



**T.C.  
BATMAN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Ti-6AL-4V'NİN TORNALANMASINDA  
TAKIM AŞINMASI VE YÜZEY  
PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİ EDEN  
PARAMETRELERİN ARAŞTIRILMASI**

**Musa GÜNEY**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**NİSAN-2016  
BATMAN  
Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

Musa GÜNEY tarafından hazırlanan “Ti-6Al-4V’nin Tornalanmasında Takım Aşınması ve Yüzey Pürüzlülüğüne Etki Eden Parametrelerin Araştırılması” adlı tez çalışması 25.04.2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

### İmza

#### Başkan

Doç. Dr. Erol KILIÇKAP

#### Danışman

Doç. Dr. Yahya Hışman ÇELİK

#### Üye

Doç. Dr. Çetin ÖZAY

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Doç. Dr. M. Tahir NALBANTÇILAR  
FBE Müdürü

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## **DECLARATION PAGE**

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Musa GÜNEY

Tarih: 25.04.2016

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

#### **Ti-6Al-4V'NİN TORNALANMASINDA TAKIM AŞINMASI VE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİ EDEN PARAMETRELERİN ARAŞTIRILMASI**

**Musa GÜNEY**

**Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Doç. Dr. Yahya Hışman ÇELİK**

**2016, 57 Sayfa**

**Jüri**

**Doç. Dr. Yahya Hışman ÇELİK**

**Doç. Dr. Erol KILIÇKAP**

**Doç. Dr. Çetin ÖZAY**

Talaşlı imalat, istenilen parça şeklini elde etmek için iş parçası üzerinden kesici takım vasıtasıyla istenilmeyen malzeme kısmının uzaklaştırıldığı bir imalat yöntemidir. Bu imalat yöntemi ile farklı özelliklere sahip malzemeler nihai şekle getirilmektedir. Özellikle yüksek mukavemet, iyi korozyon direnci, uzun servis ömrü ve hafiflik gibi üstün özelliklere sahip malzemelerin işlenmesinde bazı sorunlarla karşılaşmaktadır. Bu sorunların en başında kesici takımın hızlı aşınması ve işlenen yüzey kalitesinin kötü elde edilmesi gelir. Bu nedenle yapılan bu çalışmada üstün özelliklere sahip Ti-6Al-4V alaşımı CVD (TiCN+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiN) ve PVD (TiAlN) kaplı sementit karbür kesici takımlarla farklı kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği ve kesme uzunluğunun kombinasyonlarında kuru kesme şartları altında tornalanarak takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi incelenmiştir. Ayrıca, kesme parametrelerine bağlı olarak talaş kalınlıklarının değişimi araştırılmıştır. İlerleme, kesme derinliği ve kesme uzunluğunun artması hem CVD hem de PVD kaplı sementit karbür kesici takımlardaki aşınmayı arttırmıştır. Kesme hızının artması ise takım aşınmasını arttırmış yüzey pürüzlülüğünü ise optimum bir seviyeye kadar iyileştirmiştir. Özellikle, ilerlemenin ve kesme uzunluğunun artmasıyla beraber kesme hızının artması yüzey pürüzlülüğünün kötüleşmesine neden olmuştur. PVD kaplı kesici takımdaki aşınma CVD kaplı kesici takımdan daha az gözlemlenmiştir. Ancak, CVD kaplı kesici takıma göre PVD kaplı kesici takımdan elde edilen yüzey pürüzlülük değeri, kesme derinliği, ilerleme ve kesme uzunluğunun artmasıyla daha kötü olarak elde edilmiştir. Ayrıca talaş kalınlığı, kesme hızının artmasıyla düşerken kesme derinliği ve ilerlemenin artması ile artmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Takım Aşınması, Ti-6Al-4V, Tornalama, Yüzey Pürüzlülüğü.

## **ABSTRACT**

### **MS THESIS**

## **INVESTIGATION OF PARAMETERS AFFECTING ON TOOL WEAR AND SURFACE ROUGHNESS IN TURNING OF Ti-6Al-4V**

**Musa GÜNEY**

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF  
BATMAN UNIVERSITY  
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN MECHANICAL ENGINEERING**

**Advisor: Assoc. Prof. Dr. Yahya Hışman ÇELİK**

**2016, 57 Pages**

### **Jury**

**Assoc. Prof. Dr. Yahya Hışman ÇELİK**

**Assoc. Prof. Dr. Erol KILIÇKAP**

**Assoc. Prof. Dr. Çetin ÖZAY**

Machining is a manufacturing method that removes the unwanted materials over the surface of workpiece by means of cutting tool to obtain the desired piece shape. Materials having different properties take the final shape with this machining method. Especially, there are some problems in the machining of materials with excellent properties such as high strength, good corrosion resistance, long service life and low weight. The leading problem appears to be the fast wear of tool and the bad machining surface. Therefore, in this study, it was investigated that parameters have effect on tool wear and surface roughness by turning under dry cutting condition of Ti-6Al-4V alloy having excellent properties with CVD (TiCN+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiN) and PVD (TiAlN) cementite carbide cutting tools with the combinations of the different cutting speed, feed rate, cutting long and depth of cut. In addition, depending on cutting parameters, changes in chip thickness were investigated. Increase in feed rate, depth of cut and cutting length increased wear in both CVD and PVD coated cementite carbide cutting tool. On the other hand, increase in cutting speed increased tool wear, while surface roughness reduced to the optimum a level. Especially, with increase in feed rate and cutting length, increase in cutting speed caused the surface roughness to be worsened. The wear with PVD coated cutting tools was observed to be less than that of CVD coated cutting tools. However, the surface roughness value obtained with PVD coated cutting tools was worse when compared to CVD coated cutting tools with increase in depth of cut, feed rate and cutting length. Moreover, while chip thickness reduced with increase in cutting speed, it increased with increase in depth of cut and feed rate.

