

## Investigation of the Effect on Copper and Silicon Additives on Machinability in Turning of Al-25Zn Alloy with CVD-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Coated Tools

Şenol BAYRAKTAR<sup>1\*</sup>  Çiğdem ÇAMKERTEN<sup>2</sup> Nurten SALİHOĞLU<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Recep Tayyip Erdoğan University Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, 53100, Merkez/RİZE

### Graphical/Tabular Abstract

In this study, Al-25Zn-3Cu and Al-25Zn-3Cu-3Si alloys were obtained by adding Copper (Cu) and Silicon (Si) to Al-25Zn alloy using induction melting and permanent mold casting method. Microstructural and mechanical properties of alloys were determined. The internal structure of Al-25Zn consisted of  $\alpha$  and  $\eta$  phases, while the internal structure of Al-25Zn-3Cu consisted of  $\alpha$ ,  $\alpha + \eta$  and  $\theta$  phases. In addition to these phases, eutectic and primary silicon particles were observed in the internal structure of Al-25Zn-3Cu-3Si. It was determined with the addition of Cu and Si that the hardness, yield and tensile strength of the alloy was increased and the breaking elongation was reduced. In addition, the machinability of these alloys in turning process was investigated experimentally and the effect of Cu and Si on machinability was revealed. As a result of cutting experiments, the highest cutting force was measured in Al-25Zn-3Cu-3Si alloy while the lowest cutting force was measured in Al-25Zn-3Cu alloy. The highest surface roughness value was measured in the Al-25Zn-3Cu-3Si alloy at all cutting speeds, while the lowest was in the Al-25Zn alloy.

### Article Info:

Research article

Received: 10/09/2019

Revision 01/12/2019

Accepted: 21/12/2019

### Highlights

- Al-25Zn alloy.
- Cutting tool performance
- Machinability properties

### Keywords

Al-Zn Alloy  
 Microstructure  
 Cu and Si Additives  
 Machinability  
 Cutting Force  
 Surface Roughness

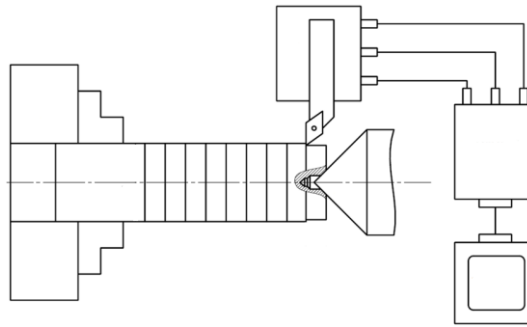


Figure A. Experimental setup

**Purpose:** In this study, it was aimed to investigate the effect of Cu and Si on the machinability properties of Al-25Zn alloy.

**Theory and Methods:** Firstly, microstructural and mechanical properties of alloys were determined by optical microscope and universal test methods, respectively. Cutting force and roughness values were measured with the Kistler dynamometer and surface roughness measuring device, respectively. The cutting performance of CVD-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> inserts was evaluated by imaging the adhesion formed at the insert with SEM (Scanning Electron Microscope).

**Results:** The addition of Cu and Si to the Al-25Zn alloy increased the hardness, yield and tensile strength of the alloy, while reducing the breaking elongation. Si element was found to worsen the machinability properties of alloy, but copper improved.

**Conclusion:** In this study, the effect of Cu and Si on microstructural, mechanical and machinability properties of Al25-Zn alloy was presented. The results show that Cu and Si have a significant effect on the microstructural and mechanical properties and cutting performance of the alloy.



## Bakır ve Silisyum İlavelerinin Al-25Zn Alaşımının CVD-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Kaplamalı Takımlarla Tornalanmasında İşlenebilirliğe Etkisinin İncelenmesi

Şenol BAYRAKTAR<sup>1\*</sup>  Çiğdem ÇAMKERTEN<sup>1</sup> Nurten SALİHOĞLU<sup>1</sup>

<sup>1,2,3</sup> Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği, 53100, Merkez/RİZE

### Öz

Bu çalışmada, bakır (Cu) ve silisyum (Si) katkılarının Al-25Zn alaşımının mekanik ve işlenebilirlik özellikleri üzerindeki etkisi deneysel olarak incelenmiştir. İkili Al-25Zn, üçlü Al-25Zn-3Cu ve dördü Al-25Zn-3Cu-3Si alaşımlar induksiyonla ergitme ve kokil kalıba döküm yöntemi ile üretilerek mikroyapı ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Kesme deneyleri, CNC torna tezgâhında CVD-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplamalı takım ile üçer farklı kesme hızı (250-350-450 m/dak) ve ilerleme (0,05-0,1-0,15 mm/dev) ile birlikte 1,5 mm sabit kesme derinliği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Al-25Zn alaşımının iç yapısının alüminyumca zengin  $\alpha$  dendritlerinden ve çinkoca zengin interdendritik  $\eta$  fazından oluştuğu gözlenmiştir. Bu alaşıma yapılan %3 Cu ilavesi ile iç yapıda intermetalik  $\alpha$  ve  $\alpha+\eta$  fazı ile birlikte  $\theta$  fazının oluştuğu, Al-25Zn-3Cu alaşımına yapılan %3 Si ilavesi ile  $\alpha$ ,  $\alpha+\eta$ ,  $\theta$  fazlarının yanı sıra ötektik ve primer silisyum parçacıklarının oluştuğu tespit edilmiştir. Al-25Zn alaşımına Cu ve Al-25Zn-3Cu alaşımına ise Si ilavesi ile sertlik, akma ve çekme dayanımının arttığı, kopma uzamasının azaldığı belirlenmiştir. İşlenebilirlik deneyleri sonucunda, kesme kuvvetlerinin en yüksek Al-25Zn-3Cu-3Si en düşük ise Al-25Zn-3Cu alaşımlarının işlenmesinde ölçüldüğü gözlenmiştir. En düşük yüzey pürüzlülüğü değerlerinin tüm kesme hızlarında ve 0,05-0,1 mm/dev ilerleme oranlarında Al-25Zn alaşımında ve 0,15 mm/dev ilerlemede ise Al-25Zn-3Cu alaşımında ölçüldüğü tespit edilmiştir. En yüksek yüzey pürüzlülüğü değerleri ise tüm kesme hızlarında Al-25Zn-3Cu-3Si alaşımında olduğu belirlenmiştir.

### Makale Bilgisi

Araştırma makalesi  
Başvuru: 10/09/2019  
Düzeltilme: 01/12/2019  
Kabul: 21/12/2019

### Anahtar Kelimeler

Al-Zn Alaşımı  
Mikroyapı  
Cu ve Si İlaveleri  
İşlenebilirlik  
Kesme Kuvveti  
Yüzey Pürüzlülüğü

### Keywords

Al-Zn Alloy  
Microstructure  
Cu and Si Additives  
Machinability  
Cutting Force  
Surface Roughness

## Investigation of the Effect on Copper and Silicon Additives on Machinability in Turning of Al-25Zn Alloy with CVD-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Coated Tools

### Abstract

In this study, the effect of copper (Cu) and silicon (Si) additives on mechanical and machinability properties of Al-25Zn alloy was investigated experimentally. Binary Al-25Zn, ternary Al-25Zn-3Cu and quaternary Al-25Zn-3Cu-3Si alloys were produced by induction melting and permanent mold casting method and microstructure and mechanical properties of these alloys were determined. Cutting tests were conducted using CVD Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> coated cutting tool on CNC lathe with three different cutting speeds (250-350-450 m/min) and feed rate (0,05-0,1-0,15 mm/rev) and 1,5 mm constant depth of cut. The internal structure of Al-25Zn alloy was observed to be composed of aluminum-rich  $\alpha$  dendrites and zinc-rich interdendritic  $\eta$  phase. In addition to intermetallic  $\alpha$  and  $\alpha+\eta$  phases,  $\theta$  phase was formed with 3% Cu addition to this alloy and the eutectic and primary silicon particles were formed in addition to  $\alpha$ ,  $\alpha + \eta$ ,  $\theta$  phases with the addition of 3% Si to the Al-25Zn-3Cu alloy. Al-25Zn and Al-25Zn-3Cu alloys by adding Cu and Si, respectively, hardness, yield and tensile strength increased while breaking elongation decreased. As a result of the machinability tests, it was observed that the cutting forces were measured at the highest Al-25Zn-3Cu-3Si and the lowest Al-25Zn-3Cu alloys. It was found that the lowest surface roughness values were measured in Al-25Zn alloy at all cutting speeds and feed rates of 0,05-0,1 mm/dev and in Al-25Zn-3Cu alloy at feed rate of 0,15 mm/rev. The highest surface roughness values were determined in Al-25Zn-3Cu-3Si alloy at all cutting speeds.

