

# LM28 Alaşımında Tane İnceltme ve Sr Modifikasyonun Si Morfolojisine Etkisi

<sup>1</sup>Muhammet ULUDAĞ, <sup>1</sup>Zafer YAVAŞ, <sup>1</sup>Ümmühan ÖZTÜRK,

<sup>1</sup>Nesibe Sevide ÜLVAN ve <sup>\*2</sup>Derya DIŞPINAR

<sup>1</sup>Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Konya, Türkiye

<sup>\*2</sup>İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, İstanbul, Türkiye

## Özet

Ötektik üstü Al-Si alaşımlarında silisyum morfolojisi döküm öncesi yapılan iyileştirici takviyelerden dolayı değişiklik göstermektedir. Bu çalışmada, tane inceltme ve modifikasyon işlemlerinin LM28 alaşımında mikroyapıya etkisi incelenmiştir. Döküm sıcaklığı 750 °C olarak sabit tutulmuş, dikey olarak inceden kalına doğru artan basamak şeklinde kum kalıplara dökümler yapılmıştır. Deneysel çalışmada tane inceltici olarak AlB<sub>3</sub> ve modifiye edici olarak da Sr kullanılmıştır. Döküm öncesi sıvı alüminyumda gaz giderme işlemi yapılmıştır. Sonuç olarak, ilavesiz, tane inceltmeli, modifiyeli ve hem tane inceltmeli hem de modifiyeli olmak üzere dört farklı parametre kullanılmıştır. Her basamak için mikroyapı analizleri yapılmıştır. Farklı kesitlere göre, dolayısıyla farklı soğuma hızı ve mikroyapıya göre tane inceltme ve modifikasyon işlemlerinin Si morfolojisine etkisi ortaya çıkartılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Döküm, Modifikasyon, Tane inceltme, Morfoloji, LM28 alaşımı

## Abstract

The morphology of Si in hypereutectic Al-Si alloys can vary with the alloying element additions. In this work, the effect of grain refiners and modifiers on the microstructure of LM28 alloy was investigated. The castings were made at 750°C into a step mould made prepared by sand. AlB<sub>3</sub> was used as the grain refiner and Sr was selected as the modifier. Degassing was carried out for 12 minutes with Ar prior to casting. Thus, overall, four parameters were investigated: before and after degassing, with AlB<sub>3</sub> and Sr additions. From each of the steps, microstructural investigations were analysed and the change in the morphology of Si was determined.

**Keywords:** Casting, Modification, Grain refinement, Morphology, LM28 alloy

## 1. Giriş

Alüminyum diğer metallere göre hafifliği, alaşımlandırıldığında yeterli mukavemete sahip olması, tekrar defalarca kullanılabilirliği, yüksek korozyon direnci, yüksek ısı ve elektriksel iletkenliği ve şekillendirilebilirliği gibi özelliklerinden dolayı daha avantajlıdır. Alüminyum demirden üç kat daha hafif olmasına rağmen alaşımlandırılarak demire yakın mukavemette bir malzemeye dönüştürülebilir. Alüminyum normal atmosfer koşullarında oksijen ile reaksiyona girerek kendi yüzeyinde doğal bir koruyucu film tabakası oluşturur [1-3].

Ötektik üstü Al-Si döküm alaşımlarının düşük ısıl genleşme katsayısı, yüksek aşınma direnci, yüksek mukavemet ve sertlik gibi özelliklerinden dolayı piston, silindir blokları ve kompresör parçalarının üretiminde tercih edilir [4, 5]. Bu alaşımın dökümünde karşılaşılan dezavantajlar ise porozite, kaba ötektik yapı, birincil silisyum partiküllerinde segregasyon ve katılma çekmesinin meydana gelmesidir [4, 6].

Pek çok araştırmacı, çevre koruma ve sanayi uygulamaları gereksinimlerini karşılamak üzere alaşımı iyileştirme amaçlı modifikasyon üzerine odaklanmıştır. Modifiye edici elementlerden Sr, çok az oranlarda ilave edilmesiyle bile etkili bir şekilde kaba Si yapılarının daha ince fibros Si yapılarına dönüşmesini sağlar [7].