**Keywords:** Tool Wear, Ti-6Al-4V, Turning, Surface Roughness.

## ÖNSÖZ

Ti-6Al-4V'nin tornalanmasında takım aşınmasına ve yüzey pürüzlülüğüne etki eden parametrelerin araştırılması başlıklı tez çalışması beş bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde titanyum ve alaşımlarının işlenebilirliğinin önemi, ikinci bölümde daha önce yapılan çalışmalar ile genel bilgiler, üçüncü bölümde deneysel çalışmalar ve metod, dördüncü bölümde elde edilen sonuçlar ve tartışmalar, beşinci bölümde ise genel sonuçlar verilmiştir.

Tüm Yüksek Lisans çalışmam boyunca bana yol gösteren, yakın ilgisini, teşvik ve yardımlarını her zaman yanımda hissettiğim, takıldığım konularda çözümlere ulaşmam için değerli bilgilerini esirgemeyen ve bu çalışmada yapılan deneylerde yardımcı olan değerli hocam Doç. Dr. Yahya Hışman ÇELİK'e, çalışmalarım boyunca yardımlarını esirgemeyen, SEM görüntülerinin elde edilmesi ve yorumlanmasında katkı sunan çok değerli Doç. Dr. Erol KILIÇKAP hocama, tüm eğitim hayatım boyunca bana çok değerli bilgiler kazandıran tüm hocalarıma ve yakın ilgi ve anlayışlarını gördüğüm ailem ve mesai arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca, Batman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeler Birimine BTÜBAP-2015-YüksekLisans-4 Nolu projeye verdikleri mali destekten ötürü teşekkür ederim.

Musa GÜNEY  
BATMAN-2016

# İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ .....	vi
İÇİNDEKİLER .....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
SİMGELER.....	xii
KISALTMALAR .....	xiii
1. GİRİŞ .....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI .....	2
2.1. Literatür Çalışmaları .....	2
2.2. Titanyum ve Alaşımları .....	4
2.2.1. Titanyum ve alaşımlarının genel özellikleri .....	4
2.2.2. Titanyumun üretimi .....	5
2.2.3. Titanyum alaşımlarının sınıflandırılması.....	8
2.2.3.1. Saf titanyum veya alaşımsız titanyum .....	8
2.2.3.2. Alfa ( $\alpha$ ) titanyum alaşımları.....	9
2.2.3.3. Alfa ve Beta ( $\alpha + \beta$ ) titanyum alaşımları .....	10
2.2.3.4. Beta ( $\beta$ ) titanyum alaşımları .....	11
2.2.4. Titanyum ve alaşımlarının kullanım alanları .....	11
2.2.4.1. Medikal alanda titanyum kullanımı .....	12
2.2.4.2. Havacılık alanında titanyum kullanımı.....	13
2.2.4.3. Otomotiv alanında titanyum kullanımı .....	14
2.2.4.4. Denizcilik alanında titanyum kullanımı.....	15
2.3. Tornalama İşlemi .....	15
2.3.1. Kesici takımlar .....	15
2.3.2. Kesme koşulları .....	16
2.3.3. Kesme kuvvetleri .....	17
2.3.4. Kesme ve tezgâh gücü .....	18
2.3.4. Kesme SIVISI .....	18
2.3.5. Yüzey pürüzlülüğü.....	19
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	20
3.1. Çalışmanın Amacı.....	20
3.2. Deneysel Çalışmada Kullanılan Numune İş Parçaları.....	20
3.3. Deneysel Çalışmada Kullanılan Takım Tezgâhı .....	21
3.4. Deneysel Çalışmada Kullanılan Kesici Takımlar .....	22
3.5. Yüzey Pürüzlülüğünün Ölçülmesi .....	23

3.6. Takım Aşınmasının Ölçülmesi .....	24
3.7. Seçilen Parametreler ve Deneyin Yapılışı .....	25
<b>4. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA .....</b>	<b>29</b>
4.1. Yüzey Pürüzlülüğünün Değerlendirilmesi.....	29
4.2. Takım Aşınmasının Değerlendirilmesi.....	35
4.3. Talaş Kalınlığının Değerlendirilmesi.....	47
<b>5. SONUÇLAR.....</b>	<b>52</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>54</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>57</b>





## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Titanyumun fiziksel ve kimyasal özellikleri (Anık ve Süataç, 1986) .....	7
Çizelge 2.2. Ticari saflıktaki titanyum alaşımlarının genel özellikleri (Akyol, 2007) .....	8
Çizelge 2.3. Alfa ve Beta dengeleyici elementler (Doğan, 2002) .....	10
Çizelge 2.4. Uçakta kullanılan malzemelerin sıcaklık/yoğunluk karşılaştırmaları (Erdem ve Aydın, 2006) .....	13
Çizelge 3.1. Ti-6Al-4V alaşımının kimyasal bileşimi .....	21
Çizelge 3.2. Ti-6Al-4V alaşımının mekanik özellikleri .....	21
Çizelge 3.3. Kesme parametrelerine bağlı olarak deneysel çalışmalardan elde edilen aşınma, ortalama yüzey pürüzlülükleri ve talaş kalınlığı değerleri .....	26
Çizelge 3.3. Kesme parametrelerine bağlı olarak deneysel çalışmalardan elde edilen aşınma, ortalama yüzey pürüzlülükleri ve talaş kalınlığı değerleri (Devamı) .....	27
Çizelge 3.3. Kesme parametrelerine bağlı olarak deneysel çalışmalardan elde edilen aşınma, ortalama yüzey pürüzlülükleri ve talaş kalınlığı değerleri (Devamı) .....	28

