



## Al-Si ALAŞIMLARINDA Si MORFOLOJİSİNİN İŞLENEBİLİRLİĞE ETKİSİ THE EFFECT OF Si MORPHOLOGY ON MACHINABILITY OF Al-Si ALLOYS

Muhammet ULUDAĞ<sup>1</sup>, Şakir YAZMAN<sup>2\*</sup>, Barış BAKIRCIOĞLU<sup>3</sup>, Derya DIŞPINAR<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye.  
uludag@selcuk.edu.tr

<sup>2</sup>Teknik Bilimler MYO, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye.  
syazman@selcuk.edu.tr

<sup>3</sup>İlgın MYO, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye.  
bbakircioglu@selcuk.edu.tr

<sup>4</sup>Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.  
deryad@istanbul.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 16.12.2014, Kabul Tarihi/Accepted: 29.05.2015

doi: 10.5505/pajes.2015.66933

\* Yazışılan yazar/Corresponding author

Özel Sayı Makalesi/Special Issue Article

### Öz

Birçok döküm yöntemi ile üretilen parçalar kalıptan çıkartıldığı gibi kullanılırken bazılarında torna, freze, matkap vb. yöntemlerle son işleme tabi tutulurlar. Alüminyumun alaşımlandırılmasında özellikle aşınmaya karşı etkisinden dolayı Si ilavesi yapılır. Silisyum alüminyum içerisinde çok düşük bir çözünürlüğe sahiptir ve mikro yapıda kristalin olarak yer alır. Tıpkı seramik katkılı bir kompozit gibi davranış gösterir. Dolayısıyla Al-Si alaşımlarının aşınma ve işlenebilirlik karakteristiği direk olarak Si morfolojisine bağlıdır. Bu doğrultuda bu çalışmada, ticari olarak kullanılan Al-7Si ve Al-12Si alaşımına Sr modifikasyonu yapılarak Si morfolojisi değiştirilmiştir. Her iki alaşımda da Sr ilavesi öncesi ve sonrası olmak üzere silindirik numuneler dökülmüş ve bu numuneler işlenebilirlik testine tabi tutulmuştur. Mikroyapısal analizler ile işlenebilirlik arasındaki ilişki ortaya çıkartılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Al7Si, Al12Si, Sr modifikasyonu, İşlenebilirlik, Si morfolojisi

### Abstract

Many of the cast parts require some sort of machining like milling, drilling to be used as a finished product. In order to improve the wear properties of Al alloys, Si is added. The solubility of Si in Al is quite low and it has a crystallite type structure. It behaves as particulate metal matrix composite which makes it an attractive element. Thus, the wear and machinability properties of these type of alloys depend on the morphology of Si in the matrix. In this work, Sr was added to alter the morphology of Si in Al-7Si and Al-12Si. Cylindrical shaped samples were cast and machinability characteristics of Sr addition was studied. The relationship between microstructure and machinability was evaluated.

**Keywords:** Al7Si, Al12Si, Sr modification, machinability, Si morphology

## 1 Giriş

Al-Si alaşımlarının çoğunlukla otomotiv sektöründe tercih edildiği bilinmektedir. Bu alaşımların otomotiv sektöründe kullanımının artması mikroyapının işlenebilirlik üzerine etkisi üzerine daha derin çalışmalar yapılması ihtiyacını doğurmuştur. Bu alanda yapılan pek çok çalışma olmasına rağmen yetersiz kalmaktadır [1]. Ötektik + dendritik ve ötektik katılaşma gösteren alüminyum silisyum döküm alaşımlarının mekanik özellikleri kimyasal kompozisyonun yanından mikroyapıda mevcut olabilen ötektik Si ve intermetaliklerin morfolojisi ve boyutu gibi mikroyapısal özelliklere de bağlıdır. Normal soğuma şartlarında Si partikülleri kaba ve iğnemsî şekilde oluşur. Bu iğnemsî yapılar çatlak başlangıcı olarak mekanik özellikler üzerinde önemli rol oynar [2],[3]. Ötektik silis modifikasyonu üç farklı yolla mevcut yapıdan daha ince fibros yapıya dönüştürülebilir. İlki kimyasal kompozisyon (bazı elementlerin ilavesi ile) ikincisi soğumayı hızlandırma modifikasyonu (hızlı soğuma oranı) ve üçüncüsü de termal modifikasyon (ısıtılı işlem) işlemidir. Günümüz endüstrisinde Sr, Na ve Sb gibi elementler çoğunlukla kimyasal modifikasyon amaçlı kullanılmaktadırlar [4]-[6]. Hem ötektik altı hem de ötektik alaşımlara nadir toprak elementlerinin ilavesi modifikasyona sebep olduğu ileri sürülmüştür [7]-[9].