Yapısal hataları azaltmak ve mikro özellikleri iyileştirmek amacıyla birincil Si partiküllerine modifikasyon ve  $\alpha$ -Al tanelerine Ti içeren (AlTi ve AlTi<sub>x</sub>By) ve Ti içermeyen (Al<sub>3</sub>B) master alaşımları ile tane inceltme işlemi uygulanır [8-10]. Tane inceltme işlemleri ile  $\alpha$ -Al tanelerinin boyutu küçültülerek döküm kalitesi iyileştirilebilir. Tane inceltme işlemi ile ince eşeksenli tane yapısı elde edilir ve bu sayede yüksek akma dayanımı, yüksek tokluk, geliştirilmiş işlenebilirlik ve ürünlerin mükemmel derin çekilebilirlik gibi çeşitli özelliklere sahip olması sağlanır [8].

Modifikasyon ayrıca modifiye edilmemiş alaşımın porozite içeriği ile ilişkilendirilmiştir. Ötektik silisin yapısal değişiminin mikroskobik çekme porozitesi üzerinde olan iyileştirici etkisi porozitenin artmasıyla azalmaktadır. Modifikasyon işleminin kontrolü, kaliteli döküm üretmede baskın bir rol oynamaktadır [11].

Bu çalışmada, Ti içermeyen tane inceltici ile tane inceltme ve Sr ile modifikasyon işlemleri kullanılarak LM28 alaşımının mikroyapısal değişimi incelenmiştir.

## 2. Deneysel Çalışmalar

Çalışmada kullanılan alaşımın kimyasal bileşim aralığı Tablo 1’de verilmiştir. Kullanılan alaşım elektrik dirençli ocakta bir SiC pota içinde ergitilmiştir. Sırasıyla ilavesiz, Al<sub>15</sub>Sr ilaveli, AlB<sub>3</sub> ilaveli, Al<sub>15</sub>Sr+ AlB<sub>3</sub> ilaveli dökümler gerçekleştirilmiştir.

**Tablo 1.** LM28 alaşımının kimyasal bileşim aralığı

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Ni	Al
17,0-19,0	0,60	0,80	0,20	0,80	0,20	0,10	0,80-1,3	Kalan

Her dökümden önce gaz giderme işlemi yapılmıştır. Gaz giderme işleminde Ar gazı kullanılmış ve yaklaşık 12 dk. süresince gaz giderme işlemi yapılmıştır. Dökümler 750 °C de 10, 15, 20 ve 30 mm kalınlıklarına sahip basamaklı dikey kum kalıplara dökülmüştür.

Döküm sonrası elde edilen parçaların farklı kesitlerinden farklı ölçülerde üç numune kesilmiştir. Her kesitin ortasına en yakın bölgesinden çıkartılan numunelerin mikroyapı analizi yapılmıştır.

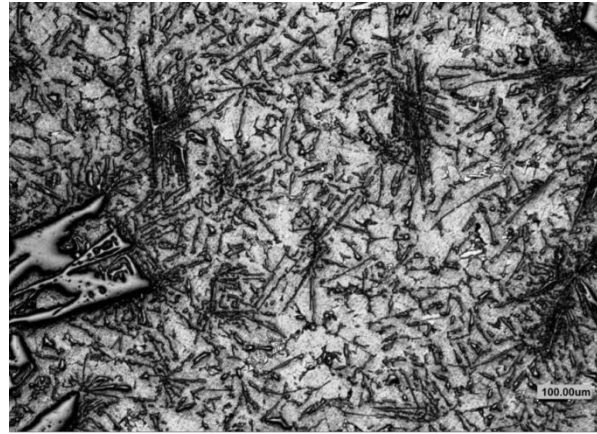
Mikroyapı analizi yapılacak numuneler gerekli metalografik numune hazırlama aşamalarından geçirilerek CLEMEX marka görüntü analiz programı yardımıyla incelemeye tabi tutulmuştur. Metalografik numune hazırlama aşamalarında 120, 320, 600, 1000 ve 1200 kum zımpara kullanılmış, zımparalama sonrası sırasıyla 3 ve 1 mikron elmas solüsyonu ile parlatılmıştır. Parlatma sonrası numune yüzeyi alkol ve saf su ile temizlenip NİKON marka mikroskop yardımı ile görüntüleri alınmıştır. Elde edilen görüntülerin görüntü analizi yapılarak Si morfolojileri incelenmiştir.

