



Al-9Si-0,1Sr-0,6Mg Alaşımının Tornalanmasında İşlenebilirlik Karakteristiklerinin Araştırılması

Investigation of Machinability Characteristics of Al-9Si-0.1Sr-0.6Mg Alloy in Turning

Ali Paşa Hekimoğlu¹ , Şenol Bayraktar¹ 

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 53100, Rize, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 01/03/2023

Kabul / Accepted: 26/03/2023

Çevrimiçi Basım / Published Online: 06/06/2023

Son Versiyon/Final Version: xx/xx/xxxx

Öz

Bu çalışmada incelenen Al-9Si-0,1Sr-0,6Mg alaşımı kokil kalıba döküm yöntemiyle üretilmiştir. Üretilen alaşımın kimyasal bileşimi induktif eşleşmiş plazma atomik emisyon spektroskopisi (ICP-OES) yöntemiyle doğrulanmıştır. İyapı incelemeleri standard metalografik yöntemlerle hazırlanan numuneler üzerinde dağlama yapılmadan gerçekleştirilmiştir. Metalografik incelemelerde alaşımın iyapısının birincil alüminyum (Al) dendritlerinden, küresel morfolojiye sahip silisyum (Si) parçacıkları içeren ötektik Al-Si faz bölgelerinden, ötektik dışı Si parçacıklarından, Al₄Sr ve π fazlarından oluştuğu gözlenmiştir. İşlenebilirlik testleri, kaplamasız karbür kesici uçlar kullanılarak farklı kesme hızı (250, 400 ve 550 m/dak), ilerleme (0,05; 0,15 ve 0,25 mm/dev) ve sabit kesme derinliği şartları altında gerçekleştirilmiştir. Kesme kuvveti bileşenleri, Kistler 9257A dinamometre ve ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri ise izleyici uçlu Mahr Perthometer cihaz ile ölçülmüştür. Testler sonucunda kesme hızının artması ile kesme kuvveti, ortalama yüzey pürüzlülüğü ve yığıntı talaş (YT) oluşumu azalırken, ilerlemenin artması ile arttığı belirlenmiştir. Kesme hızının artması ile birincil deformasyon bölgesinde kesici takım-talaş arayüzey sıcaklığın artmasına bağlı olarak kesme kuvveti azalmıştır. Bu durum, kesmeyi işlemi kolaylaştırarak takım aşınmasını ve yüzey pürüzlülüğünü azalttığı düşünülmektedir. İlerlemenin artması ile birim zamanda kaldırılacak talaş hacmi ve kesici takım-talaş temas yüzey alanı artmaktadır. Bu durumun kesme işlemi zorlaştırdığı ve takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğünü arttırdığı düşünülmektedir. Minimum kesme kuvveti, ortalama yüzey pürüzlülüğü ve YT oluşumu için 550 m/dak kesme hızı ve 0,05 mm/dev ilerleme parametrelerinin kullanılabileceği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler

“Al-9Si-0.1Sr-0.6Mg alaşımı, Kesme kuvveti, Ortalama yüzey pürüzlülüğü, Yığıntı talaş”

Abstract

The Al-9Si-0.1Sr-0.6Mg alloy examined in this study was produced by the permanent mold casting method. The chemical composition of the produced alloy was confirmed by the inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy method. Microstructural examinations were carried out on the samples prepared by standard metallographic methods. These samples were examined without etching and photographed. In the metallographic examinations, it was observed that the microstructure of the alloy consisted of primary aluminum (Al) dendrites, eutectic Al-Si phase regions containing spherical silicon (Si) particles, primary Si particles, Al₄Sr and π phases. Machinability tests were carried out under different cutting speeds (250, 400, and 550 m/min), feed rates (0.05; 0.15, and 0.25 mm/rev), and constant depth of cut conditions using uncoated carbide inserts. The cutting force components were measured with the Kistler 9273 dynamometer and the average surface roughness values were measured with the Mahr Perthometer device with a tracer tip. As a result of the tests, it was determined that the cutting force, average surface roughness, and built-up edge formation decreased with the increase of cutting speed, while it increased with the increase of feed rate. As a result of the increase in cutting speed, the cutting force decreased due to the increase in the cutting tool-chip interface temperature in the primary deformation region. It was thought that this situation facilitated the cutting process and reduced tool wear and surface roughness. As the feed rate increased, the chip volume to be removed in unit time, and the cutting tool-chip contact surface area increased. It was thought that this situation complicated the cutting process and increased tool wear and surface roughness. It was

found that a cutting speed of 550 m/min and feed rate of 0.05 mm/rev parameters could be used for minimum cutting force, average surface roughness, and built-up edge formation.

Key Words

"Al-9Si-0.1Sr-0.6Mg alloy, Cutting force, Average surface roughness, Built-up edge"

1. Giriş

Al-Si esaslı alaşımlar, birçok avantajından dolayı endüstriyel uygulamalarda demir-çelik grubundan sonra en yaygın olarak kullanılan alaşım grubudur. Al-Si alaşımlarının diğer alaşımlara göre başlıca avantajları kolay ve ekonomik bir şekilde üretilibilmeleri, yüksek korozyon direncine sahip olmaları, çoğu endüstriyel uygulamalar için yeterli mukavemet değerlerini sağlayabilmeleri, düşük yoğunluğa sahip olmaları ve özgül mukavemetlerinin (mukavemet/yoğunluk) diğer alaşım gruplarının çoğuna göre yüksek olmasıdır (Arthanari vd., 2018; Nikanorov vd., 2005; Santos vd., 2005; Shaha vd., 2015). Söz konusu alaşımlar, özgül mukavemetlerinin yüksek olması nedeniyle özellikle hafifliğin ve dolayısıyla yakıt tasarrufun ön planda olduğu otomotiv, savunma ve havacılık sanayi gibi alanlarda üretilen motor blokları, pistonlar, silindir blokları, emme manifoldları, yağ karterleri, karbüratörler, şanzıman kutusu, motor bobin sarımı, transistör soğutucuları, veri kayıt diskleri, akümülatörler, harp başlıkları, roket gövdeleri ve benzeri parçaların imalatı için yoğun bir şekilde tercih edilmektedir (Abouei vd., 2010; Campbell 2011; Davis 2001; Javidani & Larouche, 2014; Li vd., 2010; Rainen & Ekvall, 1988; Santos vd., 2005). Belirtilen ürünlerin veya bu ürünlere ait herhangi bir parçanın tasarım aşamasında sertlik değeri, mekanik özellikleri ve tribolojik karakteristikleri göz önüne alınarak kullanılabilir en uygun Al-Si alaşımına karar verilmektedir. Al-Si alaşımlarının bu malzeme özellikleri Si oranının yanı sıra bileşimindeki diğer elementlerin türüne ve miktarına, üretim yöntemine, eğer uygulanmış ise uygulanan ısıtma işleminin türüne ve yapısındaki Si parçacıklarının büyüklüğüne ve morfolojisine bağlı olarak ta değişmektedir (Hafız & Kobayashi, 1994; Hekimoğlu vd., 2019; Li vd., 2017; Prabhudev vd., 2014; Zeren 2007). Son zamanlarda yapılan bir çalışmada ikili Al-Si alaşımları içerisinde %9 oranında Si içeren Al-9Si alaşımının üstün mukavemet ve süneklik özellikleri sergilediği ortaya koyulmuştur (Hekimoğlu & Haciosmanoğlu, 2018). Yapılan başka bir çalışmada ise Al-Si alaşımlarına %0,1 oranında stronsiyum (Sr) ve 0,6 oranında magnezyum (Mg) katıldığında mekanik özelliklerinin daha da geliştiği görülmüştür (Hekimoğlu vd., 2019). Bu iki çalışma alüminyum alaşımları ile ilgili literatürdeki diğer çalışmalar ile birlikte göz önüne alınarak Al-9Si-0,1Sr-0,6Mg alaşımı geliştirilmiş olup bu alaşımın yapısal ve mekanik özellikleri detaylı olarak incelenmiştir (Ayata 2018; Hekimoğlu vd., 2018).