İşlenebilirlik talaşlı imalat için önemli bir kavramdır. Talaşlı işlenebilirlik proses ve malzemeyi birlikte ihtiva eden bir sistem özelliği olarak düşünülmelidir. Malzemeleri işlenebilirlik açısından genel bir sıralamaya koymak mümkün değildir. Genellikle biçimlendirme ve diğer çeşitli şekillendirme proseslerinde talaşlı işlem çalışmaları gerekmektedir [10]. İşlenebilirlik bu anlamda, malzemelerin daha kolay ve daha az maliyet ile işlenebilmesi konusunda yardımcı olmaktadır. Özellikle kesici takım için; takım ömrü, işlenen parçadaki yüzey kalitesi ve kesme hızı optimum değerleri konusunda yardımcı olmaktadır. Malzemenin sertliği, sünekliliği, yüzey gerilmeleri, alaşım elementleri, işleme öncesi malzemenin geçirdiği ısıl işlem gibi unsurlar işlenebilirliği etkiler. İdeal talaşlı işleme özelliklerinin sağlanmasında, malzemenin mekanik özelliklerinin yanında kesme hızı, ilerleme, talaş derinliği ve kesici uç geometrisi gibi işleme parametreleri etkili olmaktadır [11],[12]. Talaşlı işlem özelliklerinin ideal oranlarda sağlanabilmesi amacıyla, talaş kaldırma parametrelerine, kesici uç geometrilerine, malzemenin mikroyapı ve mekanik özelliklerine dikkat edilmelidir [13].

Bu çalışmada, ticari olarak kullanılan Al-7Si ve Al-12Si alaşımına Sr modifikasyonu yapılarak Si morfolojisi değiştirilmiştir. Her iki alaşımda da Sr ilavesi öncesi ve sonrası olmak üzere silindirik numuneler dökülmüş ve bu numuneler üzerinden yüzey pürüzlülüğü, talaş oluşumu ve yığıntı talaş

açından işlenebilirlik deneyleri yapılmıştır. Bu çalışma 15. Uluslararası Malzeme Sempozyumunda sunulmuştur [14].

## 2 Materyal ve Metot

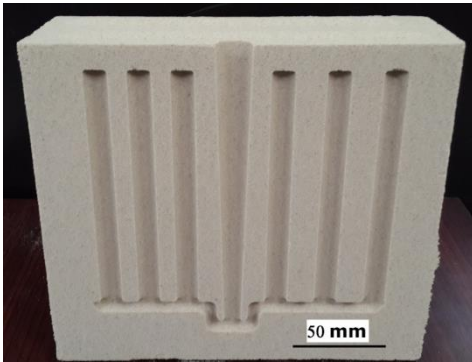
### 2.1 Malzeme

Al-Si alaşımlarından dendritik + ötektik katılaşma gösteren Al7Si ve ötektik katılaşma gösteren Al12Si alaşımları bu çalışmada primer olarak temin edilmiş ve kullanılmıştır. Kullanılan alaşımların kimyasal bileşim aralıkları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1: Deneysel çalışmada kullanılan alaşımların kimyasal bileşim aralıkları [15].