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Titanyum cevheri ( <a href="http://eng.sut.ac.th">http://eng.sut.ac.th</a> ) .....	6
Şekil 2.2. Kroll usulü titanyum üretimi ( <a href="http://eng.su.ac.th">http://eng.su.ac.th</a> ) .....	6
Şekil 2.3. Titanyum süngeri ( <a href="http://eng.su.ac.th">http://eng.su.ac.th</a> ) .....	7
Şekil 2.4. Titanyum alaşımının alfa fazından (HSP), beta fazına (HMK) dönüşümü ( <a href="http://eng.su.ac.th">http://eng.su.ac.th</a> ) .....	9
Şekil 2.5. Bazı titanyum alaşımlarının sıcaklık karşısında etkisi (Doğan, 2002).....	10
Şekil 2.6. Motorlardan beklenenlere bağlı olarak Ti alaşım cinslerinin kullanım oranı (Erdem ve Aydın, 2006) .....	14
Şekil 2.7. Tornalama işlemi.....	15
Şekil 2.8. Kesici takımında kesme kısımları .....	16
Şekil 2.9. Tornalamada oluşan kuvvetler .....	17
Şekil 2.10. Ortalama yüzey pürüzlülük değerinin tanımlanması ve matematiksel ifadesi (Arafat, 2009).....	19
Şekil 3.1. Deneysel çalışmada kullanılan Ti-6Al-4V alaşımları.....	20
Şekil 3.2. Deneysel çalışmada kullanılan üniversal torna tezgâhı.....	21
Şekil 3.3. İş parçasının tornada işlenmesi.....	22
Şekil 3.4. TiCN+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiN CVD kaplı Sementit Karbür kesici takım .....	22
Şekil 3.5. TiAlN PVD kaplı Sementit Karbür kesici takım.....	23
Şekil 3.6. Kesici takım tutucu.....	23
Şekil 3.7. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı.....	23
Şekil 3.8. Metalurjik mikroskop .....	24
Şekil 3.9. Tarama elektron mikroskobu.....	24
Şekil 4.1. İlerlemeye bağlı ortalama yüzey pürüzlülüğü .....	30
Şekil 4.2. Kesme hızına bağlı ortalama yüzey pürüzlülüğü .....	31

<b>Şekil 4.3.</b> Kesme derinliğine bağlı ortalama yüzey pürüzlülüğü.....	33
<b>Şekil 4.4.</b> Kesme uzunluğuna bağlı ortalama yüzey pürüzlülüğü .....	34
<b>Şekil 4.5.</b> Kesme derinliği 1,0 mm’de CVD kaplı Sementit Karbür kesici takımların mikroskop görüntüleri.....	35
<b>Şekil 4.6.</b> Kesme derinliği 1,0 mm’de PVD kaplı Sementit Karbür kesici takımların mikroskop görüntüleri.....	36
<b>Şekil 4.7.</b> İlerlemeye bağlı takım aşınması.....	37
<b>Şekil 4.8.</b> Kesme derinliği 1,5 mm için CVD kaplı Sementit Karbür kesici takımların mikroskop görüntüleri.....	38
<b>Şekil 4.9.</b> Kesme derinliği 1,5 mm için PVD kaplı Sementit Karbür kesici takımların mikroskop görüntüleri.....	39
<b>Şekil 4.10.</b> Kesme hızına bağlı takım aşınması .....	40
<b>Şekil 4.11.</b> Kesme derinliğine bağlı takım aşınması .....	42
<b>Şekil 4.12.</b> Kesme uzunluğuna bağlı takım aşınması .....	43
<b>Şekil 4.13.</b> Kullanılmamış CVD kaplı Sementit Karbür kesici takımın EDX analizi....	44
<b>Şekil 4.14.</b> Kullanılmamış PVD kaplı Sementit Karbür kesici takımın EDX analizi ....	44
<b>Şekil 4.15.</b> Kullanılmış CVD kaplı Sementit Karbür kesici takımın EDX analizi.....	45
<b>Şekil 4.16.</b> Kullanılmış PVD kaplı Sementit Karbür kesici takımın EDX analizi .....	45
<b>Şekil 4.17.</b> CVD kaplı Sementit Karbür kesici takımların SEM görüntüleri .....	46
<b>Şekil 4.18.</b> PVD kaplı Sementit Karbür kesici takımların SEM görüntüleri.....	47
<b>Şekil 4.19.</b> Kesme hızına bağlı talaş kalınlığı .....	48
<b>Şekil 4.20.</b> İlerlemeye bağlı talaş kalınlığı .....	49
<b>Şekil 4.21.</b> Kesme derinliğine bağlı talaş kalınlığı.....	51