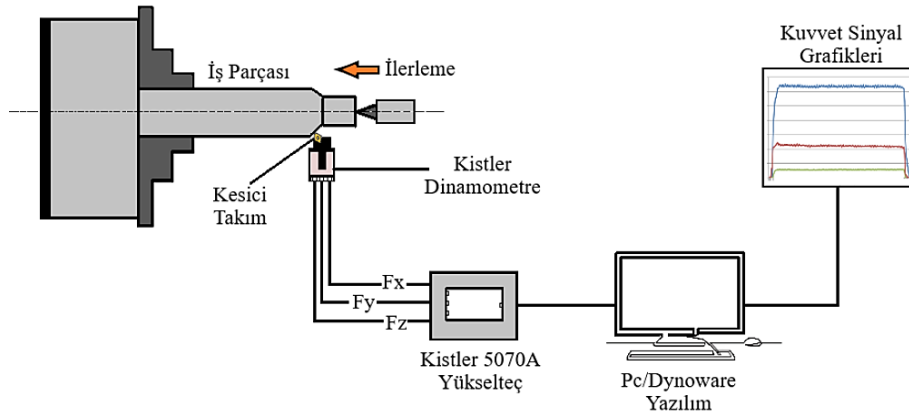
Al-Si esaslı alaşımlar, endüstriyel uygulamalarda genellikle döküm yöntemleri ile üretilmektedir. Döküm yöntemleri ile üretilen komponentlerin bazı durumlarda mekanik sistemlerde doğrudan kullanımı mümkün olmamaktadır. Özellikle, birbiri ile temas halinde çalışacak yüzeyler için tormalama, frezeleme ve delme gibi talaşlı imalat operasyonlarının uygulanması gerekmektedir. Talaşlı imalat operasyonlarında ise işlenecek olan yüzeylerin kalitesi, geometrik ve boyutsal tolerans şartlarının sağlanması mekanik bileşenlerin servis ömürleri üzerinde önemli etkiye sahiptir. Bunun için kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması gibi işlenebilirlik çıktılarını doğrudan etkileyen kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği bağımsız değişken parametrelerinin kontrol altına alınması gerekmektedir (Hekimoğlu & Bayraktar, 2022b). Yapısal ve mekanik özelliklerinin sağlanması olduğu avantajlardan dolayı özellikle otomotiv sektöründe içten yanmalı motor bileşenleri için tercih edilen Al-Si esaslı alaşımların işlenebilirliği üzerine literatürde çalışmalar yapılmaya devam etmektedir. Bunlardan bazılarında; Bayraktar ve Demir, dökülmüş ve T6 ısıtılmış durumdaki Al-12Si-0,6Mg alaşımının karbür kesici takımlar ile tormalanmasında kesme hızının artmasına bağlı olarak kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve yığıntı talaş (YT) oluşumu azalırken ilerlemedeki artış ile arttığını ve ısıtma işleminin işlenebilirlik özelliklerini iyileştirdiğini (Bayraktar & Demir, 2020), Bayraktar ve Hekimoğlu, Al-12Si-0,1Sr alaşımının PVD-TiAlN/TiN kaplamalı karbür ile tormalanmasında kesme hızındaki artış ile kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve YT oluşumu azalırken, ilerlemedeki artış ile arttığını (Bayraktar & Hekimoğlu, 2022), Gai vd., Al-Si piston alaşımının PCD (Polycrystalline Diamond) takımlar ile farklı kesme hızı (150, 200, 250 ve 300 m/dak), ilerleme (0,05; 0,1; 0,15 ve 0,2 mm/dev) ve kesme derinliği (0,1; 0,2; 0,3 ve 0,4 mm) şartları altında tormalanmasında, kesme derinliğinin artması ile kesici takım-talaş etkisine bağlı artan titreşimden dolayı yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetinin arttığını, 200-250 m/dak kesme hızı aralığı ve düşük kesme derinliği kullanılarak düşük yüzey pürüzlülüğünün elde edilebileceğini tespit etmişlerdir (Gai vd., 2022). Razin vd., Al esaslı otomotiv alaşımlarında HSS (High speed steel) takımla farklı işleme parametreleri kullanılarak işlenmiş yüzey kalitesi üzerinde Si elementinin etkisini inceledikleri çalışmada, kesme hızı ve kesme derinliğinin artması ile yüzey pürüzlülüğünün azaldığını, yüzey pürüzlülüğünün azalmasında yüksek kesme hızının yüksek kesme sıcaklığı ile alaşım malzemesinin akma mukavemetini düşürmesinden dolayı daha etkili olduğunu ve Si oranının artması ile daha iyi yüzey kalitesinin elde edildiğini (Razin vd., 2022), Hekimoğlu ve Bayraktar, Al-9Si alaşımında Sr ve Mg ilavelerinin tormalama işleminde kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini inceledikleri çalışmada, Mg ilavesinin kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve YT oluşumunu azalttığını (Hekimoğlu & Bayraktar, 2022a), Bayraktar ve Afyon, çinko (Zn) ve bakır (Cu) ilave edilmiş Al-7Si alaşımının delinmesinde Cu ilavesinin minimum ilerleme kuvveti, tork, yüzey pürüzlülüğü ve YT oluşumuna katkı sağladığını (Bayraktar & Afyon, 2020), Basavakumar vd., Al-Si esaslı alaşımların işlenmesinde parlatılmış CVD elmas kaplamalı kesicilerin kaplamasız ve PVD kaplamalı kesicilere göre daha düşük kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve YT oluşumu sergilediğini ve içyapıda ötektik elementlerin boyutundaki artış ile yüzey pürüzlülüğünün arttığını (Basavakumar vd., 2007) ve Braga vd., MQL (Minimum quantity lubricant) ile Al-Si alaşımının elmas kaplamalı matkap ile yüksek ilerleme oranlarında delinmesinde YT'nin oluştuğunu ve kaplamasız karbür kesicilerin elmas kaplamalı kesicilerden daha iyi işlenebilirlik performansını sergilediğini tespit etmişlerdir (Braga vd., 2002). Al-Si esaslı Al-9Si-0,1Sr-0,6Mg alaşımı literatüre yeni sunulmuş üstün mekanik özelliklere sahip bir alaşım olup, bu alaşımın işlenebilirlik