Element	Alaşım	
	Al7Si	Al12Si
Si	6.60-7.40	11.50-13.50
Fe	0-0.20	0-0.60
Cu	0-0.02	0-0.10
Mn	0-0.03	0-0.40
Mg	0.30-0.45	0-0.10
Zn	0-0.04	0-0.10
Ti	0.08-0.14	0.015
Al	Kalan	Kalan

Döküm sıcaklığı Al7Si için 750 °C ve Al12Si için de 700 °C olarak seçilmiştir. Aynı anda altı çekme çubuğunu elde edebileceğimiz altılı kum kalıplara kullanılmıştır. Deneysel çalışmada kullanılan kum kalıp kalıp resmi Şekil 1'de verilmiştir. Dökümlerde Si modifiyesi için Al15Sr kullanılmıştır. Al15Sr master alaşımı yaklaşık 30 ppm miktarında ilave edilmiştir.



Şekil 1: Deneysel çalışmada kullanılan çekme çubuğu kum kalıbı.

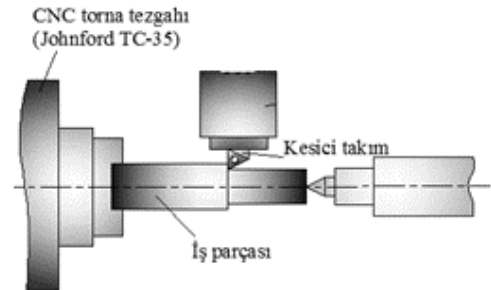
Altılı çekme çubuğundan alınan döküm parçasından mikroyapı incelemesi ve işlenebilirlik testleri yapılmıştır. Mikroyapı incelemesinde metalografik numune hazırlama aşamalarından geçirilen numunelerin optik mikroskop yardımıyla görüntüleri alınmıştır. Mikroyapı incelemesinden elde edilen görüntüler görsel olarak tartışılmıştır. Her iki alaşımda modifikasyon öncesi ve sonrası morfoloji karşılaştırılmıştır.

### 2.2 İşlenebilirlik deneyleri

İşlenebilirlik deneyleri ISO 3685 (TS 10329)'deki deney şartlarına uygun olarak CNC torna tezgahında (Johnford TC-35) gerçekleştirilmiştir. Talaş kaldırma işlemlerinde ISO 1832'ye uygun CNMG 120408 takımlar seçilmiş olup takım tutucu olarak SSBCR 2525M-12 kullanılmıştır. Deneyler, sabit kesme hızı, talaş derinliği ve ilerleme hızlarında yapılmıştır. Deneylerin tamamı kesme ve soğutma sıvısı kullanılmadan kuru kesme şartlarında gerçekleştirilmiştir. Ayna punta arasında torna tezgaha bağlanan numuneler üzerinden deney öncesi talaş kaldırılarak silindirik bozukluklar ve dış katmanda homojen olmayan sertliğin olumsuz etkisi ortadan kaldırılmıştır ve homojen talaş kesiti sağlanmıştır. İşlenebilirlik deney şartlarının detayları Tablo 2'de ve deney düzeneği Şekil 2'de verilmiştir.

Tablo 2: Talaş kaldırma deney detayları

Takım tezgahı	Johnford TC-35 CNC
Kesici akım	CNMG120408-HA
Kesme parametreleri	
Kesme hızı (v)	100 m/dk (sabit)
İlerleme (f)	0.13 mm/dev (sabit)
Talaş derinliği (a)	1.0 mm (sabit)
Kesme boyu	100 mm (sabit)
Kesme koşulu	Kuru



Şekil 2: Deneysel çalışmada kullanılan çekme çubuğu kum kalıbı

Tornalanmak suretiyle işlenen numunelerin yüzey pürüzlülükleri, yüzey pürüzlülük ölçüm cihazında (Taylor-Hobson Surtronik 10) ölçülmüştür.