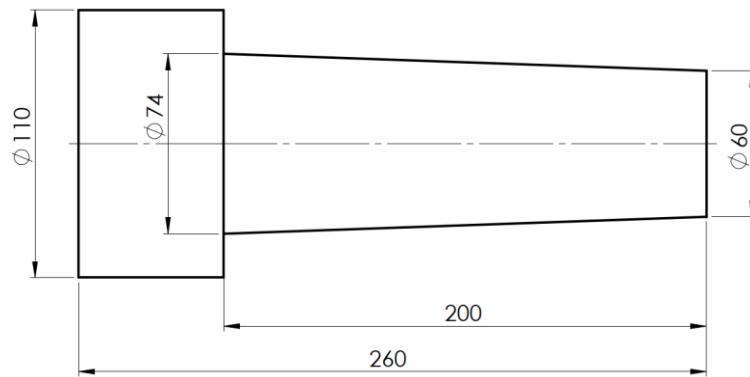
## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Alüminyum-çinko (Al-Zn) esaslı alaşımların, yüksek aşınma dayanımına sahip, özgül mukavemetlerinin yüksek, üretimlerinin kolay ve ekonomik, aşırı yüklenme, yetersiz yağlama ve yüksek hızlı çalışma koşullarında bile ideal tribolojik davranışlar sergiledikleri bilinmektedir [1-3]. Söz konusu alaşımlardan üretilen yataklar, daha çok düşük hız ve aşırı yüklemenin söz konusu olduğu uygulamalarda daha çok tercih edilmektedir [2-4]. Bu alaşımlar, kaymalı yatak üretiminden başka mühendislik amaçlı bazı parçaların üretiminde de gittikçe artan oranda kullanılmaktadır [5,6]. Örneğin, otomobillerde kullanılan karbüratör parçaları, silindir kapağı, dişli kutusu kapakları, motor ayakları, biyel kolu ve jant gibi parçalar, bu alaşımlardan üretilmektedir [7,8]. Alüminyum alaşımları, iyi elektriksel ve ısı iletkenliğinin yanı sıra yüksek ısı ve ışık yansıtma özelliğine de sahiptir. Ayrıca, korozyon direncinin iyi olması, döküm ve şekillendirilebilme kolaylığı birçok hizmet alanlarında kullanılmalarını sağlamaktadır [9]. Talaşlı imalat sonucu elde edilen yüzey pürüzlülüğü, malzemenin kalitesini belirleyen önemli bir imalat parametresidir. Birbirleriyle temas halinde çalışan makine parçalarının istenilen işlevi uzun süreli ve minimum enerji harcayarak gerçekleştirmesi yüzey pürüzlülüğüne ve parçanın boyut hassasiyetine bağlıdır. Yüzey kalitesi; malzemenin yorulma dayanımını, korozyon direncini ve malzemenin tribolojik özelliklerini büyük oranda etkilemektedir [10]. Bu sebeple, yüzey pürüzlülüğünün ölçümü ve karakterize edilmesi talaşlı imalat işlemlerinin optimizasyonu bakımından önem taşımaktadır. Alüminyumun talaşlı imalatı sırasında gösterdiği davranışlar diğer metalik malzemelere göre daha farklıdır. Alüminyum alaşımları, işleme sırasında sıvanma davranışı gösterdiği için kesici takımların üzerine yapışarak kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması gibi işleme çıktılarına olumsuz etkilemektedir. Alüminyum alaşımlarının işlenebilirliği ile ilgili yapılan bazı çalışmalara bakıldığında, Manna ve Bhattacharayya, kaplamasız karbür kesici uç ile silisyum karbür takviyeli kompozitin tornalanması esnasında yüksek kesme hızının kesme kenarı sıcaklığını artırarak takım aşınmasına neden olduğunu ve optimum kesme hız aralığının 60-150 m/dak olduğunu [11], Sasimurugan ve Palanikumar, hibrit alüminyum metal matrisli (Al6061-SiC-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) kompozitlerin tornalanmasında kesme hızının artması ile yüzey pürüzlülüğünün azaldığı, ilerleme hızındaki artış ile arttığı ve minimum yüzey pürüzlülüğünün 60 m/dak kesme hızı, 0,20 mm/dak ilerleme hızı ve 0,5 mm kesme derinliğinde elde edildiğini [12], Bhushan, ağırlıkça %15 SiC partikül takviyeli alüminyum alaşımının işlenmesinde kesme hızının en önemli faktör olduğunu ve minimum güç tüketimi için 90 m/dak kesme hızı, 0,15 mm/dev ilerleme, 0,2 mm kesme derinliği ve 0,42 mm uç yarıçapının kullanılması gerektiğini [13], Davoodi ve Tazehkandi, yüksek Mg içeriğine sahip AA5083 dövme alaşımının kaplamalı karbür kesici uç kullanarak yaptıkları çalışmada, yüksek kesme hızlarında kuru işlemede kesme ve ilerleme kuvvetlerinin ıslak işlemeden daha düşük olduğunu, kesme ve ilerleme kuvvetlerinin belirgin bir şekilde artması ile takım ucu sıcaklıklarının hem kuru hem de ıslak işlemede deforme olmamış talaş kalınlığının artmasıyla birlikte önemli derecede arttığını [14], Demir ve Gündüz, ısı işlem ve yaşlandırma proseslerinin Al-6061 alaşımının çok katmanlı kaplamalı sementit karbür kesici uçlar ile tornalanmasında, işlenecek parçanın yaşlanma ısı işlemine bağlı olarak kesme kuvvetlerindeki değişikliğin çok belirgin olmadığını, farklı zamanlarda 180 °C için yaşlandırmanın yüzey pürüzlülüğünü önemli ölçüde etkilediğini ve kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün azaldığını [15], Dos Santos ve ark., Al-Si alaşımlarının DLC (Diamond like carbon) kaplamalı ve kaplamasız sementit karbür kesici uçlar ile işlenmesinde ağırlıkça %16 silisyum içeren alüminyum alaşımında kesme kuvvetinin daha yüksek olduğunu, DLC kaplı sementit karbür takımların kullanılmasıyla alüminyum alaşımındaki silisyum içeriğine rağmen kesme kuvvetlerinin azaldığını [16], Muthukrishnan ve ark., üç farklı kaliteye sahip (1300-1500-1600 grade) PCD kesici takım ile %15 SiC takviyeli Al-SiC kompozitlerin işlenmesi esnasında daha iyi yüzey kalitesi için yüksek kesme hızı ve düşük ilerleme kombinasyonunun kullanılması gerektiğini ve 1600 grade kaliteye sahip kesiciler ile daha iyi yüzey kalitesinin elde edildiğini [17], Sekmen ve ark., AA2011 ve AA 7075 alaşımlarının işlenmesinde talaş açısının artması ile yüzey pürüzlülüğü, yığıntı talaş ve yığıntı katmanının azaldığını, kesme hızının artması ile AA 2011 malzemenin işlenmesinde yüzey pürüzlülüğü ve katman oluşumu üzerinde herhangi bir etki oluşturmadığını, ancak AA 7075 işlemede ise yığıntı katman ve talaş oluşumunun azaldığını [18], Gökkaya ve Nalbant, AA5052 alaşımının kaplamasız karbür ile tornalanmasında yığıntı talaş ve katman oluşumunun azaltılması için kesme hızının artırılması ve 500 m/dak'dan daha yüksek kesme hızlarının test edilmesi gerektiğini [19] belirtmişlerdir. Hekimoğlu ve ark., [20] ve Bayraktar ve ark., [21] Al-35Zn alaşımının frezelenmesinde, kesme hızının artması ile kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü azalırken, ilerlemenin artması ile arttığını, TiAlN kaplamalı karbür takımların kaplamasız kesicilere göre daha fazla kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü, BUE (Built up edge) ve BUL (Built up layer)