özellikleri konusunda yeterince çalışma bulunmamaktadır. Bu nedenle, bu çalışmada, kesme hızı ve ilerleme değişkenlerinin Al-9Si-0,1Sr-0,6Mg alaşımının tornalanmasındaki kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması gibi işlenebilirlik özellikleri üzerindeki etkilerinin deneysel olarak incelenmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada incelenen Al-9Si-0,1Sr-0,6Mg alaşımı, %99,8 saflıkta alüminyum, %99,9 saflıkta Si ve Mg ve Al-15Sr master alaşımı kullanılarak kalıcı kalıba döküm yöntemiyle üretildi. Alaşımın üretiminde literatürde teknik detayları verilen kalıp kullanılmıştır (Hekimoğlu & Çalış, 2020a; Hekimoğlu & Çalış, 2020b; Hekimoğlu & Savaskan, 2014; Savaşkan & Turhal, 2003). Döküm sıcaklığı, 750 °C olarak uygulandı ve ergimiş alaşım oda sıcaklığındaki kalıba dökülerek katılaştırıldı. Üretilen alaşımın kimyasal bileşimi, ICP-OES yöntemiyle doğrulandı. İç yapı incelemeleri, üretilen alaşım külçesinden talaşlı işleme hazırlanan numuneler üzerinde gerçekleştirildi. Mikroskobik incelemelerden önce metalografi numunesi standart yöntemler ile zımparalama ve parlatma işlemine tabi tutuldu. Parlatılan numuneler, dağlama yapılmadan incelendi ve iç yapısını gösteren optik mikroskop görüntüleri alındı.

İşlenebilirlik testleri, 10 kW güç ve maksimum 6000 dev/dak özelliklerine sahip Johnford TC-35 marka CNC torna tezgahında gerçekleştirilmiştir. Test alaşımının tornalanması esnasında kesme kuvvetinin tespiti için F_x , F_y ve F_z kuvvet bileşenleri dikkate alınmıştır. Bu kuvvet bileşenlerine ait titreşim sinyallerinin tespitinde Kistler 9257A dinamometre, bu sinyallerin anlamlı hale dönüştürülebilmesi için Kistler 5070A yükselteç ve grafiklere dönüştürülmesinde Dynoware yazılım kullanılmıştır (Şekil 1). Elde edilen kuvvet bileşenlerinin bileşkesi alınarak nihai kesme kuvveti belirlenmiştir (Bayraktar & Hekimoğlu, 2023; Hekimoğlu & Bayraktar, 2022a).