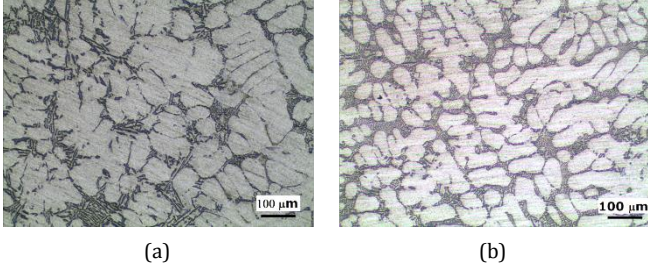
## 3 Bulgular ve Tartışma

### 3.1 Metalografik İnceleme ve Mekanik Özellikler

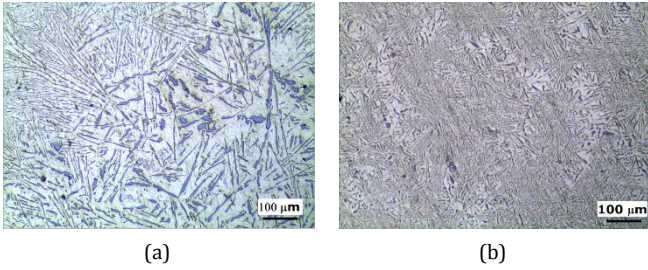
Deney dökümlerinden elde edilen modifiyeli ve modifiyesiz mikroyapı görüntüleri Al7Si alaşımı için Şekil 3'te ve Al12Si alaşımı için de Şekil 4'te verilmiştir.

Ötektik altı katılaşma gösteren Al7Si alaşımına ait mikroyapı görüntüleri incelendiğinde (Şekil 3), ilavesiz yapılan dökümlerde dendritik yapı ile beraber ötektik yapıların oluştuğu görülmektedir. Ötektik fazda oluşan Si morfolojisine dikkat edilecek olursa kalın ve uzun geometride şekillendiği fark edilebilir. Dendrit kollarının ise çok düzensiz katılaşma gösterdiği yine aynı görüntüden anlaşılmaktadır. Sr modifiyeli dökümden elde edilen görüntü incelendiğinde ilavesizde kaba

ve uzun morfolojide oluşan Si partiküllerinin ince ve küçük geometrilere olduğu yani modifiye olduğu gözlenmiştir. İlave edilen Sr'nin sadece silisleri modifiye etmediği bunun yanında dendrit oluşumunu da düzenlediği de görülmüştür. Her iki mikroyapı görüntüsü görsel olarak incelendiğinde Sr'nin kısmen bir tane inceltici görevi de gördüğü söylenebilir.



Şekil 3: Al7Si alaşımına ait mikroyapı görüntüleri  
(a) Modifiyesiz, (b) Modifiyeli



Şekil 4: Al12Si alaşımına ait mikroyapı görüntüleri.  
(a) Modifiyesiz, (b) Modifiyeli

Ötektik katılma morfolojisine sahip Al12Si alaşımı için verilen Şekil 4'teki mikroyapı görüntülerinde ise ilavesiz döküme kaba silislerle oluşmuş bir ötektik yapı görülmektedir. Sr modifiyeli döküme ait görüntüde ise Si partiküllerinin modifiye olduğu yani daha ince ve küçük yapıda oluştuğu gözlenmiştir.