oluşumu sergilediğini tespit etmişlerdir. Rubio ve ark., [22] ve Sanchez ve ark., [23] AA7050 (Al-Zn) alaşımının TiN kaplamalı karbür kesiciler ile tormalanmasında, işleme uzunluğu ile yüzey pürüzlülüğünün genel olarak artma eğiliminde olduğu, kesme hızındaki artış ile hafif artış gösterirken ilerleme ile belirgin bir şekilde arttığını ve kesici kenarda BUE ve talaş yüzeyinde ise BUL'un oluştuğunu gözlemişlerdir. BUE belirli bir kalınlığa ulaştıkça mekanik ve termal nedenlerden dolayı talaş yüzeyinde sıvanma ile BUL oluştuğunu belirtmişlerdir. Wang ve Liu, AA7050 alaşımının ortogonal işlenmesinde 1000-5000 m/dak aralığındaki kesme hızlarında birincil deformasyon bölgesinde iş parçası malzemesinde sünek kırılma, 5000-7000 m/dak kesme hızlarında ise talaşta gevrek kırılmanın gerçekleştiğini, malzemenin kırılma ve deformasyon davranışının büyük gerilme hızları altında önemli derecede değiştiği ve bunun da talaş kaldırma mekanizmasını ve işlenmiş yüzey kalitesini doğrudan etkilediğini belirtmişlerdir [24]. Literatürde silisyumun (Si) alüminyum alaşımlarının dökülebilirlik ve mekanik özelliklerini [25], bakırın ise yüksek sıcaklık dayanımı ve mekanik özellikleri iyileştirdiği bilinmektedir [26]. Son yıllarda yapılan ar-ge çalışmaları neticesinde çinko içeren alüminyum esaslı malzemelerin kaymalı yataklarda üstün tribolojik özellikler sergilediği ve bronz, pirinç ve dökme demir gibi malzemelere alternatif olabileceği belirlenmiştir. Döküm yöntemi ile üretilen bu alaşımların son ürün haline dönüştürülmesi ise tormalama, frezeleme ve delme gibi işleme operasyonları ile gerçekleştirilmektedir. Alüminyum esaslı alaşımların işlenmesinde farklı kesme parametrelerinin işlenebilirlik özellikleri üzerindeki etkileri ile ilgili bir takım çalışmanın yapıldığı belirlenmiştir. Ancak, literatürde yüksek oranda çinko içeren alüminyum alaşımlarının ve bu alaşımlara yapılan bakır ve silisyum ilavelerinin işlenebilirlik özellikleri üzerindeki etkileri ile ilgili detaylı bir çalışmanın yapılmadığı tespit edilmiş olup bu çalışma ile literatürdeki bu eksikliğin giderilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla, bu çalışmada, otomotiv sektöründeki kaymalı yatakların imalatında kullanılma amaçlı geliştirilen Al-Zn alaşımlarında, kesme hızı ve ilerleme oranının yanı sıra bakır ve silisyum ilavelerinin bu alaşımın işlenebilirliğine etkisi deneysel olarak incelenmiştir.

## 2. MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

İkili Al-25Zn, üçlü Al-25Zn-3Cu ve dördü Al-25Zn-3Cu-3Si alaşımlara ait nominal kimyasal bileşimler Tablo 1'de verilmiştir. Bu alaşımlar, İndemak marka orta frekanslı bir indüksiyon ocağında eritildikten sonra SAE 8620 çeliğinden üretilmiş olan konik kalıba 700 °C civarındaki döküm sıcaklığından dökülerek üretilmiştir. Alaşımların üretiminde yüksek saflıkta (%99,9) alüminyum, çinko, bakır ve silisyum kullanılmıştır. Döküm kalıbından çıkan alaşım külçesinin ölçülerini gösteren teknik resim Şekil 1'de verilmiştir. Bu alaşım, universal torna tezgâhında işlenerek kesme deneyleri için Ø50X250 mm ölçülerine getirilmiştir.



Şekil 1. Döküm Alaşımın Külçesinin Teknik Resim Ölçüleri (Ölçüler mm'dir)

Tablo 1. Üretilen alaşımların nominal kimyasal bileşimleri

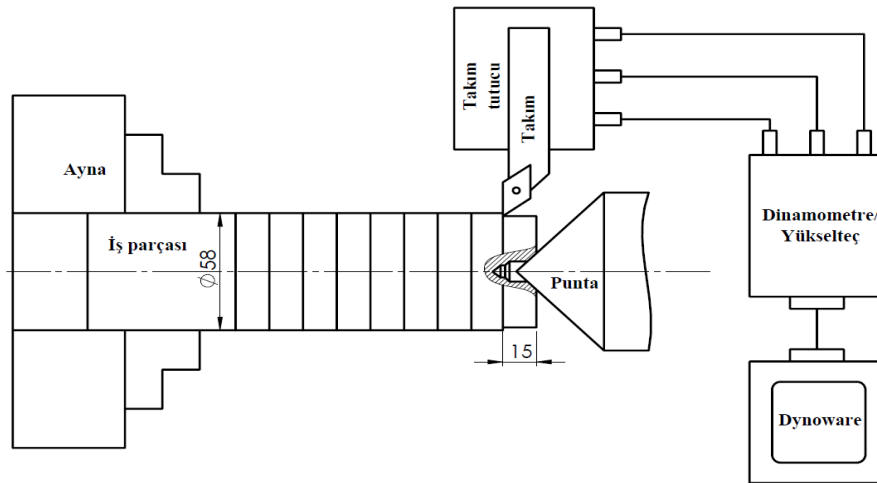
Alaşım	Ağırlıkça element oranı (%)			
	Çinko	Bakır	Silisyum	Alüminyum
Al-25Zn	-	-	-	Kalan
Al-25Zn-3Cu	25	3	-	Kalan
Al-25Zn-3Cu-3Si	-	3	3	Kalan

Üretilen alaşımlara ait sertlik ölçümleri ise Qness Q250CS cihazı ile Brinell sertlik ölçümü yöntemine göre 62,5 kgf yük altında 2,5 mm çapında uç kullanılarak gerçekleştirildi. Her bir alaşıma ait numunenin üç farklı bölgesinden ölçüm yapılarak elde edilen verilerin aritmetik ortalaması ile sertlik ölçümleri yapıldı. Mekanik testler ISO 6892 standardına göre 20 ton kapasiteli universal cihaz ile gerçekleştirildi. Alaşımlara ait çekme mukavemeti ölçümü için Ø8x40 ölçü boyutlarına sahip alaşım örnekleri ile  $10^{-3} \text{ s}^{-1}$ 'lik ortalama deformasyon hızı kullanılmıştır. Mekanik testler altı farklı örnek ile gerçekleştirilerek elde edilen sayısal verilerin aritmetik ortalaması esas alınmıştır. Böylelikle, alaşımların sertlik, akma ve çekme mukavemeti ve kopma uzaması değerleri tespit edilmiştir (Tablo 2).

**Tablo 2.** Üretilen alaşımların mekanik özellikleri

<i>Alaşım</i>	<i>Sertlik (BSD)</i>	<i>Akma dayanımı (MPa)</i>	<i>Çekme dayanımı (MPa)</i>	<i>Kopma uzaması (%)</i>
<i>Al-25Zn</i>	<i>108</i>	<i>265</i>	<i>280</i>	<i>4,50</i>
<i>Al-25Zn-3Cu</i>	<i>130</i>	<i>278</i>	<i>317</i>	<i>1,83</i>
<i>Al-25Zn-3Cu-3Si</i>	<i>141</i>	<i>320</i>	<i>334</i>	<i>0,83</i>

Tornalama deneyleri, 10 kW gücündeki JOHNFORD TC-35 CNC torna tezgâhında 1,5 mm sabit kesme derinliği, üçer farklı kesme hızı (250-350-450 m/dak) ve ilerleme değeri (0,05-0,1-0,15 mm/dev) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kesme parametreleri ve kesici takım, üretici firma katalog değerleri ve literatür araştırması dikkate alınarak tespit edilmiştir. Literatürde Agustina ve ark., [27] ile Marcos-Bárcena ve ark., [28] Al-Zn alaşımının DCMT 11T308 kesici uç ile tornalanmasında 40-170 m/dak kesme hızı ve 0,05-0,30 mm/dev ilerleme aralığında kesme parametreleri kullandıkları ve Campbell ve ark., [29] ise sabit 360 m/dak kesme hızı ve 0,076 mm/dev ilerleme değerleri ile kesme deneyleri gerçekleştirdiği gözlenmiştir. Buna göre, kesme deneyleri için Sumitomo marka CVD yöntem ile kaplanmış DCMT 11T308N-MU geometrisine sahip  $\text{Al}_2\text{O}_3$  kaplamalı uçlar temin edilmiştir. Alaşımların tornalanması esnasında oluşan kesme kuvvetlerinin ölçümünde, Kistler marka dinamometre kullanılmış olup dinamometreden alınan titreşim sinyalleri yükselteç yardımı ile Dynoware yazılımına aktarılmıştır. Böylelikle, Dynoware yazılımından elde edilen  $F_x$ ,  $F_y$  ve  $F_z$  kuvvetlerinin bileşkesi hesaplanarak kesme kuvvetleri belirlenmiştir (Şekil 2).