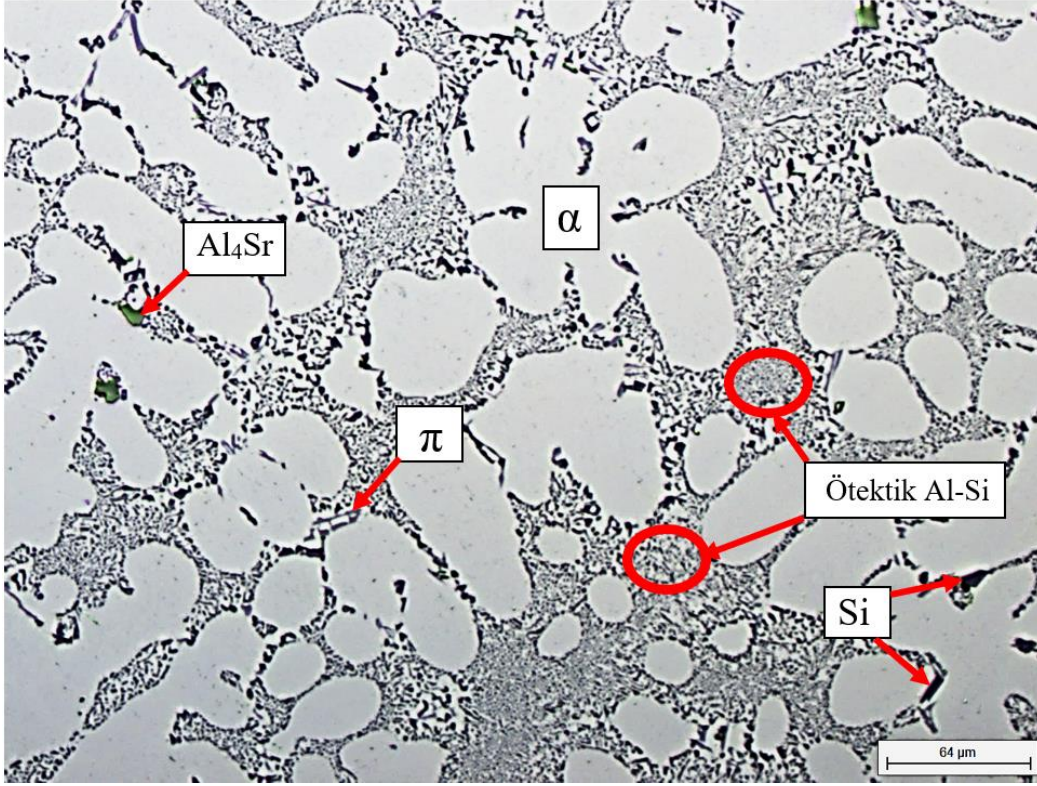


Şekil 1. Tornalama testleri için deneysel düzenek

İşlenebilirlik testleri, Sandvik coromant marka DCGX 11T304 kodlu kaplamasız karbür kesici uçlar ile gerçekleştirildi. Testlerde kesme parametreleri olarak 250, 400 ve 550 m/dak kesme hızları, 0,05; 0,15 ve 0,25 mm/dev ilerleme değerleri ve 1,5 mm sabit kesme derinliği kullanıldı. Kesme parametreleri, kesici takım üretici firma tavsiyesi ve literatürde yapılan çalışmalara göre belirlenmiştir (Dos Santos vd., 2007; Marani vd., 2018). Ortalama yüzey pürüzlülüğü ölçümleri, 0,8 mm örnekleme ve 4 mm ölçme uzunlukları dikkate alınarak ISO 4287 standardına göre Mahr Perthometer izleyici uçlu cihaz ile her bir işlenmiş yüzeyden beşer adet ölçüm alınarak gerçekleştirildi. Elde edilen bu ölçümlerin aritmetik ortalaması ile nihai ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri belirlenmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

Al-9Si-0,1Sr-0,6Mg alaşımının iç yapısını gösteren fotoğraf Şekil 2'de, kimyasal analiz sonucu Tablo 1'de verilmektedir. Bu fotoğraftan da anlaşılacağı üzere söz konusu alaşımın iç yapısının birincil Al dendritlerinden, Si parçacıkların küresele yakın morfolojiye sahip olduğu ötektik Al-Si faz bölgelerinden, ötektik dışı birincil Si parçacıklarından, Al_4Sr ve π fazlarından oluşmaktadır. Al-Si alaşımlarında bu fazların oluşumu literatürde (Hekimoğlu & Ayata, 2019; Hekimoğlu & Bayraktar, 2022a; Hekimoğlu vd., 2018; Hekimoğlu vd., 2019) detaylı olarak sunulmuş olup, iç yapı incelemelerinden elde edilen bulgular literatürdeki çalışmalarla uyumlu çıkmıştır. Ötektik Al-Si faz bölgelerindeki Si parçacıklarının küresel şekilli olmasının literatürde de ifade edildiği gibi Sr modifiye edici etkisinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Hekimoğlu & Ayata, 2019; Hekimoğlu & Bayraktar, 2022a; Hekimoğlu vd., 2018; Hekimoğlu vd., 2019).

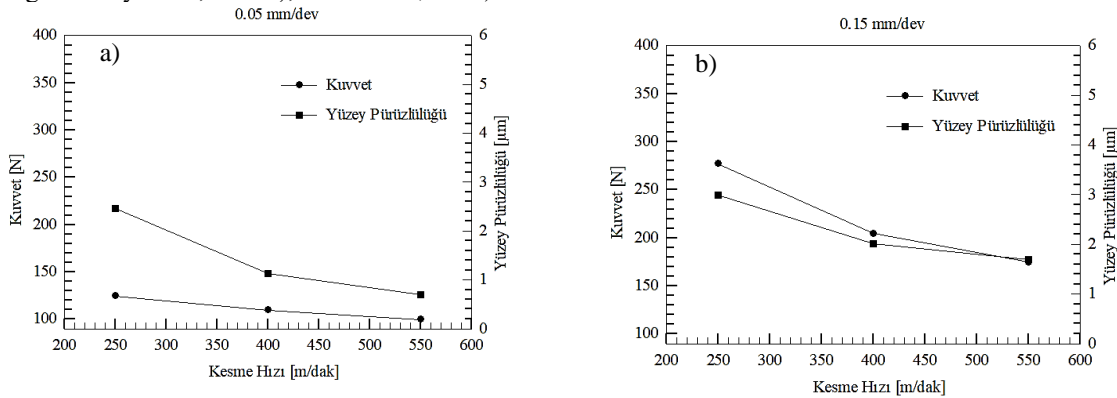


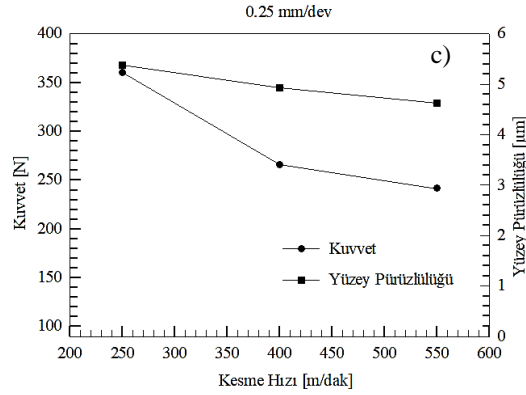
Şekil 2. Al-9Si-0,1Sr-0,6Mg alaşımının iç yapısına ait mikroskop görüntüsü

Tablo 1. Üretilen Al-9Si-0,1Sr-0,6Mg alaşımının kimyasal bileşimi (% ağırlık)

Si	Sr	Mg	Al	Fe	P, V, Zn, Zr, Cu, Mn, Ni, Pb, Sn, Ti, Cr
9,2	0,12	0,63	Kalan	1,2	0,28