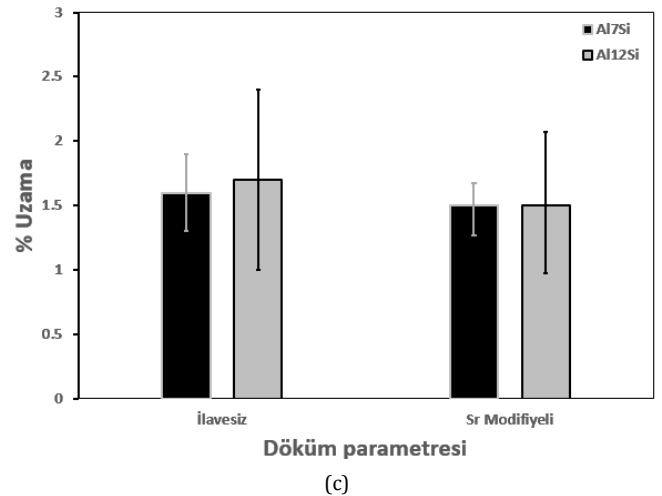
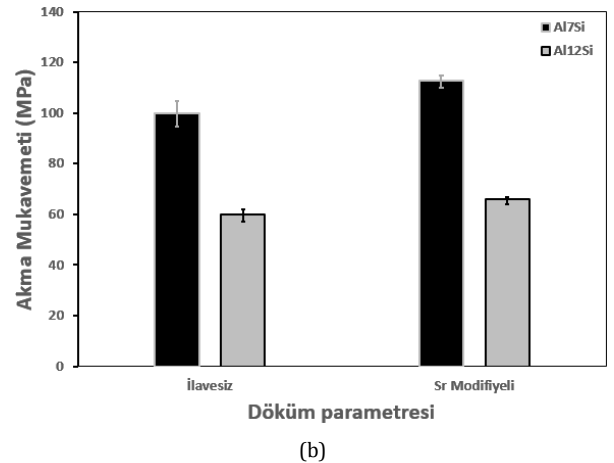
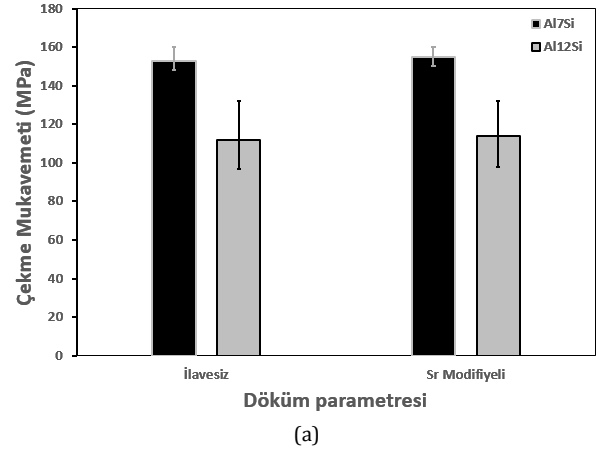
Al15Sr master alaşımı ile modifiye edilmiş ve edilmemiş Al7Si ve Al12Si döküm parametrelerine ait çekme mukavemeti, akma mukavemeti ve % uzama değerleri grafiksel olarak Şekil 5'te verilmiştir.

Dökümlerde kullanılan Al7Si ve Al12Si alaşımına ait Şekil 5'te verilen mekanik test sonuçlarına göre, Si modifiyesi amacı ile ilave edilen Al15Sr master alaşımının çekme mukavemeti üzerine her iki alaşımda da ciddi bir etkisi olmamakla beraber nispeten bir artış sağladığı söylenebilir. % uzama sonuçlarında ise Sr modifiyeli dökümlerde ilavesiz dökümlere nazaran daha düşük uzama değerleri elde edilmiştir. Her iki alaşımında ilavesiz dökümlere kıyasla Sr ilaveli dökümlerinin akma mukavemet değerlerinde belirgin olamamakla beraber çok az artış gözlenmiştir.

