,1 ml/100 gr Al gibi nispeten düşük H derişimleri bulunmasına rağmen gözenekli yapıyı teşkil edici durumu sağlayabilmektedir [16–18]. Ayrıca bifilmelerin katılma sırasında rastlantısal bir biçimde sıvı beslemesinin kesilebildiği dendrit kolları arasında sıkışıp kalması gibi bir durumun da gerçekleşmesi ile içyapıdaki düzensizlik durumu daha da içinden çıkılmaz bir hal alabilmektedir. Titreşimli döküm yönteminin uygulanması [3] ile birincil ve ikincil alüminyum alaşımlarında böylesi olası bir olayın gelişmesi asgariye indirilmiştir. Ayrıca sıvı metal kalitesi farkının nihai döküm parçasına etkisi incelenmiştir.

Şekil 3 ve 4'de 20 mm kesit kalınlığına sahip birincil ve ikincil alüminyumdan imal edilmiş dökümlerin içyapıları resmedilmektedir. İki alaşım arasındaki en bariz fark birincil alüminyumdan üretilen numunenin içyapı görüntülerinden yapı içerisindeki kirliliklerden yani çift katlı oksit filmlerinden (bifilm) yoksun bir yapının ortaya çıkmış olmasıdır. Birincil ile ikincil alüminyum arasındaki en bariz farkı gözlemleyebileceğimiz kesit kalınlığı budur. Çünkü et kalınlığının fazla olması sebebiyle diğer kesitlere göre nispeten daha uzun ısıyı muhafaza etmesi ve bunun da neticesinde geç katılmasından dolayı olası kirliliklerin hareketliliğinin yani yüzeye doğru yüzmeleri en kolay bu kesitte gözlemlenebilmektedir. Burada dikkat edilecek diğer bir husus da titreşimin etkisi ile oluşan gözeneklerin bir arada bulunabilme durumudur. Yani besleyici ile yapılan dökümlerde doğru şekilde yönlendirme yapılabilir ise gözeneksiz dökümler gerçekleştirilebilir. Bu olası gözeneklerin temeli döküm esnasında yapılan burgaçlı dolmuş olduğu düşünülmektedir. Laminar akışla yapılan dökümlerde titreşimin de etkisi ile daha yüksek oranda sağlam parça imal edilebilir.

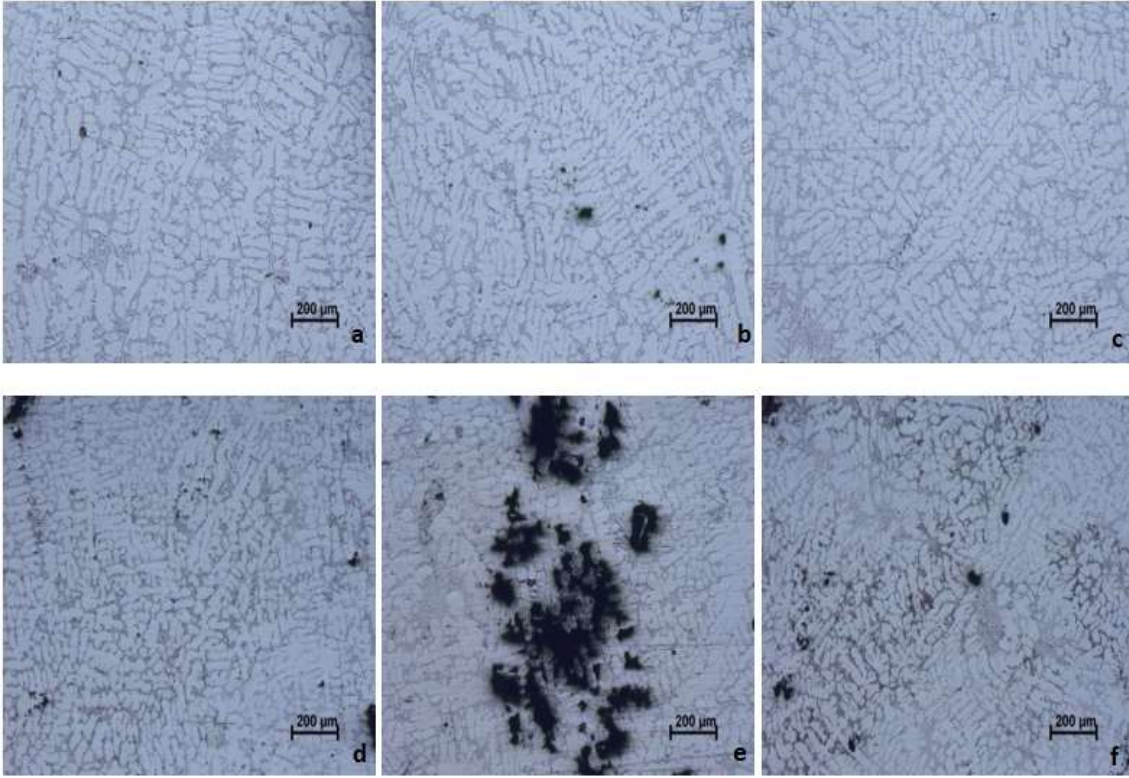
Orta kesitin incelendiği Şekil 5 ve 6'da da benzer bir durum varmış gibi görünse de kalın kesitlere nazaran nispeten daha gözeneksiz bir yapı göze çarpmaktadır. Bunun temel sebebi kalın kesitli olan kısmın orta kesitli kısımdan soğuma hızları farkından dolayı daha geç katılmasıdır. Geç katıldıkça hala sıvı olabilen kalın kesitlere olası bifilm titreşimin etkisi ile yükselebilmektedir ve açılarak gözeneği ortaya çıkartabilmektedir. Bu durum kalın kesitli Şekil 6'da d-f'de bariz bir biçimde görülmektedir. Numuneler ışık mikroskobunda tüm kesitte tarandığında bu durumun tesadüfen gerçekleşmediği gözlemlenmiştir.