**Şekil 2.** Deneysel düzeneğin şematik gösterimi

Yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesinde Mahr Perthometer M1 (MarSurf PS1) marka izleyici uçlu yüzey pürüzlülük cihazı, 0,8 mm örnekleme uzunluğu ve 4 mm ölçme uzunluğu kullanılmıştır. İşlenmiş yüzey kalitesinin belirlenmesinde ISO 4287 standardına göre ortalama yüzey pürüzlülük ( $R_a$ ) kriteri dikkate alınmış olup işlenmiş yüzeyler üzerindeki pürüzlülük profilindeki saptmaların aritmetik ortalaması ile

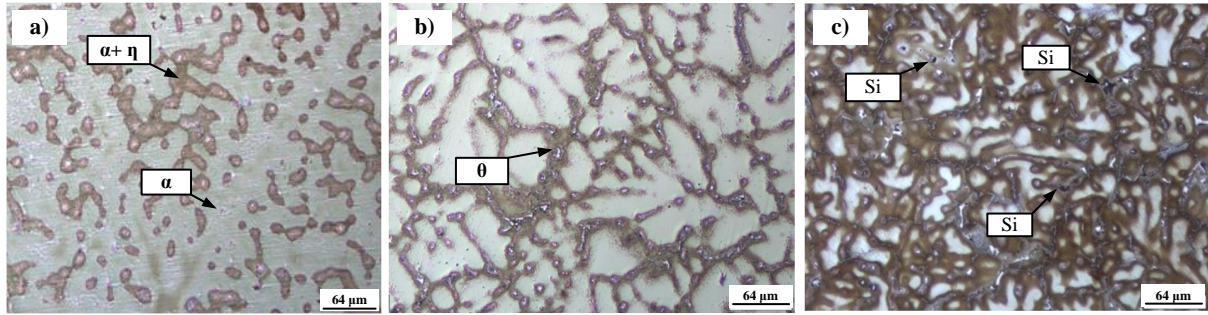


sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca, elde edilen pürüzlülük değerlerinin doğruluğu için işlenen yüzeyin farklı bölümlerinden üçer adet ölçüm yapılarak bu ölçümlerin de aritmetik ortalamaları hesaplanarak nihai yüzey pürüzlülükleri tespit edilmiştir.

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

#### 3.1. Mikroyapısal Özelliklerin Değerlendirilmesi (Evaluation of Microstructural Properties)

Optik mikroskopta incelenen ikili, üçlü ve dördü alaşımların içyapılarını gösteren fotoğraflar Şekil 3.a-c'de verilmiştir. İkili Al-25Zn alaşımının içyapısı alüminyumca zengin  $\alpha$  dentritleri ile  $\eta$  fazlarından oluştuğu görüldü (Şekil 3.a). Bu fazların oluşumu, alaşımın katılma davranışına göre açıklanmaktadır [30, 31]. Al-25Zn metali ikili faz diyagramına göre birbiri içerisinde tamamen çözülmüş durumda bulunan alüminyum ve çinkodan oluşmaktadır. Sıvı metal içerisinde farklı noktalar ve konumlarda öncelikle katılma sıcaklığı daha yüksek olan alüminyumca zengin  $\alpha$  çekirdekleri oluşur. Katılma sıcaklığı çinkodan daha yüksek olan  $\alpha$  çekirdekleri kristalleşmeye merkezlik yapmaktadır. Metalin soğumasıyla artan atom ya çekirdeklere bağlanmakta ya da kendi çekirdeklerini oluşturmaktadır. Her bir  $\alpha$  çekirdeği sıvı metalden atom çekerek kendi uzay kafesinde farklı yönlerde büyümekte ve dendritik formdaki  $\alpha$  fazını oluşturmaktadır. Soğuma devam ettikçe bir başka deyişle  $\alpha$  fazının sıcaklığı ötektoid dönüşüm sıcaklığına düşünce aşırı doymuş  $\alpha$  fazı ötektoid dönüşüm ile  $\alpha+\eta$  fazına dönüşür. Bu dönüşüm sonucunda  $\eta$  fazı  $\alpha$  dentritlerinin kolları arasında kalan bölge de çökler [32-34].



Şekil 3. Alaşımların içyapı görüntüleri, a) Al-25Zn, b) Al-25Zn-3Cu ve c) Al-25Zn-3Cu-3Si

Al-25Zn alaşımına bakır katılması durumunda alaşımın içyapısının fazla değişmediği, ancak dentritler arası bölgelerde bakırca zengin  $\theta$  ( $Al_2Cu$ ) fazının oluştuğu gözlenmiştir [35, 36] (Şekil 3.b). Al-25Zn-3Cu alaşımına silisyum katılarak elde edilen Al-25Zn-3Cu-3Si alaşımının içyapısının ise  $\alpha$ ,  $\alpha+\eta$ ,  $\theta$  fazları ile birlikte ötektik ve primer silisyum parçacıklarından oluştuğu gözlenmiştir (Şekil 3.c). Ötektik silisyum parçacıklarının alaşım içerisinde primer silisyum parçacıklarına göre daha homojen bir dağılım sergilediği belirlenmiştir [37].

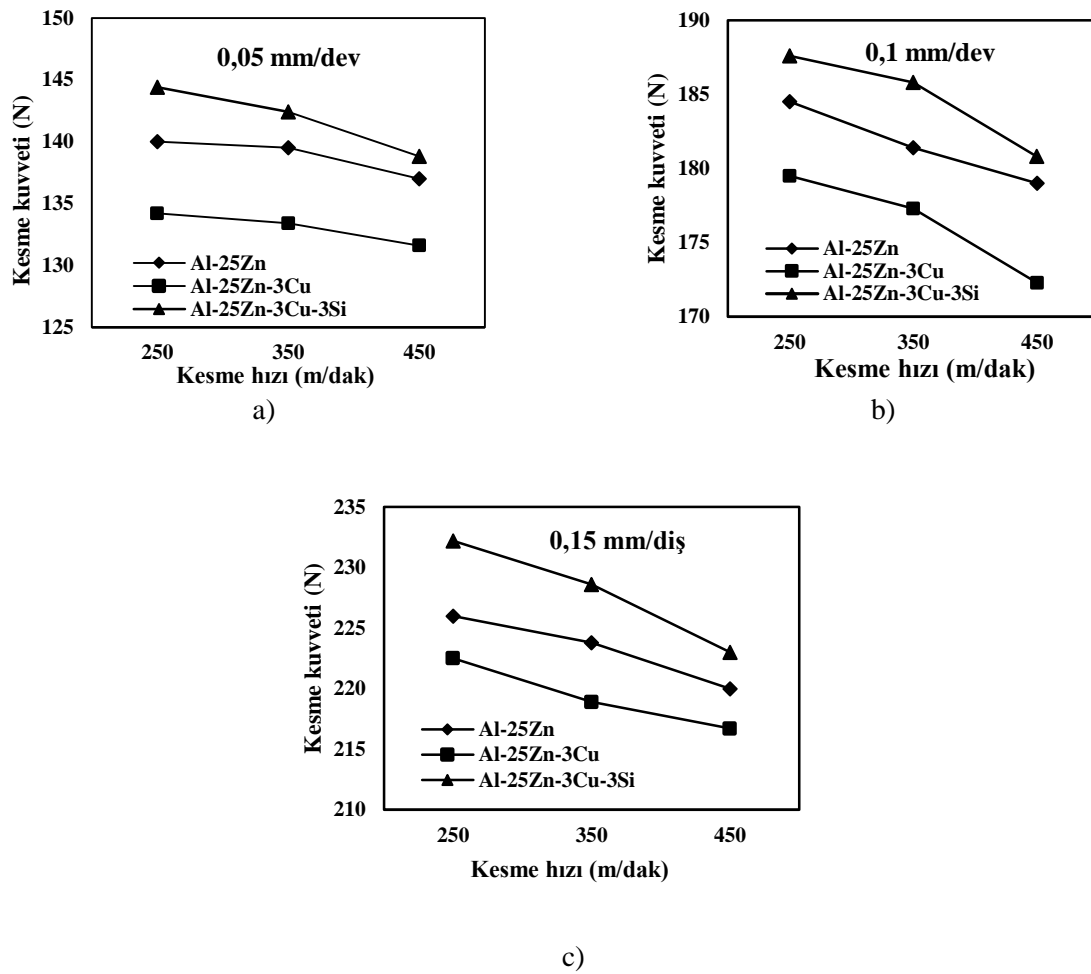
#### 3.2. Mekanik Özelliklerin Değerlendirilmesi (Evaluation of Mechanical Properties)