### 3. Sonuçlar ve Tartışma

Ötektik üstü Al-Si alaşımlarının mikroyapısının üretim sürecinden etkilendiği bilinmektedir. Farklı kesit kalınlıklarında dört farklı parametre üzerinde Si morfolojisi ve mikroyapı oluşumu bu çalışmada incelenmiştir. İlavesiz, Stronsiyum ilaveli, Bor ilaveli ve Stronsiyum + Bor ilaveli yaptığımız dökümlerden elde edilen mikroyapı görüntüleri görsel olarak incelenmiştir. Şekil 1'de ilavesiz yapılmış dökümden alınan parçanın farklı kesit kalınlıklarına göre mikroyapı resimleri verilmiştir.



a



b



c

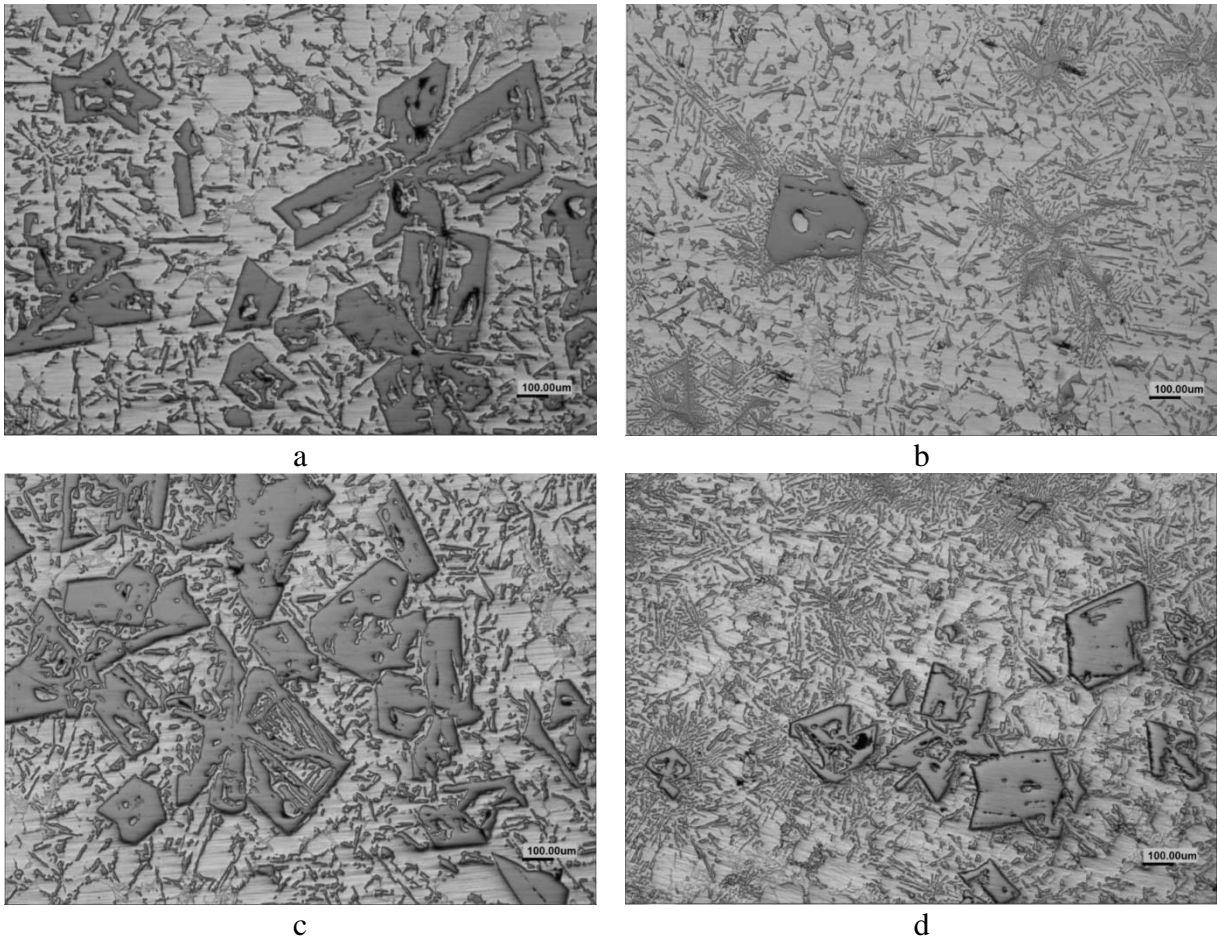


d

**Şekil 1.** İlavetsiz dökümün kesit kalınlığına göre mikroyapı resimleri. a) 30 mm kesit kalınlığı, b) 20 mm kesit kalınlığı, c) 15 mm kesit kalınlığı, d) 10 mm kesit kalınlığı

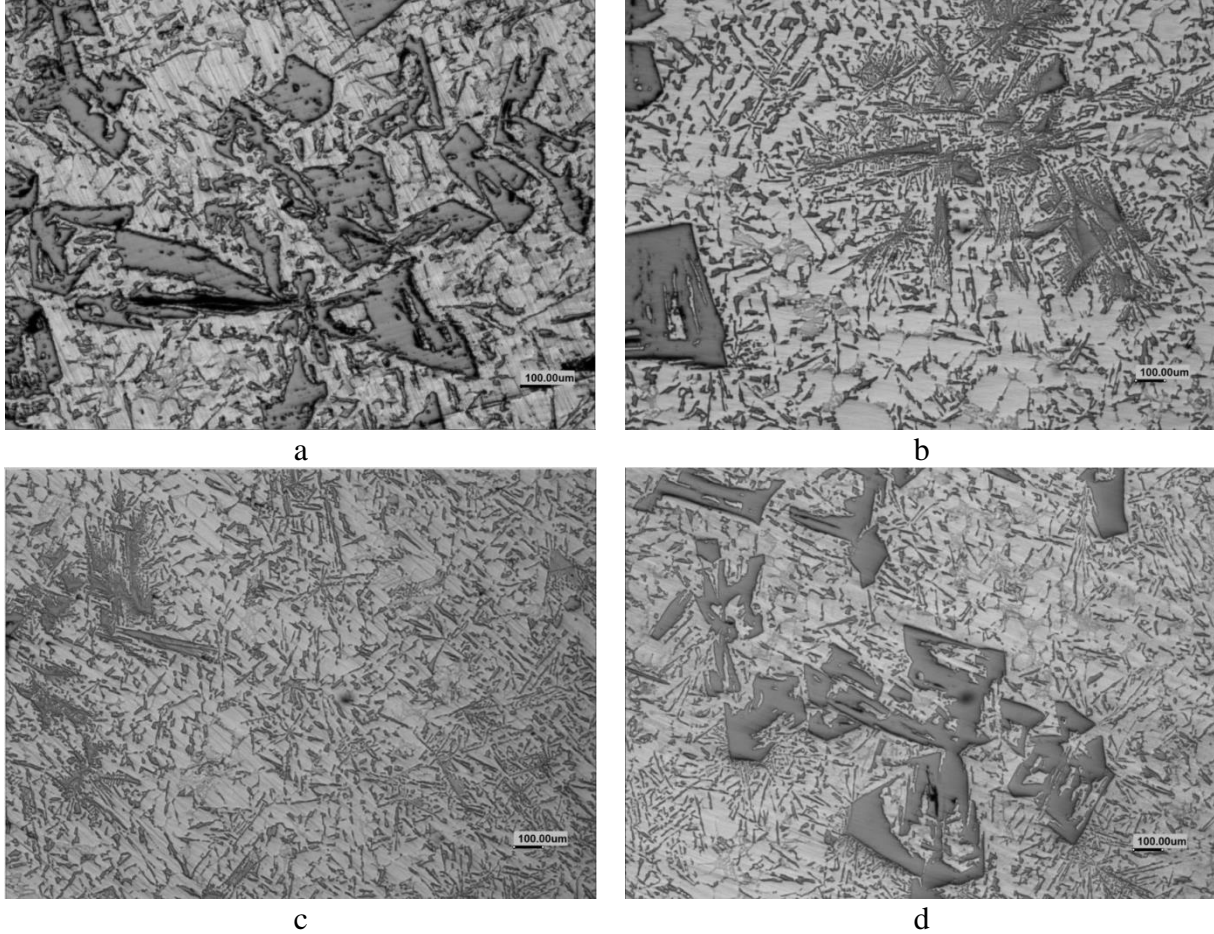
Görüntüler incelendiğinde, 30 mm kalınlığındaki kesitlerde kaba ve rastgele büyümüş primer silisler görülmektedir. Kaba primer silislerin etrafında ince ve uzun şekilde sekonder silisler yapıda oluşmuştur. Primer silislerin çevresine  $\alpha$  dendritlerinin daha geniş yer kapladığı gözlenmiştir. Kesit kalınlığı sırasıyla 20, 15 ve 10 mm'ye düştüğünde primer silislerin ya daha düzenli bir geometride ya da en kalın kesite nazaran daha ince ve parça parça olduğu görülmüştür. Bunun yanında sekonder silislerin küçüldüğü ve  $\alpha$  dendritlerinin kalın kesite kıyasla daha geniş yer kapladığı gözlenmiştir. Ayrıca sekonder silislerin primer silislerden uzaklaştığı görülmüştür.