### 3.2 İşlenebilirlik

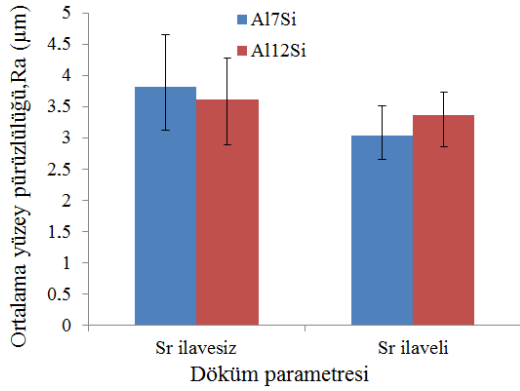
Al15Sr master alaşımı ile modifiye edilmiş ve edilmemiş Al7Si ve Al12Si döküm parametrelerine ait tormalanma sonrası ölçülen ortalama yüzey pürüzlülük (Ra) değerleri Şekil 6'da ve talaş kaldırma sonrası kesici kenarlara yapışan yığıntı talaş gösteren fotoğraflar Şekil 7'de verilmiştir. Şekil 6'da grafik incelendiğinde en yüksek pürüzlülük değeri (3,846 µm) Sr ilavesiz Al7Si ve en düşük pürüzlülük değeri (3,108 µm) Sr ilaveli Al7Si numunesinden ölçülmüştür. Genel olarak Sr ilaveli numunelerin ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin düştüğü görülmektedir. Al7Si numunesi Sr ilavesizken yüzey

pürüzlülüğü Al12Si numunesinden bir miktar fazla olmasına rağmen Sr ilavesinin yüzey pürüzlülüğü açısından Al7Si numunesine daha olumlu bir katkı sağladığı ve pürüzlülük değerlerini düşürdüğü görülmektedir. Yüzey pürüzlülüğü açısından Sr ilavesi Al7Si numunesine Al12Si numunesine kıyasla daha etkili olduğu belirlenmiştir. Bunun muhtemel sebepleri şu şekilde açıklanabilir; Sr ilavesiz ve Sr ilaveli Al7Si numunelerin mikro yapıları incelendiğinde (Şekil 3), ilavesiz yapılan dökümlerde dendritik yapı ile beraber ötektik

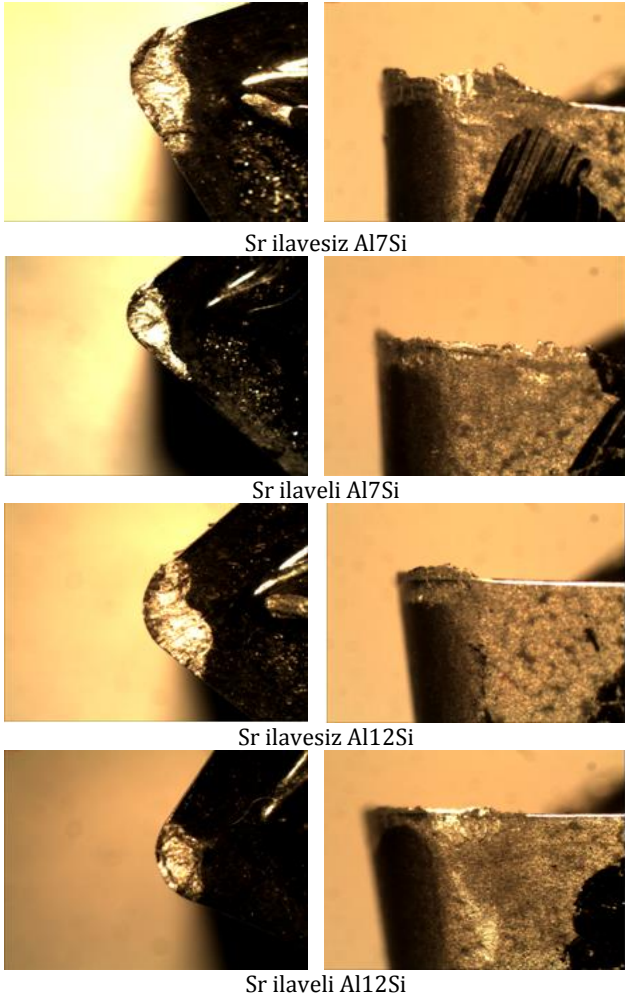


Şekil 5: Al7Si ve Al12Si alaşımının döküm parametrelerine göre mekanik test sonuçları. a) Çekme mukavemeti, b) Akma mukavemeti, c) % Uzama