Sertlik, akma ve çekme dayanımı bakımından en yüksek değerler Al-25Zn-3Cu-3Si alaşımında, en düşük değerler ise Al-25Zn alaşımında oluştuğu tespit edilmiştir (Tablo 2). Bakır ilavesi ile Al-25Zn alaşımının sertlik, akma ve çekme dayanımları artarken, kopma uzamasının azaldığı görüldü. Elde edilen bu veriler, alaşımın içyapısına dayandırılarak açıklanabilir. İkili Al-25Zn alaşımına ilave edilen bakır, etkisini iki farklı şekilde göstermektedir. Bunlardan biri  $\alpha$  fazı içinde çözünerek katı çözelti sertleşmesine neden olması, diğeri ise alüminyum ile birleşerek  $\theta$  fazı olarak bilinen  $Al_2Cu$  bileşiğini oluşturmasıdır. Hem katı çözelti hem de ikincil faz çökmesi mekanizmaları nedeniyle yapıda distorsiyon meydana gelir. Yapıda distorsiyon oluşması da dislokasyonların ilerlemesinin önünde engel oluşturacağından alaşımların sertlik ve mukavemetlerinde artışa neden olmaktadır. Kopma uzamasındaki azalma ise içyapıda  $\theta$  fazının oluşumuna ve alaşım içerisindeki dağılımına dayandırılabilir. İçyapı incelemesinde  $\theta$  fazının genelde dendritler arası bölgelerde yer aldığı görülmüştür. Bileşik olduğu için nispeten sert ve gevrek olan bu parçacıkların çentik etkisi yaparak gevrek kırılmaya yol açtığı bilinmektedir. Bu sebeple,  $\theta$  fazının alaşımında kopma uzaması değerinin azalmasına neden olduğu düşünülmektedir. Al-25Zn-3Cu alaşımına ilave edilen

silisyum, alaşımın sertlik, akma ve çekme mukavemetini artırırken, kopma uzamasını azaltmıştır. Bu durum, içyapı içerisindeki ince silisyum parçacıklarının homojen dağılması ile açıklanabilir. İçyapıdaki bu ötektik silisyum parçacıkları, dispersiyon sertleşmesi mekanizmasıyla alaşımın sertlik ve mukavemetini arttırmaktadır [38-40]. Ayrıca, bu sert ve gevrek parçacıklar, çentik etkisi oluşturmasının yanı sıra dentritler arası bölgelerde yer alan bölgeleri zayıflatmakta ve bu alaşımların kopma uzamasının azalmasına sebep olmaktadır [41, 42].

### 3.3. Kesme Kuvveti ve Yüzey Pürüzlülüklerinin Değerlendirilmesi (Evaluation of Cutting Force and Surface Roughnesses)

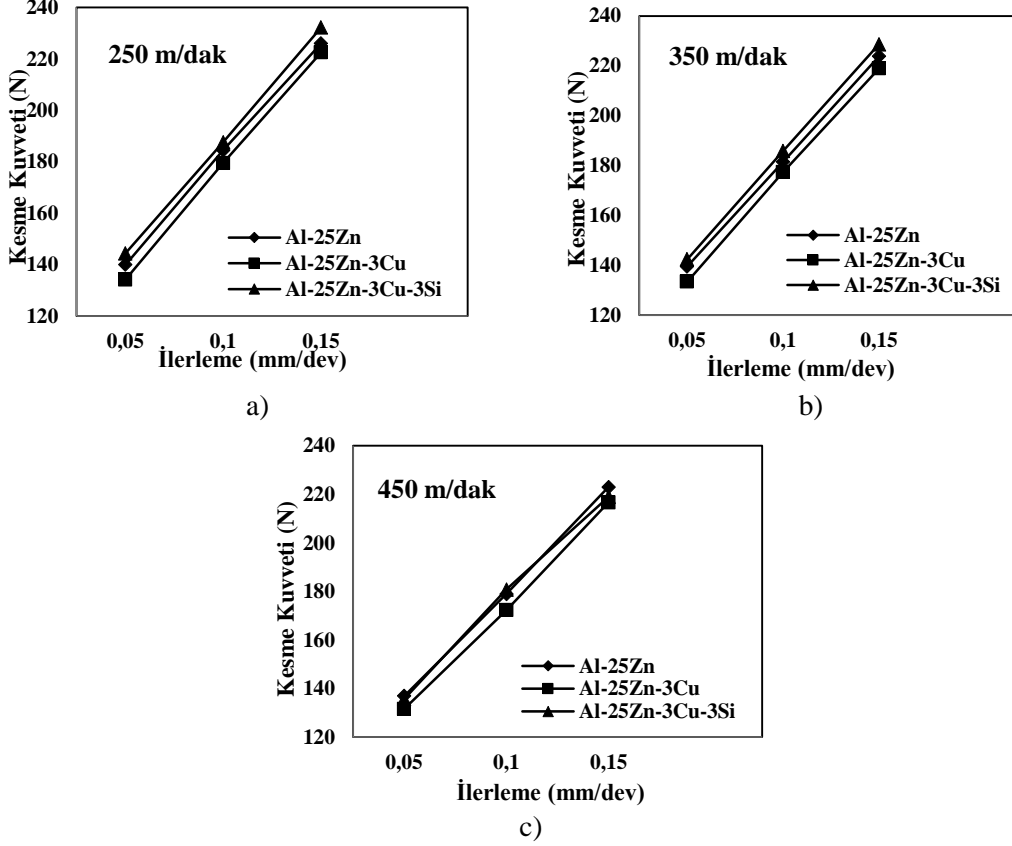
CVD-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplamalı karbür uçlar ile Al-25Zn, Al-25Zn-3Cu, Al-25Zn-3Cu-3Si alaşımlarının tormalanmasında oluşan kesme hızı-kesme kuvveti ve ilerleme-kesme kuvveti grafikleri sırasıyla Şekil 4 ve 5'te verilmiştir.



Şekil 4. Sabit ilerlemede kesme hızı- kesme kuvveti ilişkisi, a) 0,05 mm/dev, b) 0,1 mm/dev ve c) 0,15 mm/dev

Şekil 4'e bakıldığında, kesme hızının artması ile tüm alaşımların işlenmesinde kesme kuvvetinin azaldığı gözlenmiştir. 250 m/dak kesme hızında ve 0,05-0,1-0,15 mm/dev ilerleme değerlerinde sırasıyla en yüksek kesme kuvvetlerinin 144,4 N, 187,5 N ve 232,2 N ile Al-25Zn-3Cu-3Si alaşımında, en düşük kesme kuvveti 131,6 N, 172,3 N ve 216,7 N ile 450 m/dak kesme hızında Al-25Zn-3Cu alaşımında ölçülmüştür. 0,05 mm/dev ilerlemede kesme hızının 250-450 m/dak aralığında değişimi ile Al-25Zn-3Cu-3Si alaşımında kesme kuvveti %4,34, Al-25Zn-3Cu alaşımında %2,29 ve Al-25Zn alaşımında ise %2,18 azalmıştır. 0,1 mm/dev ilerlemede kesme hızının 250-450 m/dak aralığındaki değişimi ile kesme kuvveti, Al-25Zn-3Cu-3Si alaşımında %3,88, Al-25Zn-3Cu alaşımında %4,06 ve Al-25Zn alaşımında ise %2,79 azalmıştır. 0,15 mm/dev ilerlemede kesme hızının 250-450 m/dak aralığındaki değişimi ile kesme kuvveti, Al-25Zn-3Cu-

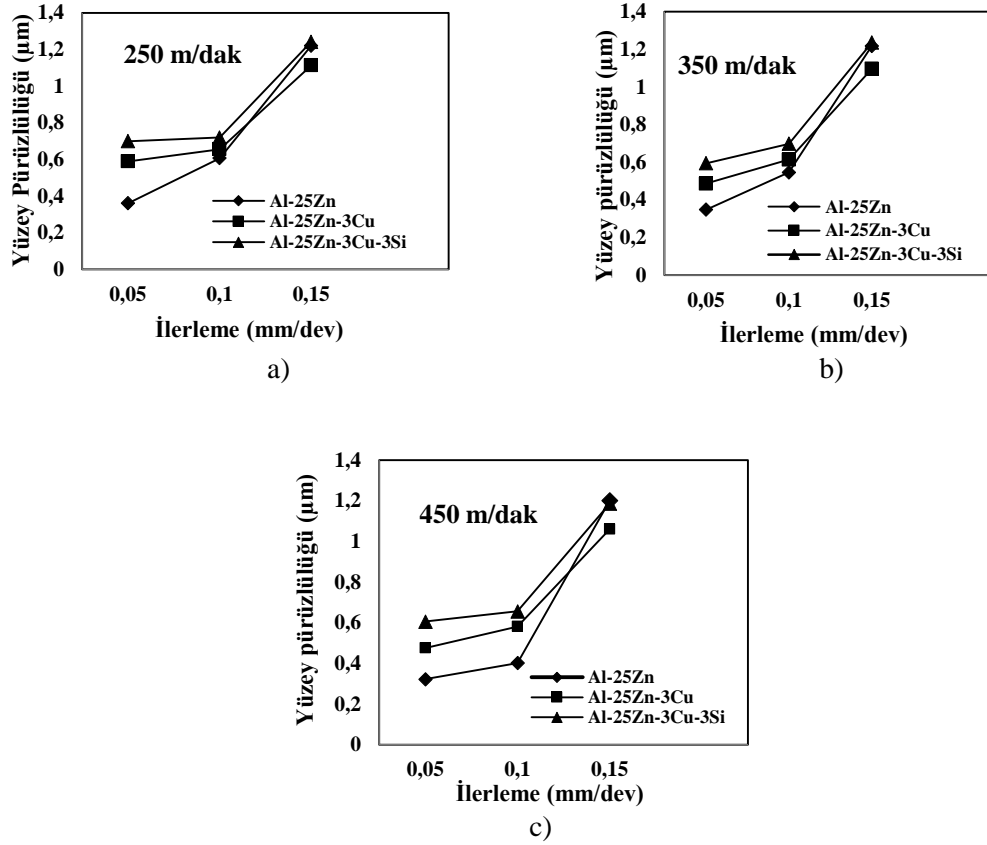
3Si alaşımında %4,03, Al-25Zn-3Cu alaşımında %2,77 ve Al-25Zn alaşımında ise %2,72 azaldığı gözlenmiştir. Kesme hızının artması, birincil deformasyon bölgesinde oluşan sıcaklığın artmasına bağlı olarak malzemenin akma mukavemetinin azalmasına sebep olmaktadır. Akma mukavemetinin azalması, kesme işlemini kolaylaştırarak kuvvetlerin azalmasına katkı sağlamaktadır [19].