Bünye içerisinde bulunan bu yapılar doğru proses edilmeden sıvı metalden giderilmediği takdirde döküm parçasının tüm özelliklerine olumsuz yönde etki eder [16, 19]. Ayrıca her iki farklı kesit kalınlığında da görüldüğü üzere titreşim ile birlikte dendrit kolları parçalanarak ayrı birer taneye dönüşmesi sağlanmıştır.

Ç. YÜKSEL

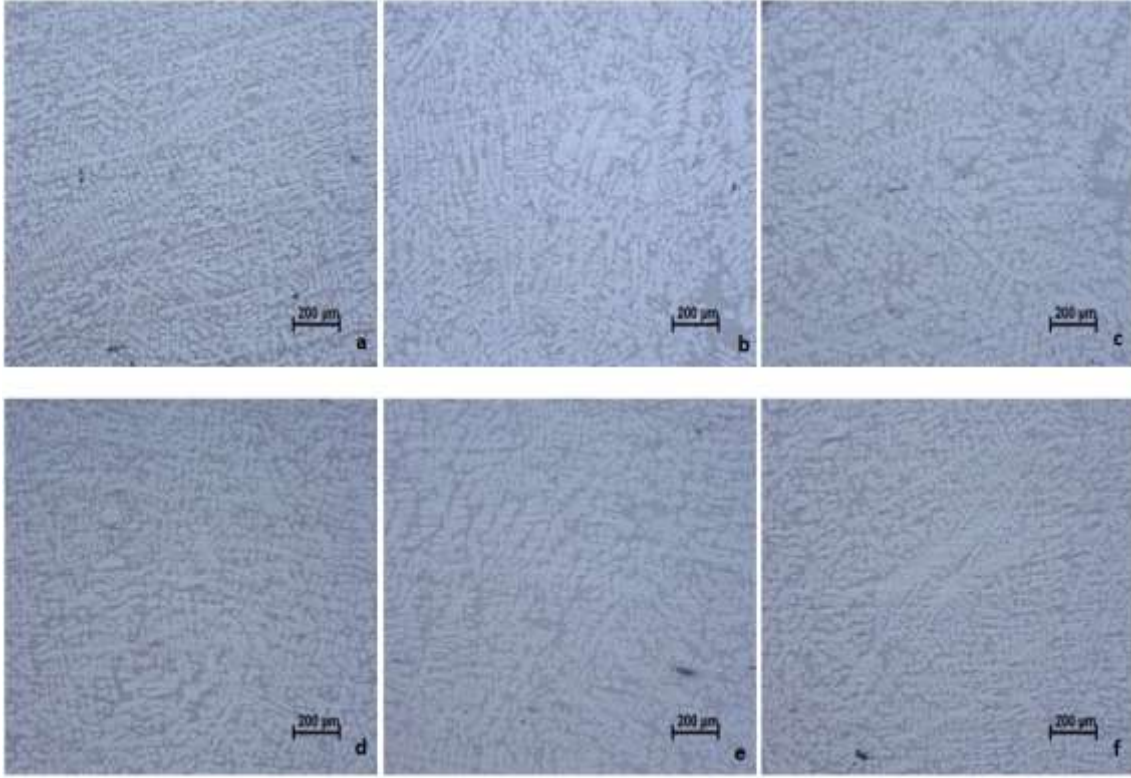