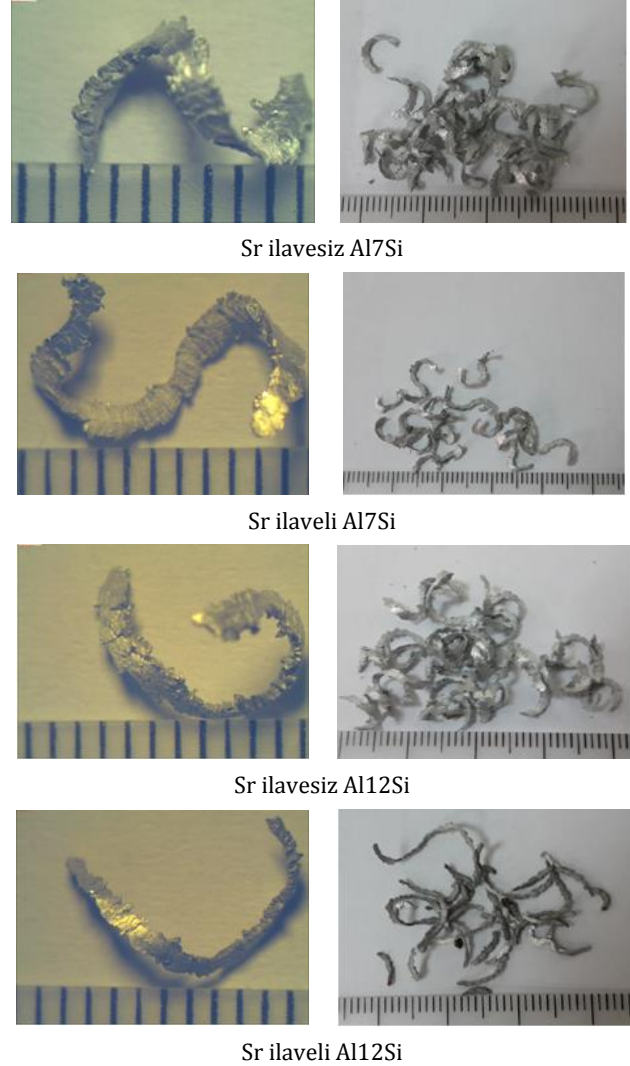
Şekil 6: Al15Sr master alaşımı ile modifiye edilmiş ve edilmemiş Al7Si ve Al12Si döküm parametrelerine ait yüzey pürüzlülük değerleri



Şekil 7: Numunelerin tornada işlendikten sonra kesici takım ucuna yapışan yığıntı talaşlar

yapıların oluştuğu ve ötektik fazda oluşan Si morfolojisinin kalın, uzun geometride şekillendiği ve dendrit kollarının ise çok düzensiz katılma gösterdiği görülmektedir. Sr ilaveli numunede ise ilavesizde kaba ve uzun morfolojide oluşan Si partiküllerinin ince ve küçük geometrilerde oluştuğu yani modifiye olduğu, Sr'nin sadece Silisleri modifiye etmediği bunun yanında dendrit oluşumunu da düzenlediği bununda

mekanik özelliklerde etkili olduğu çekme ve akma dayanımını bir miktar arttırdığı ve dolayısıyla talaşlı işleme sırasında oluşan yığıntı talaş boyutunu düşüreceği düşünülmektedir (Şekil 7). İşlenen malzemeden daha sert ve büyük boyutlarda oluşan yığıntı talaş kesici kenar gibi davranır ve kesici kenarın alt kısmına doğru büyüyerek işlenmiş yüzeyi düzensiz deforme ederek yüzey pürüzlülüğünün artmasına sebep olur. Numunelerin tornalanması esnasında oluşan talaş şekilleri Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 8: Numunelerin tornalanması esnasında oluşan talaş şekilleri.