## SİMGELER

<b>a</b>	Kesme derinliği (mm)
<b>b</b>	Talaş genişliği (mm)
<b>d</b>	Tornalanan parça çapı (mm)
<b>f</b>	İlerleme (mm/dev)
<b>h</b>	Talaş kalınlığı (mm)
<b>F<sub>s</sub></b>	Kesme kuvveti (N)
<b>F<sub>f</sub></b>	İlerleme kuvveti (N)
<b>F<sub>r</sub></b>	Radyal kuvveti (N)
<b>F<sub>z</sub></b>	Talaş kaldırma kuvveti (N)
<b>K<sub>s</sub></b>	Özgül kesme kuvveti (N/mm <sup>2</sup> )
<b>L</b>	Kesme uzunluğu (mm)
<b>n</b>	Torna tezgah devri (dev/dak)
<b>P<sub>s</sub></b>	Kesme için gereken güç (kW)
<b>P<sub>f</sub></b>	İlerleme için gereken güç (kW)
<b>P<sub>m</sub></b>	Tezgah motor gücü (kW)
<b>r</b>	Kalem uç radyüsü (mm)
<b>R<sub>a</sub></b>	Ortalama yüzey pürüzlülüğü (μm)
<b>u</b>	İlerleme hızı (mm/dak)
<b>V</b>	Kesme hızı (m/dak)
<b>VB</b>	Ortalama serbest yüzey aşınması (mm)
<b>η<sub>m</sub></b>	Kinematik sistem verimi

## KISALTMALAR

<b>BUE</b>	Built-Up Edge (Yığıntı Talaş Oluşumu)
<b>Cp-Ti</b>	Commercially Pure Titanium (Ticari Saflıktaki Titanyum)
<b>CVD</b>	Chemical Vapour Deposition (Kimyasal Buhar Çökertme)
<b>EDX</b>	Enerji Dağılımlı X-Işını
<b>HMK</b>	Hacim Merkezli Kübik
<b>HSP</b>	Hegzagonal Sıkı Paket
<b>PVD</b>	Physical Vapour Deposition (Fiziksel Buhar Çökertme)
<b>SEM</b>	Scanning Electron Microscope (Taramalı Elektron Mikroskobu)
<b>Ti</b>	Titanyum
<b>YKS</b>	Yeniden Kristalleşme Sıcaklığı

## 1. GİRİŞ

Titanyum ve alaşımları uçak endüstrisi, otomotiv, spor ekipmanları, biomedikal, petrol sanayi ve deniz uygulamaları gibi değişik alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Wong ve ark., 2008). Bu alaşımlar, yüksek mukavemet, yüksek sıcaklık dayanımı, iyi korozyon direnci, daha uzun servis ömrü ve kompozit yapılarla rekabet edici üstün özelliklere sahiptirler (Wong ve ark., 2008; Ramesh ve ark., 2008a). Diğer metallere göre hafif olmaları titanyum ve alaşımlarına önemli kullanım alanı sağlamaktadır. Özellikle uzay ve havacılık endüstrilerinde araçların ağırlığını azalttığı için yakıt tüketimini önemli ölçüde azaltmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda, korozyona ve erozyona maruz kalan yerlerde daha uzun çalışma ömrü sunmaktadır (Ramesh ve ark., 2008b). Ancak titanyum ve alaşımlarının talaşlı işlenmesi diğer metalik malzemeler ile karşılaştırıldığında takım ve iş parçası arasındaki kimyasal etkileşimden, yüksek sıcaklık mukavemetinden ve düşük elastik modülüne sahip olmasından dolayı oldukça zordur (Wong ve ark., 2008; Armendia ve ark., 2012). Özellikle titanyum ve alaşımlarının düşük termal iletkenliğe sahip olması, kesici takımın iş parçası ile kolaylıkla tepkimeye girmesine neden olmaktadır. Alaşımın bu özelliği talaşlı işlenebilirliği olumsuz etkiler. Bu talaşlı işleme zorluklarının üstesinden gelmek ve titanyum alaşımlarının talaşlı işleme verimliliğini arttırmak için iş parçası malzemesi, kesme şartları, takım malzemesi ve geometrisi gibi faktörleri içine alan yüksek yatırım maliyeti ve özel kesici takımlara ihtiyaç duyulmaktadır (Ramesh ve ark., 2008a; Armendia ve ark., 2012).

Bir malzemenin işlenebilirliği; takım ömrü, işlem esnasında talaş uzaklaştırma oranı, kesme kuvvetleri ve son yüzey kalitesi gibi faktörler tarafından belirlenir. Titanyum alaşımlarının işlenmesi için kullanılan kesici takımların ömürleri çok kısadır. Çünkü üstün özelliklere sahip olan titanyum ve alaşımlarının işlenmesinde kesici takımında hızlı aşınma meydana gelmektedir (Muthukrishnan ve Davim, 2011).

Takım aşınması, çapak oluşumunu engellemek, yüzey pürüzlülüğünü azaltmak ve kimyasal yapıdaki değişiklikleri minimize etmek için kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği, takım geometrisi, takım malzemesi gibi parametreler uygun seçilmeli ve işlem sırasında soğutma sıvısı kullanılmalıdır (Ramesh ve ark., 2008b).

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

### 2.1. Literatür Çalışmaları

Titanyum ve alaşımlarının tornalanması ile ilgili yapılmış çalışmalar aşağıda ayrıntılı olarak verilmiştir.