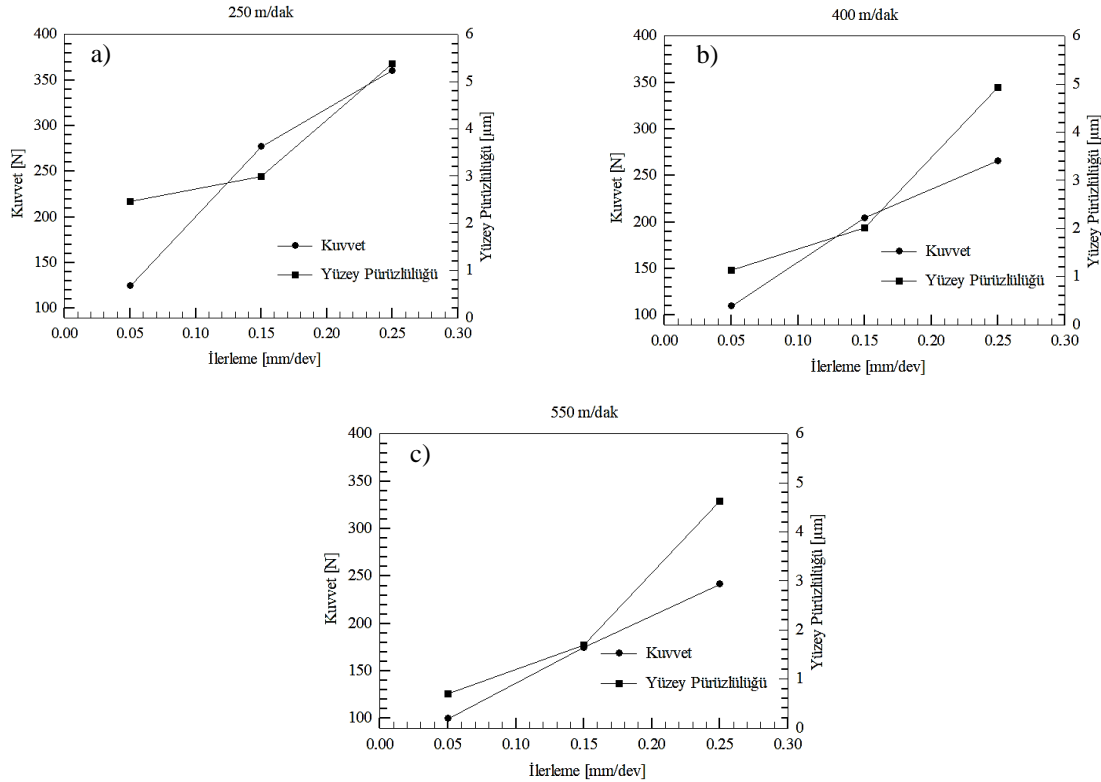
Üretilen alaşımın sabit ilerlemedeki kesme hızı-kesme kuvveti ve kesme hızı-yüzey pürüzlülüğü grafikleri, Şekil 3'te verilmiştir. 0,05 mm/dev sabit ilerlemede kesme hızının 250 m/dak'dan 550 m/dak'ya artması ile kesme kuvveti %24,95 ve yüzey pürüzlülüğü %254,69 oranında azalırken, sabit 0,25 mm/dev ilerleme değerinde sırasıyla bu değerlerin %49,30 ve %16,46 oranında azaldığı görülmüştür. Kesme hızındaki artış ile kesici takım ile talaş arayüzeyinde birincil deformasyon bölgesindeki sıcaklık artmakta ve alaşım malzemesinin akma mukavemeti azalmaktadır. Akma mukavemetindeki bu azalma, malzemenin plastik deformasyonunu kolaylaştırarak kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğünün azalmasına katkıda bulunmaktadır (Şekil 3) (Acır vd., 2009; Bayraktar vd., 2019; Hekimoğlu & Bayraktar, 2022b); Korkut vd., 2007)





Şekil 3. Sabit ilerleme şartlarında kesme hızının kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi, a) 0,05 mm/dev, b) 0,15 mm/dev ve c) 0,25 mm/dev

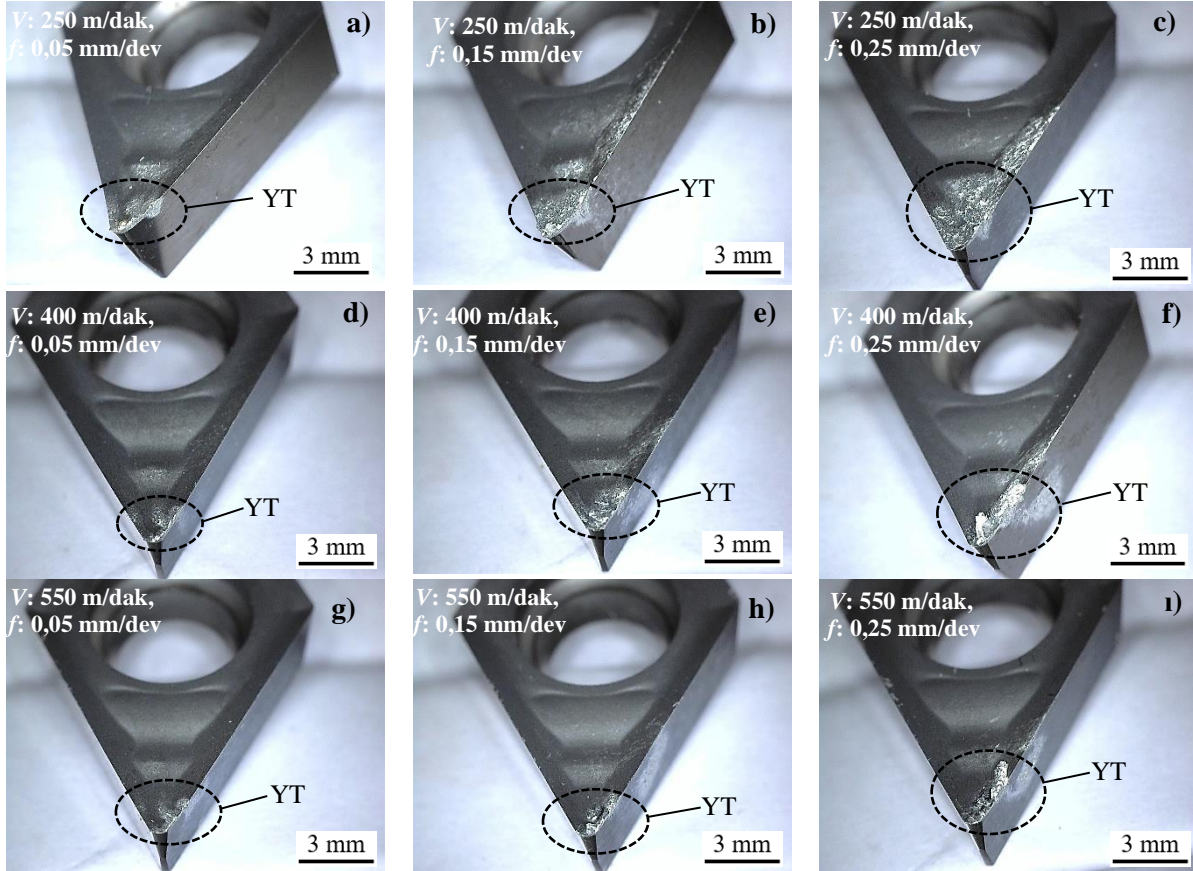
Sabit kesme hızında ilerleme-kesme kuvveti ve ilerleme-yüzey pürüzlülüğü grafikleri, Şekil 4'te verilmiştir. 250 m/dak sabit kesme hızında ilerlemenin 0,05 mm/dev'den 0,25 mm/dev'e artması ile kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü sırasıyla %189,75 ve %119,08 oranında artarken, sabit 550 m/dak kesme hızında bu değerlerin sırasıyla %142,50 ve %567,24 oranında arttığı tespit edilmiştir. İlerlemenin artmasına bağlı olarak birim zamanda kaldırılması gereken talaş hacminin artması kesme kuvvetini arttırmaktadır. Aynı zamanda ilerlemedeki bu artış, takım-talaş arayüzeyinde sürtünme yüzey alanının artmasına neden olarak kesme kuvvetini arttırdığı düşünülmektedir (Bayraktar & Demir, 2020; Bayraktar vd., 2020; Bayraktar & Çamkerten, 2020; Korkut & Dönertas, 2007). Şekil 3 ve 4'teki grafikler incelendiğinde en düşük kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü değerlerinin testler kapsamında kullanılan en yüksek kesme hızı (550 m/dak) ve en düşük ilerleme değerlerinde (0,05 mm/dev) ölçüldüğü tespit edilmiştir.