Şekil 2'de Sr ilaveli dökümün farklı kesit kalınlıklarına göre mikroyapı resimleri verilmiştir.



**Şekil 2.** Sr ilaveli dökümün kesit kalınlığına göre mikroyapı resimleri. a) 30 mm kesit kalınlığı, b) 20 mm kesit kalınlığı, c) 15 mm kesit kalınlığı, d) 10 mm kesit kalınlığı

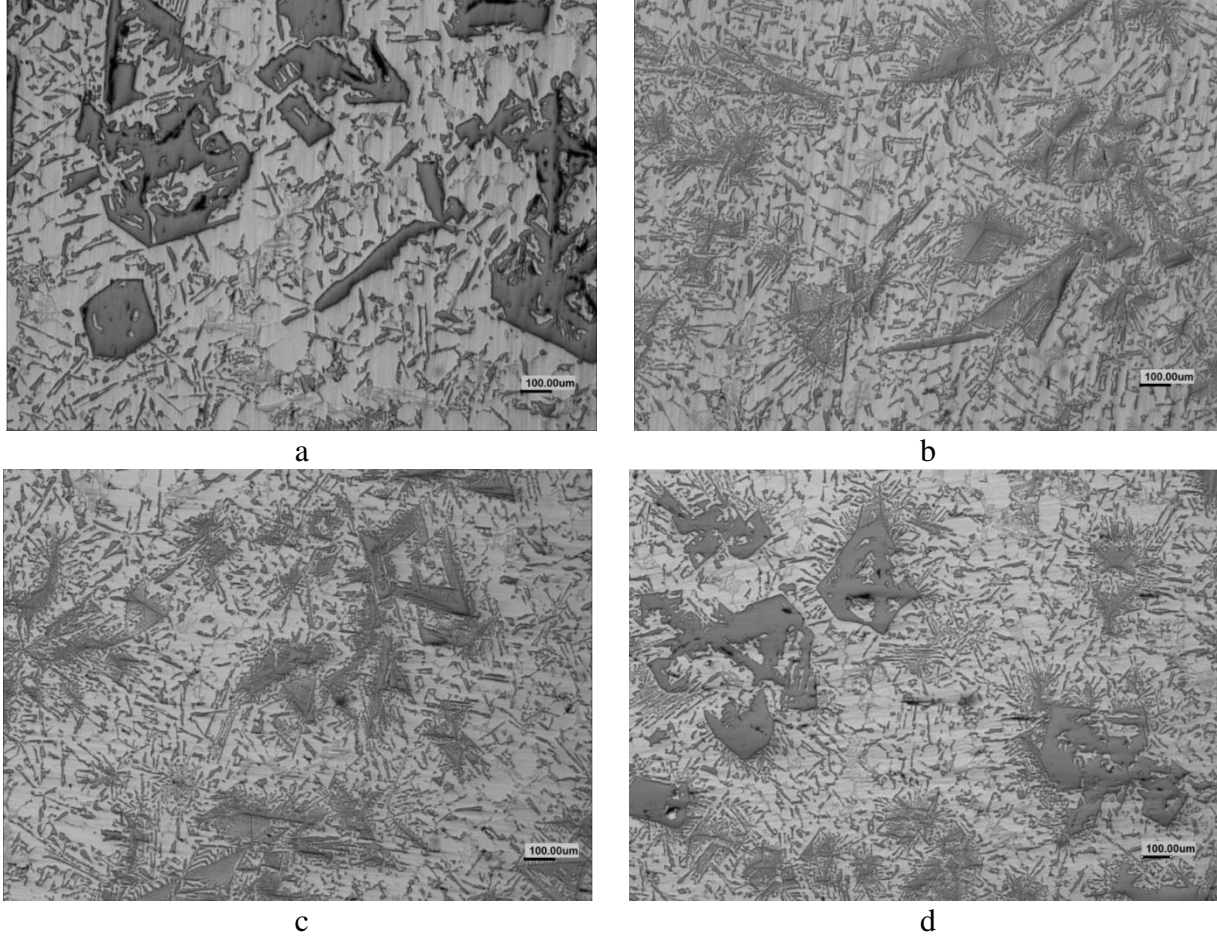
Sr ilaveli yapılan dökümlerin mikroyapıları incelendiğinde, soğuma hızı artkça primer silislerin küçüldüğü veya parçalandığı, sekonder silislerin boyutlarının küçüldüğü ve kısmi olarak segregе oldukları görülmüştür. Sekonder silislerin sayıca artmasıyla boyutlarında azalma gözlenmiştir. Şekil 3’de Bor ilaveli yapılan dökümlerin mikroyapıları verilmiştir.