Şekil 5. Sabit kesme hızında ilerleme-kesme kuvveti ilişkisi, a) 250 m/dak, b) 350 m/dak ve c) 450 m/dak

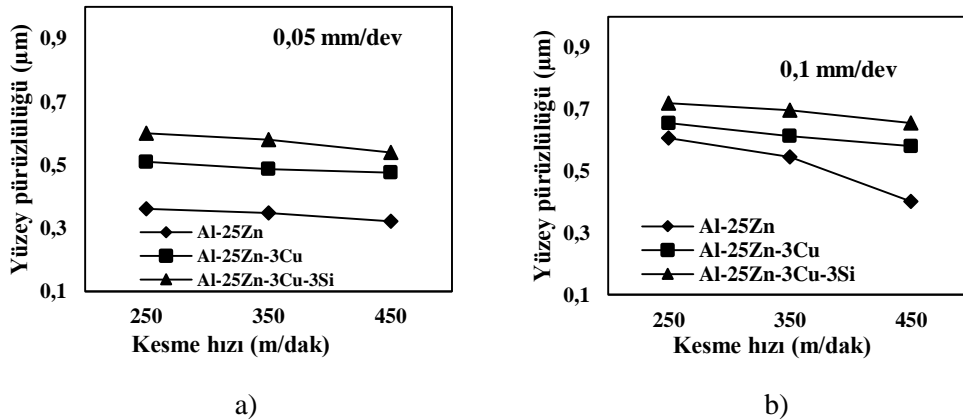
İlerleme oranının artması ile tüm alaşımların işlenmesinde kesme kuvvetlerinin arttığı gözlenmiştir (Şekil 5). Tüm kesme hızı değerlerinde ilerlemenin 0,05-0,15 mm/dev aralığında değişimi ile tüm alaşımlarda yaklaşık olarak kesme kuvvetinde %61,11 artış olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, birim zamanda kaldırılması gereken talaş hacminin artmasından ve kesme işlemi için daha fazla güce ihtiyaç duyulmasından kaynaklanmaktadır [43, 44]. Al-25Zn-3Cu-3Si alaşımının işlenmesinde, kesme kuvveti değerlerinin Al-25Zn ve Al-25Zn-3Cu alaşımına göre daha yüksek olduğu gözlenmiştir (Şekil 5). Alaşım içyapısında bulunan ötektik ve primer silisyum parçacıkları dispersiyon sertleşmesi mekanizmasıyla alaşımın sertlik ve mukavemetini arttırmaktadır. Ancak, bu silisyum parçacıkları kesme işlemi esnasında kesici takım ile yüzey arasında sürtünmeyi artırarak [45] kesici takımın aşınmasına ve iş parçası işlenmiş yüzey kalitesinin azalmasına sebep olmaktadır. Bu durum kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğünü arttıran bir etken olarak ortaya çıkmaktadır [46] (Şekil 4-7). İdeal kesme kuvveti değerleri ise Al-25Zn-3Cu alaşımında ölçüldüğü tespit edilmiştir. Bu durum, alaşımın kopma mukavemetinin Al-25Zn-3Cu-3Si alaşımına göre daha düşük, Al-25Zn alaşımına göre ise fazla olmasına dayandırılabilir. Diğer bir ifade ile Al-25Zn ikili alaşımına %3 Cu ilavesi, çökeltme sertleşmesine [47] ve dentritik bölgelerde  $\theta$  ( $Al_2Cu$ ) intermetalik faz oluşumuna sebep olarak [35, 36] alaşımın sertliğini ve çekme mukavemetini artırırken, kopma uzamasını azaltmaktadır. Böylelikle, kesme esnasında talaşın kolay kırılmasını sağlayarak kesici takım üzerine etkileyen kuvvetlerin Al-25Zn ve Al-25Zn-3Cu-3Si alaşımına göre daha az oluşmasına sebep olmuş olabilir [48, 49]. Şekil 6'da sabit kesme hızlarında ilerleme-yüzey pürüzlülüğü ilişkisi verilmiştir.

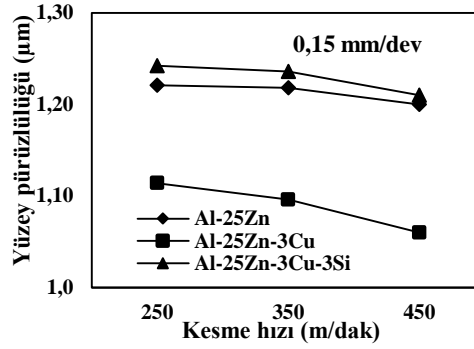




Şekil 6. Sabit kesme hızlarında ilerleme-yüzey pürüzlülüğü ilişkisi, a) 250 m/dak, b) 350 m/dak ve c) 450 m/dak

Şekil 6 incelendiğinde, ilerleme miktarının artması ile yüzey pürüzlülüğünün tüm alaşımlarda arttığı gözlenmiştir. 250 m/dak sabit kesme hızında ve ilerlemenin 0,05-0,15 mm/dev aralığında değişimi ile Al-25Zn-3Cu-3Si alaşımında yüzey pürüzlülüğü %77,42, Al-25Zn-3Cu alaşımında %88,81 ve Al-25Zn alaşımında ise %238,22 arttığı tespit edilmiştir. 350 m/dak sabit kesme hızında ilerlemenin 0,05-0,15 mm/dev aralığındaki değişimi ile Al-25Zn-3Cu-3Si alaşımında %107,73, Al-25Zn-3Cu alaşımında %153,79 ve Al-25Zn alaşımında ise yüzey pürüzlülüğü %255,72 oranında yüzey pürüzlülüğü artmıştır. 450 m/dak kesme hızı ve 0,05-0,15 mm/dev aralığında ise yüzey pürüzlülüğü Al-25Zn-3Cu-3Si alaşımında %95,7, Al-25Zn-3Cu alaşımında %122,68 ve Al-25Zn alaşımında ise %268,32 oranında arttığı gözlenmiştir. Bu durum, birim zamanda kaldırılan talaş kesitinin artması ile ortaya çıkmaktadır. Şekil 7’de sabit ilerleme hızlarında kesme hızı-yüzey pürüzlülüğü grafikleri verilmiştir.

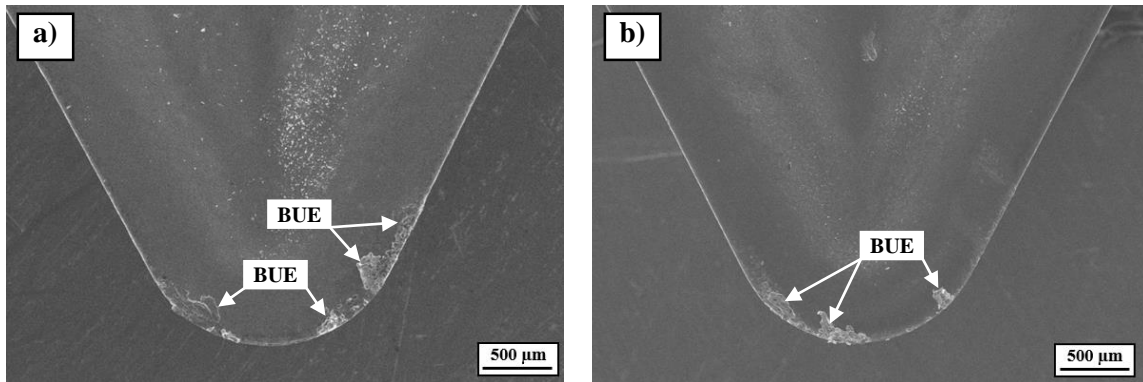


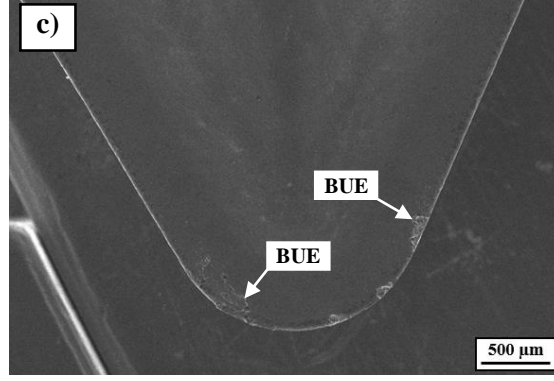


c)