**Şekil 3.** Kalın kesitli (20mm) birincil Al-7Si-0,3Mg alaşımlı numune a) titreşimsiz 1. Bölge b) titreşimsiz 2. bölge c) titreşimsiz 3. bölge d) titreşimli 1. bölge e) titreşimli 2. bölge f) titreşimli 3. Bölge (50X).

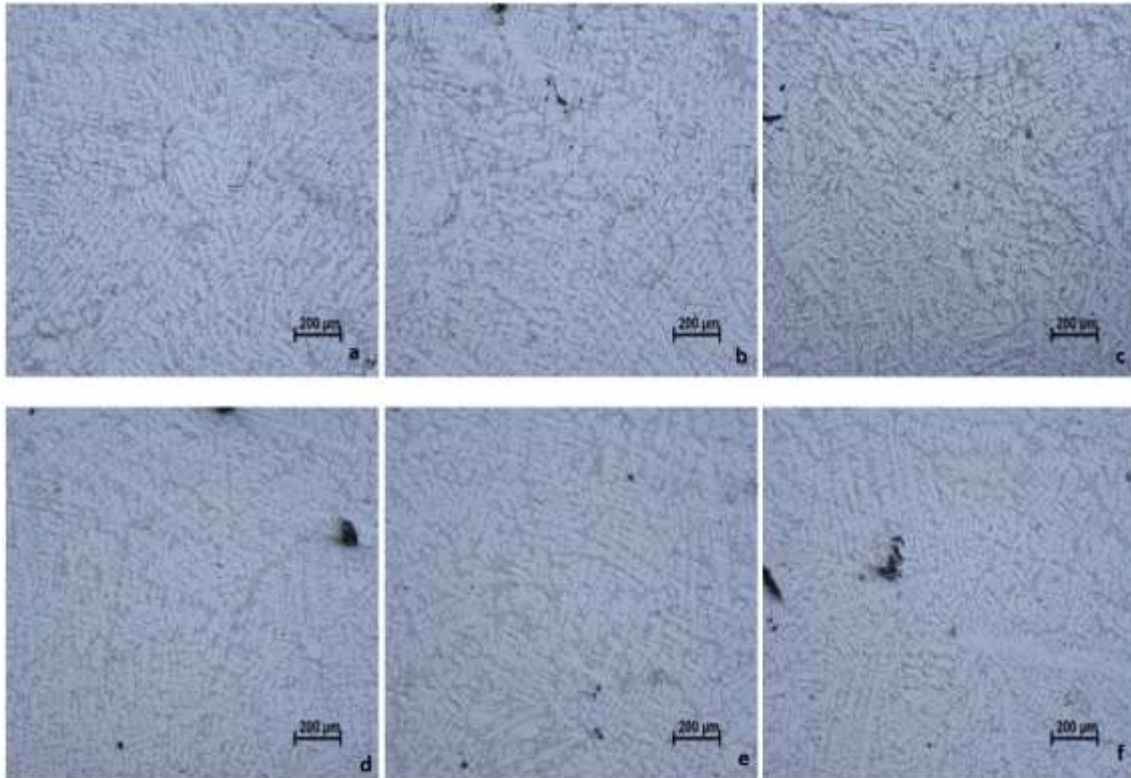


**Şekil 4.** Kalın kesitli (20 mm) ikincil Al-7Si-0,3Mg alaşımlı numune a) titreşimsiz 1. Bölge b) titreşimsiz 2. bölge c) titreşimsiz 3. bölge d) titreşimli 1. bölge e) titreşimli 2. bölge f) titreşimli 3. Bölge (50X).