Şekil 3. B ilaveli dökümün kesit kalınlığına göre mikroyapı resimleri. a) 30 mm kesit kalınlığı, b) 20 mm kesit kalınlığı, c) 15 mm kesit kalınlığı, d) 10 mm kesit kalınlığı

Bor ilaveli dökümlerin mikroyapıları kesit farkına göre incelendiğinde, her farklı kesitte yani farklı soğuma hızlarında farklı morfoloji oluştuğu görülmüştür. Fakat soğuma hızının azalmasıyla ya da artmasıyla lineer bir değişim gözlenmemiştir. En kalın kesitte primer silisler çok kaba ve değişik geometrilerde oluşurken en ince kesitte daha küçük ve düzenli geometride oluştuğu görülmektedir. Kalın ve ince kesite nazaran orta kesitlerde nispeten çok daha ince ve uzun primer silislerin oluştuğu görülmüştür. Kesit kalınlığı azaldıkça  $\alpha$  dendritlerinin primer silislerin etrafında azaldığı ve bunların yerine sekonder silislerin geçtiği görülmektedir. Diğer bir deyişle soğuma hızı azaldıkça primer silislerin küçüldüğü ve daha düzenli bir halde oluştuğu, primer silislerin çevresinden sekonder silislerin çekirdeklendiği ve buradaki  $\alpha$  dendrit miktarlarının azaldığı söylenebilir.

Şekil 4’de Stronsiyum + Bor ilaveli dökümün mikroyapı görüntüleri verilmiştir.



**Şekil 4.** Sr+B ilaveli dökümün kesit kalınlığına göre mikroyapı resimleri. a) 30 mm kesit kalınlığı, b) 20 mm kesit kalınlığı, c) 15 mm kesit kalınlığı, d) 10 mm kesit kalınlığı

Sr + B ilaveli döküm mikroyapılarında en kalın üç kesit karşılaştırıldığında, kesit kalınlığı azaldıkça primer silislerin kaba yapıdan daha küçük yapıya ve rastgele şekillenip dağılmaktan daha eş şekillenip homojen dağılmaya yönlendiği görülmektedir. Fakat en ince kesite baktığımızda primer silislerin daha küçük yapıda oluştuğu buna karşın en kalın kesitteki gibi rastgele şekillendiği görülmektedir. Primer silisler ne kadar küçülürse etrafında o kadar fazla miktarda sekonder silislerin çekirdeklendiği ve büyüdüğü görülmektedir.