Şekil 7. Sabit ilerleme hızlarında kesme hızı-yüzey pürüzlülüğü ilişkisi, a) 0,05 mm/dev, b) 0,1 mm/dev ve c) 0,15 mm/dev

Şekil 7'ye göre sabit 0,05 mm/dev ilerleme ve 250-450 m/dak kesme hızı aralığında yüzey pürüzlülüğü, Al-25Zn-3Cu-3Si alaşımında %39,4, Al-25Zn-3Cu alaşımında %34,38 ve Al-25Zn alaşımında %10,8 azalmıştır. 0,1 mm/dev ilerleme ve 250-450 m/dak kesme hızı aralığında yüzey pürüzlülüğü, Al-25Zn-3Cu-3Si alaşımında %34,4, Al-25Zn-3Cu alaşımında %11,43 ve Al-25Zn alaşımında ise %33,77 azaldığı gözlenmiştir. 0,15 mm/dev ilerleme ve 250-450 m/dak kesme hızı aralığında ise yüzey pürüzlülüğü, Al-25Zn-3Cu-3Si alaşımında %2,57, Al-25Zn-3Cu alaşımında %4,84 ve Al-25Zn alaşımında %1,719 azalma olmuştur. Alüminyum alaşımlarının işlenmesi esnasında süneklik özelliğinden dolayı kesici takım kesme kenarında yığıntı talaş (BUE-Built up edge) oluşmaktadır [50]. Yığıntı talaş oluşumu ise kesici kenar geometrisini değiştirerek ilerlemenin de artması ile kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğünün artmasına sebep olmaktadır (Şekil 4-5) [51-53]. Yığıntı talaş oluşumunu azaltmanın en etkili yöntemlerinden birisi de kesme hızının artırılmasıdır. Kesme hızının artması, birincil deformasyon bölgesinde sıcaklığı artırarak kesme işlemini kolaylaştırmaktadır. Ayrıca, artan kesme hızı kesici takım talaş yüzeyde oluşan yığıntı talaşın azalmasına ve takım aşınması başlayıncaya kadar kesme kuvvetleri ile birlikte yüzey pürüzlülüğünün azalmasına sebep olmaktadır. Şekil 8'de de görüldüğü gibi 250 m/dak kesme hızında (Şekil 8.a) Al-25Zn-3Cu alaşımının işlenmesinde talaş yüzeyinde 350 (Şekil 8.b) ve 450 m/dak kesme hızlarına (Şekil 8.c) göre daha fazla yığıntı talaşın oluştuğu gözlenmiştir. Alaşımlar arasında en iyi yüzey kalitesinin tüm kesme hızlarında 0,1 ve 0,05 mm/dev ilerleme oranlarında Al-25Zn alaşımında, 0,15 mm/dev ilerleme oranında ise Al-25Zn-3Cu alaşımında elde edildiği belirlenmiştir (Şekil 5). Al-25Zn-3Cu alaşımının içyapısında bulunan  $\theta$  fazı, özellikle yüksek ilerleme değerlerinde talaşı daha kırılğan hale getirerek yığıntı talaş oluşumunu azaltmakta ve işlenebilirliği arttırmaktadır [48, 49]. En kötü yüzey kalitesi ise Al-25Zn-3Cu-3Si alaşımında olduğu tespit edilmiştir. Bu alaşımın içyapısında bulunan silisyum parçacıkları işleme zorlaştırarak yüzey pürüzlülüğünün artmasına sebep olmaktadır [45].





**Şekil 8.** Al-25Zn-3Cu alaşımının farklı kesme hızlarında tormalanması esnasında oluşan BUE, a) 250 m/dak, b) 350 m/dak ve c) 450 m/dak

#### 4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bakır ve silisyum ilavelerinin Al-25Zn alaşımının işlenebilirliği üzerindeki etkisinin incelendiği bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Al-25Zn alaşımının içyapısının alüminyumca zengin  $\alpha$  dentritlerinden ve çinkoca zengin interdendritik  $\eta$  fazından oluştuğu gözlenmiştir. Bu alaşıma yapılan %3 Cu ilavesi ile içyapıda  $\alpha$  ve  $\eta$  fazına ilave olarak  $\theta$  fazının oluştuğu, Al-25Zn-3Cu alaşımına yapılan %3 Si ilavesi ile de üçlü alaşımda görülen fazlara ek olarak ötektik ve primer silisyum parçacıklarının oluştuğu,
- Al-25Zn alaşımına Cu ve Al-25Zn-3Cu alaşımına ise Si ilavesi ile sertlik, akma ve çekme dayanımının arttığı, kopma uzamasının azaldığı,
- Kesme hızının artması ile kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü azalırken, ilerlemenin artması ile arttığı,
- Kesme kuvvetlerinin en fazladan en aza doğru sırasıyla Al-25Zn-3Cu-3Si, Al-25Zn ve Al-25Zn-3Cu alaşımlarının işlenmesinde ölçüldüğü,
- En düşük yüzey pürüzlülüğü değerlerinin tüm kesme hızı ve 0,05 ve 0,1 mm/dev ilerleme oranlarında Al-25Zn alaşımında, 0,15 mm/dev ilerlemede ise Al-25Zn-3Cu alaşımında ölçüldüğü tespit edilmiştir.

#### TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENTS)

Bu çalışma, “2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı” kapsamında 1919B011702369 numaralı proje ile TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Ataç, A., Özyürek, D., Güral, A. (2014). Mekanik Alaşımlama ile Üretilmiş Çinko-Alüminyum (ZA) Alaşımlarının Kuru Sürtünmeli Aşınma Davranışlarının İncelenmesi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji, 2(4), 309-313.
- [2] Calayag, T. (1983). Zinc Alloys Replace Bronze in Mining Equipment Bushings and Bearings. Mining Engineering, 35, 727-728.
- [3] Geng, H., Ma, J. (1993). Friction and Wear of Al-Zn-Pb Bearings Alloy. Wear, 169, 201-207.
- [4] Mihaichuk, W., Bess, M.L. (1986). The ZA Die Casting Alloys. Society of Automotive Engineers, 95, 560-568.
- [5] Savaşkan, T., Murphy, S. (1987). Mechanical Properties and Lubricated wear of Zn-25Al-Based Alloys. Wear, 116, 211-224.

- [6] Gross, D.K. (1987). Zinc Alloys: Specifications and Processing. Society of Automotive Engineers, 1039-1046.
- [7] Zhu, Y., Yan, B., Huan, W. (1995). Bearing Wear Resistance of Monotectoid Zn-Al Based Alloy (ZA-35). *Materials Science and Technology*, 11, 109-113.
- [8] Savaşkan, T., Çuvalcı, H. (1990). Çinko-Alüminyum Esaslı Yatak Alaşımlarının Tribolojik Özelliklerinin İncelenmesi. 4. Ulusal Makina Tasarımı ve İmalat Kongresi, Ankara, 328-336.
- [9] Erdoğan, M. (2001). Demir Dışı Alaşımlar Mühendislik Alaşımlarının Yapı ve Özellikleri. Ankara: Nobel Yayın Dağıtım, 339, 372.
- [10] Karayel, D. (2008). Prediction and control of surface roughness in CNC lathe using artificial neural network. *Journal of Materials Processing Technology*, 209, 3125-3137.
- [11] Manna, A., Bhattacharaya, B. (2005). Influence of machining parameters on the machinability of particulate reinforced Al/SiC-MMC. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 25, 850-856.
- [12] Sasimurugan, T., Palanikumar, K. (2011). Analysis of the Machining Characteristics on Surface Roughness of a Hybrid Aluminium Metal Matrix Composite (Al6061-SiC-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). *Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering*, 10, 1213-1224.
- [13] Bhushan, R.K. (2013). Optimization of cutting parameters for minimizing power consumption and maximizing tool life during machining of Al alloy SiC particle composites. *Journal of Cleaner Production*, 39, 242-254.
- [14] Davoodi, B., Tazehkand, A.H. (2014). Experimental investigation and optimization of cutting parameters in dry and wet machining of aluminum alloy 5083 in order to remove cutting fluid. *Journal of Cleaner Production*, 68, 234-242.
- [15] Demir, H., Gündüz, S. (2009). The effects of aging on machinability of 6061 aluminium alloy. *Materials & Design*, 30, 1480-1483.
- [16] Dos Santos, G.R., Da Costa, D.D., Amorim, F.L., Torre, 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, 1029-1033.
- [17] Muthukrishnan, N., Murugan, M., Prahlada, R.K. (2008). An investigation on the machinability of Al-SiC metal matrix composites using pcd inserts. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 38, 447-454.
- [18] Sekmen, M., Günay, M., Şeker, U. (2015). Alüminyum alaşımlarının işlenmesinde kesme hızı ve talaş açısının yüzey pürüzlülüğü, yığıntı talaş ve yığıntı katmanı oluşumu üzerine etkisi. *Politeknik Dergisi*, 18, 141-148.
- [19] Gökkaya, H., Nalbant, M. (2007). Kesme hızının yığıntı katmanı ve yığıntı talaş oluşumu üzerindeki etkilerinin SEM ile incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22, 481-488.
- [20] Hekimoğlu, A.P., Bayraktar, Ş., Turgut, Y. (2018). Kesme Hızı ve İlerlemenin Al-35Zn Alaşımının İşlenebilirliğine Etkisinin İncelenmesi. *ISAS'18 Winter, Samsun, Türkiye*, 77-83.