*TİTREŞİMLİ KATILAŞTIRMANIN BİRİNCİL VE İKİNCİL Al7Si0,3Mg ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ İÇYAPISINA ETKİSİ*

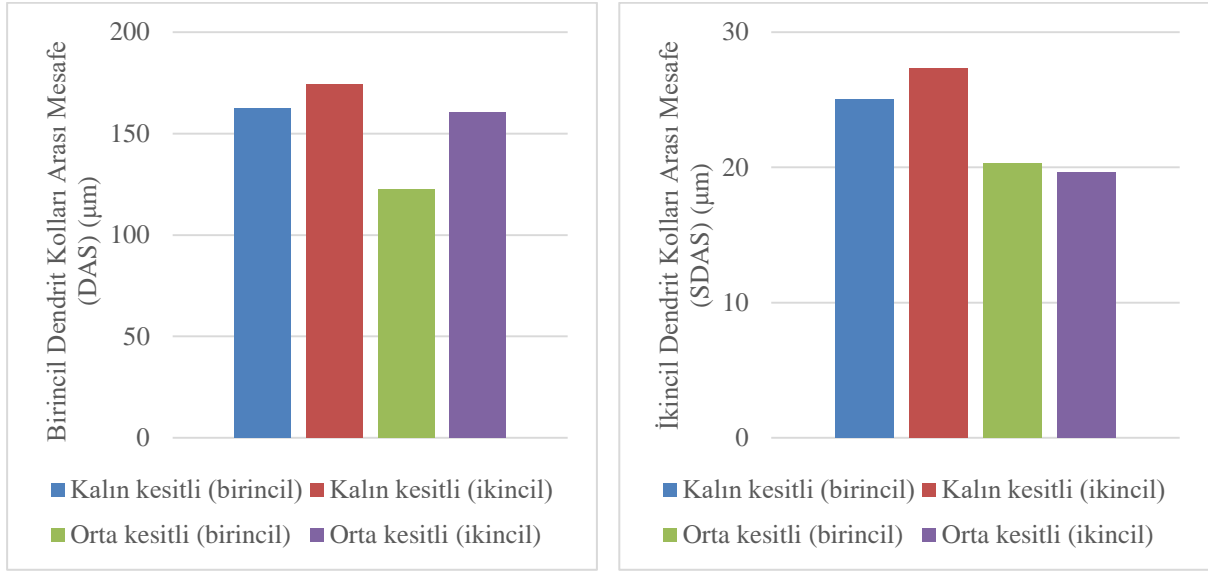


**Şekil 5.** Orta kesitli (10mm) birincil Al-7Si-0,3Mg alaşımlı numune a) titreşimsiz 1. Bölge b) titreşimsiz 2. bölge c) titreşimsiz 3. bölge d) titreşimli 1. bölge e) titreşimli 2. bölge f) titreşimli 3. Bölge (50X)



**Şekil 6.** Orta kesitli (10mm) ikincil Al-7Si-0,3Mg alaşımlı numune a) titreşimsiz 1. Bölge b) titreşimsiz 2. bölge c) titreşimsiz 3. bölge d) titreşimli 1. bölge e) titreşimli 2. bölge f) titreşimli 3. Bölge (50X)

## Ç. YÜKSEL



**Şekil 7.** Birincil ve ikincil alüminyumun (a) birincil (DAS) ve (b) ikincil (SDAS) dendrit kolları arası mesafelere etkisi.

Şekil 7'deki birincil dendrit kolları arası mesafe (DAS) ile ikincil dendrit kolları arası mesafe (SDAS) ölçümleri ASTM E112-13 standardına göre gerçekleştirilmiştir. Şekil 7a'da birincil ve ikincil alüminyumun kesit kalınlığı bakımından birincil dendrit kolları arası mesafeye (DAS) etkisi gösterilmektedir. Kesit kalınlığı azaldıkça ortalama DAS 168,33 µm'den 141,49 µm'ye yaklaşık %16'lık bir azalma gözlemlenmektedir. Ayrıca kalın ve orta kalınlıkları bakımından incelendiğinde birincil alüminyum kullanıldığında elde edilen değer ikincil alüminyumunkinden farklı iki kesit kalınlığı için de daha düşüktür.