İlave master alaşımlarına göre analiz yapıldığında, en kalın kesitte ilave malzemesi değişikçe çok küçük farklılıklar görülse de önemli bir fark olduğu söylenemez. Diğer üç kesitte şu genelleme yapılabilir; soğuma hızı arttıkça primer silislerin Sr ve B ilavesine nazaran Sr + B ilaveli dökümde çok daha homojen ve eş şekillidir. Bunun yanında yine Sr + B ilaveli dökümde diğer tüm dökümlere kıyasla primer silislerin etrafında sekonder silislerin çekirdeklenmesi ve büyümesi artmıştır. Ayrıca aynı parametrede (Sr + B) primer silislerin etrafındaki  $\alpha$  dendrit bölgeleri en azdır.

#### 4. Sonuçlar

Ötektik üstü Al-Si alaşımlarında, Sr ilaveli sonrasında, soğuma hızı artıkça primer silislerin küçüldüğü veya parçalandığı, sekonder silislerin boyutlarının küçüldüğü ve kısmi olarak segregeler oldukları yani ötektik fazın hacimsel oranının arttığı görülmüştür.

Aynı alaşıma, B ilavesi yapıldığında, kesit kalınlığı azaldıkça,  $\alpha$  dendritlerinin primer silislerin etrafında azaldığı ve bunların yerine sekonder silislerin getiğı görülmektedir. Diğer bir deyişle soğuma hızı azaldıkça primer silislerin küçüldüğü ve daha düzenli bir halde oluştuğu, primer silislerin çevresinden sekonder silislerin ekirdeklendiğı ve buradaki  $\alpha$  dendrit miktarlarının azaldığı tespit edilmiştir.

Sr ve B aynı zamanda ilave edildiğinde ise, primer silisler ne kadar küçülürse etrafında o kadar fazla miktarda sekonder silislerin ekirdeklendiğı ve büyüdüğü görülmüştür.

#### Teřekkür

Çalışmada kullandığımız alaşımın temin edilmesinde büyük kolaylıklar sağlamalarından dolayı ETİ ALÜMİNYUM A.Ő. ve METAL MARKET METALURJİ SAN. ve TİC. LTD. ŐTİ. firmalarına teşekkür ederiz. Ayrıca çalışmamıza yapmış olduğu desteklerinden dolayı ALTUN DÖKÜM SANAYİ A.Ő.'ne de teşekkür ederiz.

#### Referanslar

- [1] *International Aluminium Institute* 2004; Available from: [www.world-aluminium.org](http://www.world-aluminium.org).
- [2] *European Aluminium Association* 2004.
- [3] Campbell, J., *Castings : [the new metallurgy of cast metals]*. 2003, Butterworth Heinemann.
- [4] Kapranos, P., et al., *Thixoforming of an automotive part in A390 hypereutectic Al-Si alloy*. *Journal of Materials Processing Technology*, 2003. **135**(2-3): p. 271-277.
- [5] Zhao, J.-w. and S.-s. Wu, *Microstructure and mechanical properties of rheo-diecasted A390 alloy*. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 2010. **20**, **Supplement 3**(0): p. s754-s757.
- [6] Zuo, M., et al., *Effect of rapid solidification on the microstructure and refining performance of an Al-Si-P master alloy*. *Journal of Materials Processing Technology*, 2009. **209**(15-16): p. 5504-5508.
- [7] Cho, Y.H., et al., *Effect of strontium and phosphorus on eutectic Al-Si nucleation and formation of beta-Al(5)FeSi in hypoeutectic Al-Si foundry alloys*. *Metallurgical and Materials Transactions a-Physical Metallurgy and Materials Science*, 2008. **39A**(10): p. 2435-2448.
- [8] McCartney, D.G., *Grain Refining Of Aluminum And Its Alloys Using Inoculants*. *International Materials Reviews*, 1989. **34**(5): p. 247-260.
- [9] Vander Voort, G.F., A. International, and A.I.H. Committee, *Metallography and microstructures*. 2004: ASM International.

- [10] Xu, C.L., et al., *Effect of La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> in the Al–P–Ti–TiC–La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> modifier on primary silicon in hypereutectic Al–Si alloys*. Journal of Alloys and Compounds, 2006. **421**(1–2): p. 128-132.
- [11] Hegde, S. and K.N. Prabhu, *Modification of eutectic silicon in Al-Si alloys*. Journal of Materials Science, 2008. **43**(9): p. 3009-3027.