- [21] Bayraktar, Ş., Hekimoğlu, A.P., Turgut, Y., Hacıosmanoğlu, M. (2017). A Performance Comparison Study of Uncoated and TiAlN Coated Carbide End Mill on Machining of the Al-35Zn Alloy. 9th International Conference on Tribology (Balkantrib'17), Nevşehir, Turkey, 1-7.
- [22] Rubio, E.M., Camacho, A.M., Sánchez-Sola, J.M., Marcos, M. (2005). Surface roughness of AA7050 alloy turned bars: Analysis of the influence of the length of machining. *Journal of Materials Processing Technology*, 162, 682-689.
- [23] Sánchez, J.M., Rubio, E., Álvarez, M., Sebastián, M.A., Marcos, M. (2005). Microstructural characterisation of material adhered over cutting tool in the dry machining of aerospace aluminium alloys. *Journal of Materials Processing Technology*, 164, 911-918.
- [24] Wang, B., Liu, Z. (2016). Investigations on deformation and fracture behavior of workpiece material during high speed machining of 7050-T7451 aluminum alloy. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 14, 43-54.
- [25] Barzani, M.M., Zalnezhad, E., Sarhan, A.A., Farahany, S., Ramesh, S. (2015). Fuzzy logic based model for predicting surface roughness of machined Al-Si-Cu-Fe die casting alloy using different additives-turning. *Measurement*, 61, 150-161.
- [26] Rajaram, G., Kumaran, S., Rao, T.S. (2011). Effect of graphite and transition elements (Cu, Ni) on high temperature tensile behaviour of Al-Si Alloys. *Materials Chemistry and Physics*, 128, 62-69.
- [27] Agustina, D.B., Saá, A., Marcos Bárcena, M., Rubio, E.M. (2011). Analysis of the machinability of aluminium alloys UNS A97050-T7 and UNS A92024-T3 during short dry turning tests. In *Advanced Materials Research*, 264, 931-936.
- [28] Marcos-Bárcena, M., Sebastián-Pérez, M.A., Contreras-Samper, J.P., Sánchez-Carrilero, M., Sánchez-López, M., Sánchez-Sola, J.M. (2005). Study of roundness on cylindrical bars turned of aluminium-copper alloys UNS A92024. *Journal of Materials Processing Technology*, 162, 644-648.
- [29] Vilches, F., Hurtado, L., Fernández, F., Gamboa, C. (2017). Analysis of the chip geometry in dry machining of aeronautical aluminum alloys. *Applied Sciences*, 7, 132.
- [30] Auer, H., Mann, K.E. (1936). Magnetic Investigation of Zinc Aluminum System. *Zeitschrift für Metallkunde*, 28, 323-326.
- [31] Presnyakov, A.A., Gorban, Y.A., Chrevyakova, V.V. (1961). The Aluminum-Zinc Phase Diagram. *Journal of Physical Chemistry*, 35, 632-633.
- [32] Savaşkan, T. (2017). *Malzeme Bilimi ve Malzeme Muayenesi*. İstanbul: Papatya Yayınevi.
- [33] Kuznetsov, G.M., Barsukov, A.D., Krivosheeva, G.B. (1986). Calculation of Phase Equilibria of The Al-Zn System. *Russian Metallurgy*, 5, 195-198.
- [34] Hekimoğlu, A.P., Turan, Y.E. (2019). Çinko Oranının Al-(5-50) Zn Alaşımlarının Yapısal ve Mekanik Özelliklerine Etkisi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9, 16-25.
- [35] Gonçalves, R.A., Silva, M.B. (2015). Influence of copper content on 6351 aluminum alloy machinability. *Procedia Manufacturing*, 1, 683-695.
- [36] Savaşkan, T., Bican, O., Alemdağ, Y. (2009). Developing aluminium-zinc-based a new alloy for tribological applications. *Journal of Material Science*, 44, 1969-1976.

- [37] Bican, O., Savaşkan, T.A. (2014). Comparative study of lubricated friction and wear behaviour of Al-25Zn-3Cu-3Si bearing alloy. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*, 228, 896-903.
- [38] Savaşkan, T., Bican, O. (2005). Effects of silicon content on the microstructural features and mechanical and sliding wear properties of Zn-40Al-2Cu-(0-5)Si alloys. *Materials Science Engineering A*, 404, 259-269.
- [39] Lee, P., Savaşkan, T., Laufer, E. (1987). Wear resistance and microstructure of Zn-Al-Si and Zn-Al-Cu alloys. *Wear*, 117, 79-89.
- [40] Alemdağ, Y., Savaşkan, T. (2008). Effects of silicon content on the mechanical properties and lubricated wear behaviour of Al-40Zn-3Cu-(0-5)Si alloys. *Tribology Letters*, 29, 221-227.
- [41] Bican, O., Savaşkan, T. (2012). Dry Sliding Friction and Wear Properties of Al-25Zn-3Cu-(0.5Si) Alloys in the As-Cast and Heat-Treated Conditions. *Tribology Letters*, 40, 327-336.
- [42] Savaşkan, T., Bican, O. (2010). Dry sliding friction and wear properties of Al-25Zn-3Cu-3Si alloy. *Tribology International*, 43, 1346-1352.
- [43] Bouacha, K., Yaltese, M.A., Mabrouki, T., Rigal, J.F. (2010). Statistical analysis of surface roughness and cutting forces using response surface methodology in hard turning of AISI 52100 bearing steel with CBN tool. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 28, 349-361.
- [44] Sharma, V.S., Dhiman, S., Sehgal, R., Sharma, S.K. (2008). Estimation of cutting forces and surface roughness for hard turning using neural networks. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 19, 473-483.
- [45] Konca, E., Cheng, Y.T., Weiner, A.M., Dasch, J.M., Alpas, A.T. (2006). Elevated temperature tribological behavior of non-hydrogenated diamond-like carbon coatings against 319 aluminum alloy. *Surface and Coatings Technology*, 200, 3996-4005.
- [46] Roy, P., Sarangi, S.K., Ghosh, A., Chattopadhyay, A.K. (2009). Machinability study of pure aluminium and Al-12% Si alloys against uncoated and coated carbide inserts. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 27, 535-544.
- [47] Zeren, M., Karakulak, E., Gümüş, S. (2011). Influence of Cu addition on microstructure and hardness of near-eutectic Al-Si-xCu-alloys. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 21, 1698-1702.
- [48] 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-7Si and Al-7Si-2.5 Cu cast alloys. *Journal of Material Science*, 42, 8714-8724.
- [49] Froehlich, A.R., Jacques, R.C., Strohaecker, T.R., Mombro, R. (2007). The correlation of machinability and microstructural characteristics of different extruded aluminum alloys. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 16, 784-791.
- [50] Pul, M., Şeker, U. (2014). Metal Matrisli Kompozitlerin Tornalanmasında İlerleme Oranının Kesici Takım Aşınma Davranışlarına Etkisi. *Politeknik Dergisi*, 17, 99-106.
- [51] Gómez-Parra, A., Álvarez-Alcón, M., Salguero, J., Batista, M., Marcos, M. (2013). Analysis of the evolution of the Built-Up Edge and Built-Up Layer formation mechanisms in the dry turning of aeronautical aluminium alloys. *Wear*, 302, 1209-1218.



- [52] Rubio, E.M., Camacho, A.M., Sánchez-Sola, J.M., Marcos, M. (2006). Chip arrangement in the dry cutting of aluminium alloys. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 16, 164-170.
- [53] Batista, M., Salguero, J., Gómez, A., Carrilero, M.S., Álvarez, M., Marcos Bárcena, M. (2010). Identification, analysis and evolution of the mechanisms of wear for secondary adhesion for dry turning processes of Al-Cu alloys. *Advanced Materials Research*, 107, 141-146.