Ramesh ve arkadaşları (2008a), titanyum alaşımlarının tornalamasında yüzey pürüzlülüğü azaltmak için tepki yüzey metodunu (RSM) ve Taguchi metodunu kullanmışlardır. Deneyleri, CVD (TiN, TiCN, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) kaplı sert karbürlü kesici takımları kullanarak 38 mm çapında, 125 mm uzunluğunda  $\alpha+\beta$  titanyum alaşımı olan (Grade 5) G5 malzeme üzerinde gerçekleştirmişlerdir. Kesme şartları olarak, 40; 60 ve 80 m/dak kesme hızları, 0,130; 0,179 ve 0,220 mm/dev ilerleme değerleri, 0,50; 0,75 ve 1,00 mm kesme derinliklerini seçmişlerdir. Deneysel çalışmadan kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği gibi parametrelere bağlı olarak elde ettikleri verileri RSM modeli ile tanımlamışlardır. İlerlemenin yüzey pürüzlülüğüne etki eden en önemli parametre olduğunu, ilerlemenin ve kesme derinliğinin artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün önemli ölçüde arttırdığını, kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün azaldığını tespit etmişlerdir. Sonuç RSM modeli ile deneysel sonuçların birbirlerine çok yakın olduğunu ve bu modelin tahmin üretmek için kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Armendia ve arkadaşları (2012), üç farklı  $\alpha+\beta$  titanyum alaşımı olan Ti-6Al-4V, Ti-5Al-4V-0.6Mo-0.4Fe (Ti54M) ve Ti6246 malzemelerin tornalamasında ısıl davranışlarına duyarlılığı analiz etmek için deneysel çalışmalar yapmışlardır. Tornalama deneylerini CNMG 120408-23 H13A kaplamasız sert karbür uçları ve C5-DCLNL-35060-12 takım tutucusunu kullanarak 0,10; 0,15; 0,20 ve 0,25 mm/dev ilerleme değerlerinde, 2 mm kesme derinliği ve 15 dakika kesme zamanı için maksimum kesme hızını ve kesme kuvvetlerini belirlemeye çalışmışlardır. Her üç alaşım için kesme zamanı arttıkça takım aşınmasının, ilerleme arttıkça kesme kuvvetlerinin arttığını tespit etmişlerdir. Ti6246 alaşımı diğer iki titanyum alaşımından daha yüksek mekanik özelliklere sahip olduğundan tornalama esnasında yüksek ısıl davranışlarının meydana geldiğini ve bunun da Ti6246 alaşımının tornalamasında en yüksek takım aşınmasına ve kesme kuvvetlerine maruz kalmasına neden olduğunu gözlemişlerdir. Ti54M alaşımı, yaygın kullanılan Ti-6Al-4V alaşımına benzer mekanik özelliklere sahip olmasına rağmen, Ti54M alaşımında en düşük aşınma meydana geldiğini gözlemişlerdir.

Maksimum kesme hızları, Ti6246 alaşımı için 60 m/dak, Ti-6Al-4V alaşımı için 80 m/dak ve Ti54M alaşımı için 90 m/dak olduğu sonucuna varmışlardır.

Muthukrishnan ve Davim (2011), 40 mm çapında ve 250 mm uzunluğunda Ti-6Al-4V titanyum alaşımını DNM6 120408 ve TTI 15 (%80 alüminyum oksit ve %20 titanyum karpit içeren) seramik kesici takımlarla kesme sıvısını kullanarak ve kuru tornalama işlemine tabi tutmuşlardır. Deneyle, 45; 90 ve 130 m/dak kesme hızlarında, 0,10; 0,20 ve 0,32 mm/dev ilerleme değerlerinde ve 0,50 ve 0,75 mm kesme derinliklerinde gerçekleştirmişlerdir. Kesme parametrelerine bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünü ve SEM-optik mikroskobunda takım aşınmalarını incelemişlerdir. Kesme sıvısı kullanılan deneylerde, kuru şartlarda yapılan deneylere göre çok daha iyi yüzeyler elde etmişlerdir. TTI 15 seramik kesici takımın ıslak kesme şartları altında daha az aşındığını, soğutma suyunun takım ömrünü yaklaşık olarak %30 arttırdığını, takım aşınmasında difüzyon aşınma türünün daha etkili olduğunu, kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülük değerinin azaldığını ve ilerleme arttıkça yüzey pürüzlülük değerinin arttığını gözlemişlerdir.

Ramesh ve arkadaşları (2008b), titanyum alaşımlarının işlenmesi için kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği gibi parametreleri göz önünde bulundurarak Bulanık Mantık temelli modelleme yapmışlardır. Ti-6Al-4V alaşımını uç yarıçapı 0,8 mm olan polikristalin elmas (PCD) takımı kullanarak 10; 40 ve 70 m/dak kesme hızlarında, 0,065; 0,130 ve 0,220 mm/dev ilerleme değerlerinde, 0,50; 0,75 ve 1,00 mm kesme derinliklerinde, kesme sıvısı kullanmadan tornalamışlardır. Onlar, kesme parametrelerine bağlı olarak takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetlerini ölçmüşlerdir. Elde ettikleri değerleri Bulanık Mantık modeline aktarmışlardır. Bulanık mantık modelinin giriş parametrelerini kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği olarak, çıkış parametrelerini ise takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü ve kesme basıncı olarak belirlemişlerdir. Deneysel çalışmadan elde edilen gerçek değerler ile Bulanık Mantık modelinin ürettiği tahmini değerlerin birbirine yakın olduğunu görmüşlerdir. Kesme hızının artmasıyla takım aşınmanın arttığını, yüzey pürüzlülüğünün azaldığını, ilerleme arttıkça hem takım aşınmanın hem de yüzey pürüzlülüğünün arttığını, kesme hızı ve ilerleme arttıkça kesme basıncının azaldığını, işleme zamanı arttıkça takım aşınmanın arttığını gözlemişlerdir.