Şekil 7b'de ise yine farklı şarj malzemeleri kullanımı ile ortaya çıkan ikincil dendrit kolları arası mesafe (SDAS) farklılıkları görülebilmektedir. Bu değerlendirme için de kesit kalınlığı azaldıkça 26,16 µm'den 19,99µm'ye yaklaşık %23,58'lik bir azalma gözlemlenmektedir. Ayrıca Şekil 7b'de orta kesitte görülen ikincil alüminyum kullanıldığında SDAS değerlerinin düştüğü görülmektedir. Bu durum malzeme temizliği ile açıklanabilir. Şöyle ki, yapı içerisinde bulunabilen katışıklar katılma sırasında dendritleri baskılayarak dendritlerin gelişmesine müsaade etmemektedir. Dolayısıyla aslında daha kirli olan ikincil alüminyumda sanki düşük SDAS değerlerinden dolayı daha yüksek mekanik özellikler elde edilebileceği düşünülmektedir. Ancak buradaki sonuç oldukça yanıltıcıdır. Yapı içerisinde bir türdeşlik söz konusu ise SDAS doğrudan mekanik özellikler ile ilgilidir. Aksi durumlarda beklenen ya da hesaplanmış sonuçlara ulaşmak mümkün olmayacaktır.

Görüldüğü gibi kesit kalınlığı düştükçe DAS ve SDAS değerleri düşmektedir. Ancak bu düşüşü doğrudan titreşime atfetmek yanlış bir değerlendirme olacaktır. Yapı içerisindeki gözenek oranı, miktarı, şekli, vs. gibi değişkenlerin de nihai döküm özelliklerine etki ettiğine dikkat edilmelidir [18]. Gözeneksiz ve türdeş bir malzemeden döküm haliyle ısı işlemden elde edilecek değerlere de ulaşılacağı hatta süper-plastik malzemelerin bile elde edileceği bilinmektedir [20].

#### 4. SONUÇLAR

Birincil alüminyum ile yapılan dökümlerde gözeneksiz yapının olması sebebiyle oluşan dendritler parçalanarak DAS değerini arttırmıştır. Titreşimin etkisi ile dendrit boyları, ikincil dendrit kolları arası mesafe kısalmıştır. Temiz döküm yani temiz sıvı metal ile yapılan dökümlerde homojen bir yapı gözlemlenebilir iken nispeten daha kirli ya da doğru proses edilmemiş metallerin dökümü sakat parça üretilebileceğini içyapı incelemelerinden açıkça görülebilmektedir. Böylesi düşük metal kalitesi malzemelerin kimyevi, fiziki ve mekanik özelliklerine doğrudan etki etmektedir. Yalnızca 5mm et kalınlığındaki (ince kesit) numunelerde inceleme yapılmamıştır. Çünkü 5 mm'lik kesit kalınlığı hem kokil hem de kum kalıba dökümler için alt sınırdır ve soğuma hızının çok yüksek olması neticesiyle titreşimin katılaşmaya tesir edebileceği bir süre tanınmamaktadır. Dolayısıyla malzeme kendi katılma karakteristiği ile katılaşmaktadır. DAS ve SDAS değerlendirilmesi yapı içerisinde bulunan gözenek yapısı, şekli, vs. gibi değişkenleri de göz önüne alınarak değerlendirilmesi gerektiği

## TİTREŞİMLİ KATILAŞTIRMANIN BİRİNCİL VE İKİNCİL Al7Si0,3Mg ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ İÇYAPISINA ETKİSİ

gösterilmiştir. Ayrıca titreşimli döküm yönteminin geliştirilmesi ile imal edilen malzemeler tiksö-döküme hammadde sağlayabilir.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma Yıldız Teknik Üniversitesi Balkan İleri Döküm Teknolojileri Merkezi'nde gerçekleştirilmiştir. Ayrıca bu çalışmada yardımlarını esirgemeyen İstanbul Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'ne, öğrencilerim ve artık meslektaşlarım Ahmet Kabil, Emre Akgül, Özlem Çelikaslan ve Sezgin Yaşa'ya teşekkür ederim.