Şekil 4. Sabit kesme hızı şartlarında, ilerlemenin kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi, a) 250 m/dak, b) 400 m/dak ve c) 550 m/dak

İlerlemenin artması ile yüzey pürüzlülüğünün arttığı belirlenmiştir (Şekil 4). Bu durumun takım-talaş arayüzey temas alanının artmasından ve kesici takımın aşınma eğilimine girmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Şekil 5). Ayrıca, $R_a = f^2/32r$ ifadesine göre ortalama yüzey pürüzlülüğünün doğru orantılı ilişkiden dolayı ilerlemenin artması ile artacağı gözlenmektedir. Bu ifadede R_a : ortalama yüzey pürüzlülüğünü, f : ilerlemeyi ve r : kesici uç yarıçapını temsil etmektedir (Hekimoğlu & Bayraktar, 2022b; Özel & Karpat, 2005). İşleme deneyleri esnasında kesici takımlarda YT oluşumu gözlenmiştir (Şekil 5). Kesme esnasında ilk aşamada kesici takım talaş yüzeyinde YT'ye neden olan Al esaslı bir tabaka oluşmaktadır. Bu tabaka oluşumunun kesici takım-talaş arasındaki

sıkıştırma kuvvetlerinin etkisi ile ergiyen metalik matris malzemenin ekstrüzyonu ile yakından ilişkili olduğu ve talaşın yüksek oranda ergiyen Al-Si-Sr-Mg kalıntılarını kesici takım talaş yüzeyinde süpürerek YT oluşumuna neden olduğu düşünülmektedir. Oluşan bu tabakanın sertliğinin takım sertliğinden daha düşük olduğu ve kesme sıcaklıklarını düşürerek kesici takım-talaş arayüzeyinde talaşın birikmesine neden olduğu literatürdeki çalışmalarda da ortaya konulmuştur (Bayraktar & Demir, 2020; Carrilero vd., 2002; Dinaharan vd., 2023). Deneylerde, kesme hızının artması ile YT oluşumunun azaldığı tespit edilmiştir (Şekil 5.c, f ve ı). YT oluşumundaki azalmanın kesme hızındaki artışın etkisi ile iş parçası malzemesi ile kesici ucun daha kısa süre temas halinde olmasından ve kesici takım-talaş arayüzey sıcaklığının artmasının sonucu olarak iş parçası malzemesinin akma mukavemetinin azalmasının ile kesme işleminin kolaylaşmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu durum, aynı zamanda işlenmiş yüzeyin kalitesini de arttırmaktadır (Aamir vd., 2020; Bayraktar & Hekimoğlu, 2023; Dwivedi vd., 2012; Fathipour vd., 2013;).



Şekil 5. Farklı kesme hızı ve ilerleme değerlerinde kesici takımında YT oluşumu, a) V: 250 m/dak, f: 0,05 mm/dev, b) V: 250 m/dak, f: 0,15 mm/dev, c) V: 250 m/dak, f: 0,25 mm/dev, d) V: 400 m/dak, f: 0,05 mm/dev, e) V: 400 m/dak, f: 0,15 mm/dev, f) V: 400 m/dak, f: 0,25 mm/dev, g) V: 550 m/dak, f: 0,05 mm/dev, h) V: 550 m/dak, f: 0,15 mm/dev ve ı) V: 550 m/dak, f: 0,25 mm/dev

4. Sonuçlar

Al-Si esaslı alaşımlar, endüstride içten yanmalı motor, elektrik motoru, pompa gövdesi, silindir başlığı, piston ve dişli kutusu üretiminde yüksek özgül mukavemet, kolay ve ekonomik dökülebilirlik özelliklerinden dolayı yaygın olarak tercih edilmektedir. Bu alaşımların döküm sonrası mekanik sistemlerde nihai ürün olarak kullanılabilmesi için işlenebilirlik özelliklerinin önceden bilinmesi önem taşımaktadır. Bu çalışmada, döküm yöntemiyle imal edilen Al-9Si-0,1Sr-0,6Mg alaışımının tornalama işleminde farklı kesme hızı ve ilerleme bağımsız değişkenlerinin kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Al-9Si-0,1Sr-0,6Mg alaışımının içyapısı, birincil Al dendritlerinden, küresel morfolojiye sahip Si parçacıkları içeren ötektik Al-Si faz bölgelerinden, ötektik dışı Si parçacıklarından, Al₄Sr ve π fazlarından oluşmaktadır.
- Kesme hızının artması ile kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü azalırken, ilerlemenin artması ile artmıştır.
- Kesme hızının artması ile YT oluşumunun azaldığı gözlenirken, ilerlemenin artması ile artmıştır.
- İşlenebilirlik testleri sonucunda minimum kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve YT oluşumu için 550 m/dak kesme hızı ve 0,05 mm/dev ilerleme parametrelerinin kullanılabileceği tespit edilmiştir.