Talaşlar şekil olarak ele alındığında genel olarak yapılan deneyler sonucunda kısa helisel talaşlar elde edilmiştir. Talaş kaldırma esnasında talaşın sürekli çıkması, iş parçası ve kesici takım ile sürekli temas halinde olması kesici takımın ısının artmasına ve kesici takımın daha kısa sürede aşınmasına neden olmaktadır. Ayrıca sürekli talaş işlenmiş iş parçası yüzeyine temas ederek yüzey pürüzlülüğünün artmasına neden olabilmektedir. Bu nedenlerden dolayı kısa talaş oluşması işlenebilirlik açısından elverişlidir. Bunun yanı sıra talaş resimleri incelendiğinde talaşlarda oluşan deformasyon ve kararsız yığıntı talaş sıvanması dikkat çekicidir.

#### 4 Kaynaklar

- [1] Zedan Y, Samuel FH, Samuel AM, Doty HW. "Effects of Fe Intermetallics on the Machinability of Heat-Treated Al-(7-11)% Si Alloys". *Journal of Materials Processing Technology*, 210(2), 245-257, 2010.
- [2] Mohamed AMA, Samuel AM, Samuel FH, Doty HW. "Influence of Additives on the Microstructure and Tensile Properties of Near-Eutectic Al-10.8%Si Cast Alloy". *Materials & Design*, 30(10), 3943-3957, 2009.
- [3] Ye H. "An Overview of the Development of Al-Si-Alloy Based Material for Engine Applications". *Journal of Materials Engineering and Performance*, 12(3), 288-297, 2003.
- [4] Kang HS, Yoon WY, Kim KH, Kim MH, Yoon YP, Cho IS. "Effective Parameter for the Selection of Modifying Agent for Al-Si Alloy". *Materials Science and Engineering: A*, 449-451(1), 334-337, 2007.
- [5] Kumar G, Hegde S, Prabhu KN. "Heat Transfer and Solidification Behaviour of Modified A357 Alloy". *Journal of Materials Processing Technology*, 182(1-3), 152-156, 2007.
- [6] Mi GF, Wang Y, Wen T. "Effect of La and La+Sr on Structure and Properties of ZL101A". *Advanced Materials Research*, 97-101(1), 429-436, 2010.
- [7] Campbell J. *Castings: The New Metallurgy of Cast Metals*. 2nd ed. Oxford, U.K., Butterworth Heinemann, 2003.
- [8] Chang J, Moon I, Choi C. "Refinement of Cast Microstructure of Hypereutectic Al-Si Alloys through the Addition of Rare Earth Metals". *Journal of Materials Science*, 33(20), 5015-5023, 1998.
- [9] Nogita K, McDonald SD, Dahle AK. "Eutectic Modification of Al-Si Alloys with Rare Earth Metals". *Materials Transactions*, 45(2), 323-326, 2004.
- [10] Seker U, Kurt A, Ciftci I. "Design and Construction of a Dynamometer for Measurement of Cutting Forces during Machining With Linear Motion". *Materials & Design*, 23(4), 355-360, 2002.
- [11] Aydın B, Özçatalbaş Y. "AA2014 Alaşımının İşlenebilirliğine Yaşlanma Süresinin Etkisi". *11. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi*, İstanbul, Türkiye, 05-09 Haziran 2002.
- [12] Trent EM. *Metal Cutting*. 4th ed. London, U.K., Tanner Ltd, 1998.
- [13] Özçatalbaş Y, Aydın B. "Mekanik Özellik ve Kesme Geometrisinin AA2014 Alaşımının İşlenebilirlik Özelliklerine Etkileri". *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21(1), 21-27, 2006.
- [14] Uludağ M, "Al-Si Alaşımlarında Si Morfolojisinin İşlenebilirliğe Etkisi". *15<sup>th</sup> International Materials Symposium*, Denizli, Turkey, 15-17 October 2014.
- [15] ETİ Alüminyum A.Ş. "ETİ Alüminyum". [www.etialuminyum.com](http://www.etialuminyum.com) (11.10.2014).