Andriya (2012), Ti-6Al-4V alaşımını kesme sıvısı kullanmadan 60; 80; 100; 120 ve 140 m/dak kesme hızlarında, 0,04; 0,08; 0,12; 0,16 ve 0,20 mm/dev ilerleme değerlerinde, 0,5; 0,8; 1,1; 1,4 ve 1,7 mm kesme derinliklerinde TiAlN kaplı kesici



takımları kullanarak tornalamasını gerçekleştirmiştir. Deneysel çalışmada, tornalanan titanyum alaşımının yüzey pürüzlülüğünü ve kesme kuvvetlerini incelemiştir. Ayrıca, tepki yüzey metodu (RSM) kullanarak analizler yapmıştır. Bu analizleri giriş-çıkış parametrelerine dayanarak kritik talaşlı işleme parametrelerini belirlemiştir. İlerleme ve kesme derinliği arttıkça kesme kuvvetlerinin arttığını ve ilerleme arttıkça yüzey pürüzlülüğünün arttığını gözlemiştir.

Ünal ve Karaca (2007), Ti-6Al-4V alaşımını dik işlem merkezli bir CNC tezgâhında farklı işleme koşulları altında işlemişlerdir. Deneysel çalışmada, kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği gibi parametreleri değiştirilerek; farklı parametrelerin yüzey pürüzlülüğüne, talaş tipine ve yüzey mikrosertliğine olan etkilerini incelemiştir. Deneysel çalışmada, kesme hızı ve ilerlemenin artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün arttığı tespit edilmiştir. İşlem neticesinde, yüzey sertliğinin esas malzemeden daha yüksek, yüzey altı bazı bölgelerde ise aşırı yaşlanma nedeniyle daha yumuşak bölgelerin varlığını gözlemlemiştir. Ayrıca, genel olarak sürekli sıvanmalı ve testere diş kesitli talaşların oluştuğunu belirlemiştir.

Zhang ve arkadaşları (2013), TC<sub>4</sub> titanyum alaşımının ultrasonik titreşimli tornalanmasında elmas takım aşınmasının minimize edilmesine yönelik deneysel çalışma yapmışlardır. Deneysel çalışmada, 30 mm çapında TC<sub>4</sub> titanyum alaşımını, DC motor hız kontrolü ile 80 ile 1800 dev/dak dönme değerleri arasında tornalamışlardır. Ultrasonik titreşimler, TC<sub>4</sub> titanyum alaşımının tornalanmasında kesici takım aşınmasının azalmasına neden olduğunu, ilerleme, dönme devri ve kesme derinliği gibi kesme parametrelerinin artması takım aşınmasının artmasına neden olduğunu gözlemiştir. Sonuç olarak, kesici takım aşınmalarının genellikle yüksek kesme kuvvetleri ve kesme sıcaklıkları ile elde edildiğine değinmiştir.

## **2.2. Titanyum ve Alaşımları**

### **2.2.1. Titanyum ve alaşımlarının genel özellikleri**

Titanyum manyetik özelliği olmayan, korozyona dayanımı ve biyouyumluluğu yüksek malzeme olarak tanımlanır (Yalçın ve Varol, 2008). Titanyum yeryüzünde alüminyum, demir ve magnezyumun ardından en yüksek rezerve sahip dördüncü elementtir (Uzun ve Bayındır, 2010). Doğada rutil (TiO<sub>2</sub>) veya ilmenit (FeTiO<sub>3</sub>) şeklinde bulunur. Oksijene karşı aşırı ilgisinden dolayı, titanyumu saflaştırma ve kullanılmaya hazır duruma getirme maliyeti oldukça yüksektir (Erdem ve Aydın, 2006).

Özgül ağırlığı çeliğin yaklaşık olarak %60'ı, alüminyumun ise 1,5 katıdır. Hafif bir metal olmasına rağmen yüksek bir ergime sıcaklığına (1727 °C) sahiptir. Saf titanyumun ve özellikle alaşımlarının yükselen sıcaklıklardaki mukavemet özellikleri çok iyidir. Bütün bunların tabii bir sonucu olarak da titanyum ve alaşımları jet ve roket motorlarının yapımında, özellikle ses hızını aşan uçakların gövde kaplamalarında ve iskeletlerinin çeşitli kısımlarında gittikçe daha fazla miktarda kullanılmaktadır. Titanyum ve alaşımları ısı mukavemetleri ve hafifliklerinin yanı sıra korozyona karşı dayanıklılıklarıyla da bilinmektedir. Bu sebepten ötürü kimya ve petrokimya sanayiinde, denizcilikte ve aşırı korozif ortamlarda özel bir yere sahiptir. Titanyum ülkemizde, korozyona karşı dayanıklılığından dolayı Aliğa Petrokimya Tesislerinde asetik asit iletim hatlarındaki borularda kullanılmaktadır ve korozyon oluşumunun önlenmesi için tek çözümdür. Titanyum, ısı mukavemeti ve özgül ağırlığı düşük olması nedeniyle savunma sanayiinde ateşli silahların yapımında, organik sıvılara dayanıklılığından dolayı tıpta kemiklerin birleştirilmesinde kullanılmaktadır. Ayrıca, endüstride kullanılan birçok malzemenin alaşımlandırılmasında da önemli bir yer tutmaktadır (Anık ve Süataç, 1986).

Titanyumun bazı temel özellikleri aşağıda sıralanmıştır.