## KAYNAKLAR

- [1] MONDOLFO, L.F., "Aluminium Alloys Structures and Properties", Butterworths, London, 1979.
- [2] CHIRITA, G., STEFANESCU, I., SOARES, D., SILVA, F.S., "Influence of vibration on the solidification behaviour and tensile properties of an Al-18wt% Si alloy". *Materials & Design*, 2009, 30(5): 1575-1580.
- [3] KOCATEPE, K., BURDETT, C. F. "Effect of low frequency vibration on macro and micro structures of LM6 alloys". *Journal of materials science*, 2000, 35.13: 3327-3335.
- [4] ARGO, D., GRUZLESKI, J.E., "Porosity in modified aluminum alloy castings", *Trans. AFS*, 1988 96:65.
- [5] HAGA, T., KAPRANOS, P. "Simple rheocasting processes". *Journal of Materials Processing Technology*, 2002, 130: 594-598.
- [6] HAGA, T., KAPRANOS, P. "Billetless simple thixoforming process". *Journal of Materials Processing Technology*, 2002, 130: 581-586.
- [7] SEO, P. K., KIM, D. U., KANG, C. G. "The characteristics of grain size-controlled microstructure and mechanical properties of Al-Si alloy by thixocasting and rheocasting process". *Journal of materials processing technology*, 2005, 162: 570-578.
- [8] GUO, H.M., LIU, X.B., YANG, X.J., ZHANG, A.S., YONG, L.I.U., "Microstructure evolution behavior of AlSi9Cu3 alloy during rheocasting". *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 2010, 20: s815-s820.
- [9] JIAN, X, MEEK, T.T., HAN, Q. "Refinement of eutectic silicon phase of aluminum A356 alloy using high-intensity ultrasonic vibration". *Scripta Materialia*, 2006, 54.5: 893-896.
- [10] ZHANG, L., ESKIN, D.G., MIROUX, A., KATGERMAN, L., "Formation of microstructure in Al-Si alloys under ultrasonic melt treatment". In: *Light Metals 2012*. Springer International Publishing, 2012. p. 999-1004. *Light Metals 2012*, TMS.
- [11] JIAN, X, XU, H., MEEK, T.T., HAN, Q., "Effect of power ultrasound on solidification of aluminum A356 alloy". *Materials letters*, 2005, 59.2: 190-193. *Materials Letters*, 59 (2005), 190-193.
- [12] FARAJI, M., ESKIN, D.G., KATGERMAN, L., "Grain refinement in hypoeutectic Al-Si alloys using ultrasonic vibrations", *International Foundry Research*, 62 (2010), 2.
- [13] PANDEL U., SHARMA A. GOEL D.B., "Study on the Effect of Vibrations During Solidification on Cast Al-Si Alloys", *Indian foundry Journal*, 51(2) (2005). 42-45.
- [14] KOCATEPE, K., (2007). Effect of low frequency vibration on porosity of LM25 and LM6 alloys. *Materials and Design*, Volume:28, Number:6, pp:1767-1775.
- [15] ABU-DHEIR, N., MARWAN, K., KOZO, S., ALAN, M., "Silicon morphology modification in the eutectic Al-Si alloy using mechanical mold vibration", *Mater Sci Eng A*, 393 (2004), 109-117.
- [16] DIŞPINAR, D., AKHTAR, S., NORDMARK, A., DI SABATINO, M., ARNBERG, L., "Degassing, hydrogen and porosity phenomena in A356", *Materials Science and Engineering: A*, 527(16) (2010), 3719-3725.
- [17] DIŞPINAR, D., CAMPBELL, J., "Effect of casting conditions on aluminium metal quality" *Journal of Materials Processing Technology* 182(1) (2007), 405-410.
- [18] CAMPBELL, J. "Castings: the new metallurgy of cast metals". Butterworth Heinemann, 2003, İngiltere.
- [19] YÜKSEL, Ç., "Alüminyum Alaşımlarının Sıvı Metal Kalitesinin Arttırılması", Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, 2016, İstanbul, TÜRKİYE.
- [20] CAMPBELL, J. "Özel Görüşme". 25.05.2017