Referanslar

- Aamir, M., Tolouei-Rad, M., Giasin, K., & Vafadar, A. (2020). Machinability of Al2024, Al6061, and Al5083 alloys using multi-hole simultaneous drilling approach. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(5), 10991-11002. doi: 10.1016/j.jmrt.2020.07.078.
- Abouei, V., Shabestari, S. G., & Saghafian, H. (2010). Dry sliding wear behaviour of hypereutectic Al–Si piston alloys containing iron-rich intermetallics. *Materials Characterization*, 61(11), 1089–1096. doi: 10.1016/j.matchar.2010.07.001.
- Acır, A., Turgut, Y., Übeyli, M., Günay, M., & Şeker, U. (2009). A study on the cutting force in milling of boron carbide particle reinforced aluminium composite. *Science and Engineering of Composite Materials*, 16(3), 187-196. doi:10.1515/SECM.2009.16.3.187.
- Arthanari, S., Jang, J. C., & Shin, K. S. (2018). Corrosion studies of high pressure die-cast Al-Si-Ni and Al-Si-Ni-Cu alloys. *Journal of Alloys and Compounds*, 749, 146–154. doi: 10.1016/j.jallcom.2018.03.246
- Ayata, G. (2018). Bor, stronsiyum ve/veya magnezyum katkılarının Al-Si alaşımlarının yapısal ve mekanik özelliklerine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Rize, Türkiye.
- Basavakumar, K. G., Mukunda, P. G., & Chakraborty, M. (2007). Influence of melt treatments and turning inserts on cutting force and surface integrity in turning of Al–12Si and Al–12Si–3Cu cast alloys. *Surface and Coating Technology*. 201(8), 4757–4766. doi:10.1016/j.surfcoat.2006.10.015.
- Bayraktar, Ş., & Afyon, F. (2020). Machinability Properties of Al–7Si, Al–7Si–4Zn and Al–7Si–4Zn–3Cu Alloys. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 42, 1-12. doi:10.1007/s40430-020-02281-x.
- Bayraktar, Ş., & Çamkerten, Ç. Al-25Zn-3Cu-3Si Alaşımının İşlenmesinde Kaplamasız ve CVD-TiCN Kaplamalı Kesici Uçların Kesme Performansının Karşılaştırılması. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 12(2), 618-623. doi: 10.29137/umagd.705125.
- Bayraktar, Ş., Çamkerten, Ç., & Salihoğlu, N. (2020). Bakır ve Silisyum İlavelerinin Al-25Zn Alaşımının CVD Al₂O₃ Kaplamalı Takımlarla Tornalanmasında İşlenebilirliğe Etkisinin İncelenmesi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 8, 79-93. doi: 10.29109/gujsc.618229.
- Bayraktar, Ş., & Demir, O. (2020). Processing of T6 heat-treated Al-12Si-0.6 Mg alloy. *Materials and Manufacturing Processes*, 35(3), 354-362. doi:10.1080/10426914.2020.1732412.
- Bayraktar, Ş., & Hekimoğlu, A. P. (2022). Al-12Si-0.1Sr alaşımının PVD-TiAlN/TiN kaplamalı kesici ile işlenmesinde işlenebilirlik özellikleri üzerine deneysel araştırma. 5. International Conference on Materials Science, Mechanical and Automotive Engineering and Technology. Nevşehir, Türkiye.
- Bayraktar, Ş., & Hekimoğlu, A. P. (2023). Performance evaluation of different carbide inserts in turning of newly developed Al-12Si-0.1 Sr alloy. *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik*, 54(1), 120-128. doi:10.1002/mawe.202200148.
- Bayraktar, Ş., & Hekimoğlu, A. P., & Çalış M. (2019). Al-12Si-0,1Sr Alaşımının Sermet Kesiciler ile Tornalanmasında Kesme Hızı ve İlerlemenin Kesme Kuvveti ve Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi. 4nd International Conference on Material Science and Technology in Kızılcahamam (IMSTEC'19), Ankara, Türkiye.
- Braga, D. U., Diniz, A.E., Miranda, G. W., & Coppini, N. L. (2002). Using a minimum quantity of lubricant (MQL) and a diamond coated tool in the drilling of aluminum–silicon alloys. *Journal of Materials Processing Technology*, 122(1), 127-138. doi:10.1016/S0924-0136(01)01249-3.
- Campbell, J. (2011). *Complete Casting Handbook*, Amsterdam, Elsevier Science.
- Carrilero, M. S., Bienvenido, R., Sanchez, J. M., Alvarez, M., Gonzalez, A., & Marcos, M. A. (2002). SEM and EDS insight into the BULand BUE differences in the turning processes of AA2024 Al–Cu alloy. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 42(2), 215–220. doi:10.1016/S0890-6955(01)00112-2.
- Davis, J. R. (2001). *Alloying: Understanding the Basics*. Materials Park, Ohio, ASM International.

Dinaharan, I., David Raja Selvam, J., Jose, J., & Palanivel, R. (2023). Influence of fly ash particles on machining characteristics of AA6061 aluminum matrix composites produced using semisolid slurry casting. *Transactions of the Indian Institute of Metals*, 1-6. doi.org/10.1007/s12666-022-02869-y.

Dos Santos, G. R., da Costa, D. D., Amorim, F. L., & Torres, R. D. (2007). Characterization of DLC thin film and evaluation of machining forces using coated inserts in turning of Al-Si alloys. *Surface and Coatings Technology*, 202(4-7), 1029-1033. doi: 10.1016/j.surfcoat.2007.07.100.

Dwivedi, S. P., Kumar, S., & Kumar, A. (2012). Effect of turning parameters on surface roughness of A356/5% SiC composite produced by electromagnetic stir casting, *Journal of Mechanical Science and Technology*, 26, 3973-3979. doi:10.1007/s12206-012-0914-5.

Fathipour, M., Hamed, M., & Yousefi, R. (2013). Numerical and experimental analysis of machining of Al (20 vol% SiC) composite by the use of ABAQUS software. *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik*, 44(1), 14-20. doi:10.1002/mawe.201300959.

Gai, S., Li, A., Liu, J., Gong, Z., & Zhao, J. (2022). Effect of surface roughness on stress concentration factor of machined surface and cutting parameter optimization in boring of Al-Si piston alloy. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 121(5-6), 4129-4140. doi:10.1007/s00170-022-09597-z.

Hafiz, M. F., & Kobayashi, T. (1994). Mechanical properties of modified and nonmodified eutectic Al-Si alloys. *Journal of Japan Institute of Light Metals*, 44(1), 28-34. doi:10.2464/jilm.44.28.

Hekimoğlu, A. P., & Ayata G. (2019). Effect of strontium and strontium-magnesium additions on the microstructure and mechanical properties of hypereutectic Al-17Si alloy, *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 25(1), 49-55. doi:10.5505/pajes.2018.46343.

Hekimoğlu, A. P., & Bayraktar, Ş. (2022)a. Experimental research on machinability characteristics of Al-9Si alloy: Effect of Sr and Mg additives, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part B-Journal of Engineering Manufacture*, 236(13), 807-1816. doi:10.1177/09544054221092.