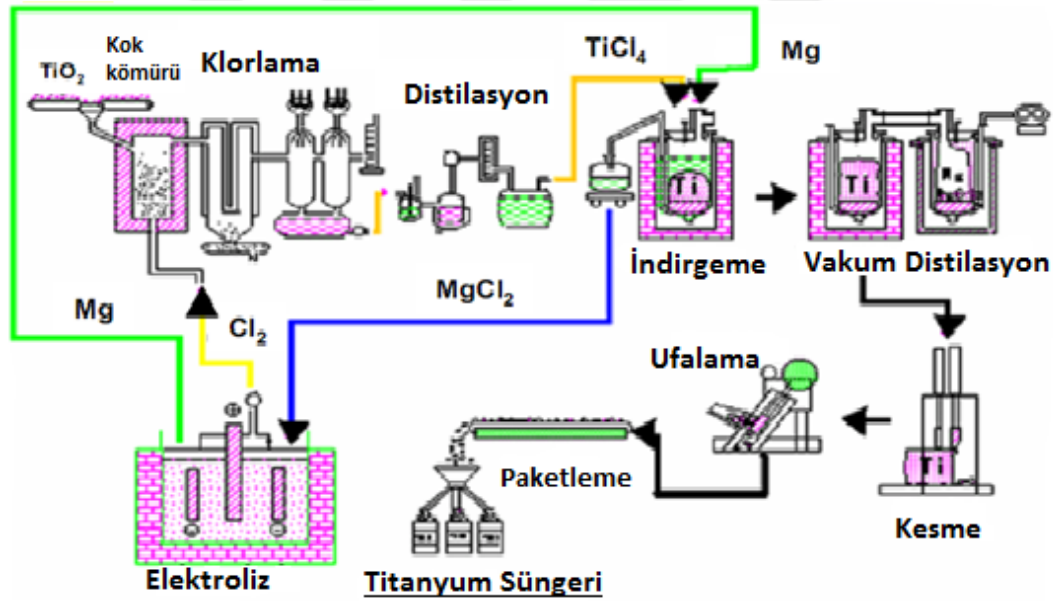
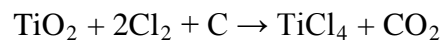
- Tüm formlarda bulunabilmesi
- Diğer yüksek performanslı malzemelere göre daha ekonomik olması ve kolay temin edilebilmesi
- Kaynak yöntemiyle birleştirilebilirliği
- Çelik kadar mukavemetli ve ancak çeliğin yarısı ağırlığında olması
- Ateşe ve ısı şoklarına karşı dirençli olması
- Biyolojik uyumluluk ve zehirli olmamaları (Bağcı, 2001).

### 2.2.2. Titanyumun üretimi

Titanyum cevherleri rutil ( $TiO_2$ ) ve ilmenit ( $FeTiO_3$ )'dir (Şekil 2.1). Titanyum cevherlerinin çeşitli işlemlerden geçirilerek saf titanyumun elde edilmesi oldukça masraflıdır. Titanyum cevheri öğütülüp manyetik alandan geçirilerek içerisindeki demir oksitten arındırılır ve uygulanan çökeltme ile diğer yabancı maddeler uzaklaştırılır. Geriye kalan  $TiO_2$  sülfürik asit ile reaksiyona sokularak titanil sülfirikasit elde edilir. Daha sonra bu asidin sıcak su ile karıştırılarak  $TiO_2$  çöker ve filtre ile süzülerek alınır. Sonuçta  $TiO_2$  saf olarak elde edilmiş olur (Anık ve Süataç, 1986).

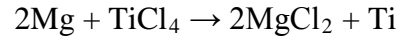
a) Rutil (TiO<sub>2</sub>)b) İlmenit (FeTiO<sub>3</sub>)Şekil 2.1. Titanyum cevheri (<http://eng.sut.ac.th>)

Bu bileşiği indirgemek için Kroll tarafından 1939 yılında geliştirilen "Kroll Usulü" kullanılır (Şekil 2.2). Bu usulle ancak 1947 yılında teknik üretime geçilebilmiştir. Kroll usulüne göre TiO<sub>2</sub>, C ve Cl ile karıştırılıp, 800 °C'ye kadar ısıtılır ve TiCl<sub>4</sub> elde edilir (Anık ve Süataç, 1986).

Şekil 2.2. Kroll usulü titanyum üretimi (<http://eng.su.ac.th>)

Oluşan titanyum klorür 135 °C'de yoğunlaştırılıp kısmi damıtma (distilasyon) ile saflaştırılır. Ardından 800 °C civarında erimiş Mg üzerinden geçirilir. Sonuçta titanyum sünger denilen iri parçalı poröz bir metal meydana gelir (Şekil 2.3). Bu malzeme de ark

fırınında ve vakum altında ısıtılarak son kalan Mg parçaları buharlaştırılır ve yaklaşık % 99 saflıkta titanyum elde edilir (Anık ve Süataç, 1986).



Şekil 2.3. Titanyum süngeri (<http://eng.su.ac.th>)

Saf titanyumun mukavemeti, saflık derecesine bağlıdır fakat alaşımlarına göre oldukça düşüktür. Titanyum alaşımlarının mukavemeti 1600-1700 N/mm<sup>2</sup>' ye kadar yükselmektedir. Çizelge 2.1'de titanyumun fiziksel ve kimyasal özellikleri verilmiştir (Anık ve Süataç, 1986).