Hekimoğlu, A. P., & Bayraktar, Ş. (2022)b. Kokil Kalıba Döküm Yöntemi ile Üretilmiş Al-12Si-(0, 02-1) Sr Alaşımlarının CVD-TiCN/Al₂O₃/TiN Kaplamalı Kesici Uç ile Tornada İşlenmesinde Kesme Kuvveti ve Yüzey Pürüzlülüğü Üzerine Deneysel Çalışma. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 10(1), 50-62.

Hekimoğlu, A. P., & Çalış, M. (2020)a. Effect of grain refinement with titanium on the microstructure, mechanical and corrosion properties of Al-25Zn alloy, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 35(1), 311-322. doi:10.17341/gazimmfd.464676.

Hekimoğlu, A. P., & Çalış, M. (2020)b. Effects of titanium addition on structural, mechanical, tribological, and corrosion properties of Al-25Zn-3Cu and Al-25Zn-3Cu-3Si alloys, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 30(2), 303-317. doi:10.1016/S1003-6326(20)65214-1.

Hekimoğlu, A. P., & Hacıosmanoğlu, M. (2018). Microstructure and mechanical properties of Al-(2-30)Si alloys. *3rd International Conference on Material Science and Technology in Cappadocia, Nevşehir, Türkiye*.

Hekimoğlu, A. P., & Savaskan, T. (2014). Structure and mechanical properties of Zn-(5-25)Al alloys, *International Journal of Materials Research*, 105(11), 1084-1089. doi: 10.3139/146.111116.

Hekimoğlu, A. P., Çalış M., & Ayata, G. (2018). Stronsiyum ve stronsiyum magnezyum katkılarının Al-9Si alaşımının yapısal ve mekanik özelliklerine etkisi. *1st International Symposium on Innovative Approaches in Scientific Studies, Antalya, Türkiye*.

Hekimoğlu, A.P., Çalış, M., & Ayata, G. (2019). Effect of strontium and magnesium additions on the microstructure and mechanical properties of Al-12Si alloys. *Metals and Materials International*, 25, 1488-1499. doi:10.1007/s12540-019-00429-6.

- Javidani, M., & Larouche, D. (2014). Application of cast Al–Si alloys in internal combustion engine components. *International Materials Reviews*, 59(3), 132–158. doi:10.1179/1743280413Y.0000000027
- Korkut, I., Boy, M., Karacan, I., & Seker, U. (2007). Investigation of Chip-Back Temperature During Machining Depending on Cutting Parameters. *Materials & Design*, 28 (2329-2335). doi: 10.1016/j.matdes.2006.07.009.
- Korkut, I., & Donertas, M. A. (2007). The influence of feed rate and cutting speed on the cutting forces, surface roughness and tool–chip contact length during face milling. *Materials & design*, 28(1), 308-312. doi: 10.1016/j.matdes.2005.06.002.
- Li, Q., Li, B., Li, J., Xia, T., Lan, Y., & Guo, T. (2017). Effects of the addition of Mg on the microstructure and mechanical properties of hypoeutectic Al-7Si alloy. *International Journal of Metalcasting*, 11, 823–830. doi:10.1007/ s40962-016-0131-6.
- Li, Y., Yang, Y., Wu, Y., Wang, L., & Liu, X. (2010). Quantitative comparison of three Ni-containing phases to the elevated-temperature properties of Al–Si piston alloys. *Materials Science and Engineering: A*, 527(26), 7132–7137. doi:10.1016/j.msea.2010.07.073.
- Marani, M., Songmene, V., Kouam, J., & Zedan, Y. (2018). Experimental investigation on microstructure, mechanical properties and dust emission when milling Al-20 Mg 2 Si-2Cu metal matrix composite with modifier elements. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 99, 789-802. doi.org/10.1007/s00170-018-2491-y.
- Nikanorov, S. P., Volkov, M. P., Gurin, V. N., Burenkov, Y. A., Derkachenko, L. I., Kardashev, B. K., & Wilcox, W. R. (2005). Structural and mechanical properties of Al–Si alloys obtained by fast cooling of a levitated melt. *Materials Science and Engineering: A*, 390(1-2), 63–69. doi:10.1016/j.msea. 2004.07.037
- Özel, T., & Karpat, Y. (2005). Predictive Modeling of Surface Roughness and Tool Wear in Hard Turning Using Regression and Neural Networks. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 45, 467-479. doi: 10.1016/j.ijmactools.2004.09.007.
- Prabhudev, M. S., Auradi, V., Venkateswarlu, K., Siddalingswamy, N. H., & Kori, S. A. (2014). Influence of Cu addition on dry sliding wear behaviour of A356 alloy. *Procedia Engineering*, 97, 1361–1367. doi:10.1016/j.proeng.2014.12.417.
- Rainen, R. A., & Ekvall, J. C. (1988). Elevated-temperature Al alloys for aircraft structure. *Journal of Metals*, 40(5), 16–18. doi:10.1007/BF03258903.
- Razin, A. A., Ahammed, D. S., Nur, M. A., & Kaiser, M. S. (2022). Role of Si on machined surfaces of Al-based automotive alloys under varying machining parameters. *Journal of Mechanical and Energy Engineering*, 6(1), 43-52. doi:10.30464/jmee.2021.6.1.43.
- Santos, H. de O., Reis, F. M. dos, Kuniyoshi, C. T., Rossi, J. L. & Costa, I. (2005). Corrosion performance of Al-Si-Cu hypereutectic alloys in a synthetic condensed automotive solution. *Materials Research*, 8(2), 155–159. doi:10.1590/ s1516-14392005000200011.
- Savaşkan, T., & Turhal, M.Ş. (2003). Turhal, Relationships between cooling rate, copper content and mechanical properties of monotectoid based Zn–Al–Cu alloys, *Materials Characterization*, 51(4), 259-270. doi:10.1016/j.matchar.2003.12.003.
- Shaha, S. K., Czerwinski, F., Kasprzak, W., Friedman, J. & Chen, D.L. (2015). Effect of solidification rate and loading mode on deformation behavior of cast Al-Si-Cu-Mg alloy with additions of transition metals. *Materials Science and Engineering A*, 636, 361–372. doi:10.1016/j.msea.2015.03.077.
- Zeren, M. (2007). The effect of heat-treatment on aluminum-based piston alloys. *Materials and Design*, 28(9), 2511–2517. doi: 10.1016/j.matdes.2006.09.010.