Çizelge 2.1. Titanyumun fiziksel ve kimyasal özellikleri (Anık ve Süataç, 1986)

Elastiklik modülü E	1,05x10 <sup>5</sup> N/mm <sup>2</sup>
Kayma modülü (G)	4,5x10 <sup>4</sup> N/mm <sup>2</sup>
Kristal kafesi	°c - Ti, hegzogonal 885 °C 3-Ti, HMK 885-1725 °C
Erime sıcaklığı (T <sub>e</sub> )	1727 °C
Dönüşüm sıcaklığı (T <sub>d</sub> )	885 °C
Dövme sıcaklığı (T <sub>döv</sub> )	700-1000 °C
Yeniden kristalleşme sıcaklığı (Tr)	600-700 °C
Yoğunluk (P)	45 N/dm <sup>3</sup>
Kopma Uzaması (%)	% 15-30 *
Büzülme	% 30-35 *
Çekme mukavemeti (σ <sub>ç</sub> )	300-750 N/mm <sup>2</sup> *
Akma mukavemeti (σ <sub>a</sub> )	200-450 N/mm <sup>2</sup> *
* Saflık derecesine bağlı olarak	

### 2.2.3. Titanyum alaşımlarının sınıflandırılması

Uygulamalarda, titanyum alaşımları ticari saflıktaki titanyuma göre daha büyük oranda tercih edilmektedir. Titanyum alaşımları, Saf titanyum veya alaşımsız titanyum, Alfa ( $\alpha$ ) titanyum alaşımları, Alfa ve Beta ( $\alpha+\beta$ ) titanyum alaşımları ve Beta ( $\beta$ ) titanyum alaşımları olmak üzere dört gruba ayrılır. Bu alaşımların bazılarının kullanım oranı aşağıda verilmiştir (dosya.sakarya.edu.tr)

<u>Alaşımlar</u>	<u>Kullanım oranı</u>
▪ “Saf” Ti (99,0 + %Ti)	35 %
▪ $\alpha$ - Ti alaşımları (Ti-5Al-2.5Sn)	10 %
▪ $\beta$ - Ti alaşımları (Ti-13V-11Cr-3Al)	~1 %
▪ $\alpha + \beta$ - Ti alaşımları (Ti-6Al-4V)	55 %

#### 2.2.3.1. Saf titanyum veya alaşımsız titanyum

CP (commercially pure-ticari saflıktaki) titanyum olarak da bilinirler. İyi korozyon dayanımı ve kaynak edilebilme kabiliyeti istenilen yerlerde kullanılır (Bağcı, 2001). Korozyon direnci yüksektir, ancak mukavemetleri alaşımlı olanlara göre düşüktür. Soğuk çalışma ortamlarında tercih edilirler (Ensarioğlu ve Çakır, 2005).

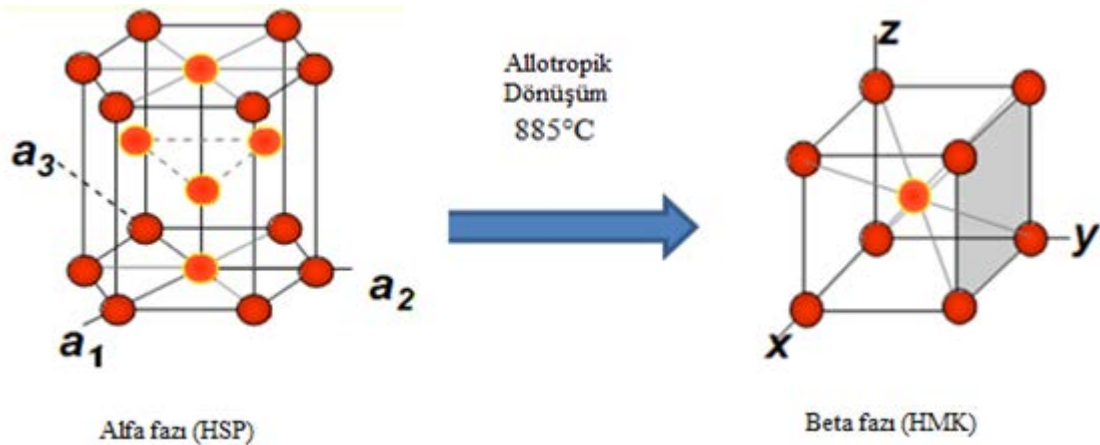
Ticari saflıktaki titanyum içerisinde %99,5-%98,635 oranında titanyum bulunur. Yapı oda sıcaklığında Hekzagonal Sıkı Paket (HSP), yapıda ve  $\alpha$  fazındadır. 885 °C üzerinde  $\beta$  fazına dönüşür. Hacim değişimi %0,1 dir. Ancak  $\alpha$  ve  $\beta$  fazının her ikisinin de bir arada bulunduğu bir sıcaklık aralığı da bulunmaktadır. Çizelgede 2.2’de ticari saflıktaki titanyum alaşımlarının genel özelliği verilmektedir (Doğan, 2002).

**Çizelge 2.2.** Ticari saflıktaki titanyum alaşımlarının genel özellikleri (Akyol, 2007)

ASTM Standardı	Akma Dayanımı (Mpa)	Çekme Dayanımı (Mpa)	Dönüşüm sıcaklıkları		Alaşım Elementleri (max %)				
			Alfa	Beta	N	C	H	Fe	O
Grade 1	170	240	888	880	0,03	0,10	0,015	0,20	0,18
Grade 2	280	340	913	890	0,03	0,10	0,015	0,30	0,25
Grade 3	380	450	920	900	0,05	0,10	0,015	0,30	0,35
Grade 4	480	550	950	905	0,05	0,10	0,015	0,50	0,40

Oda sıcaklığındaki alaşımsız titanyumun içyapısı %100  $\alpha$  fazındadır. Yabancı elementlerin ve özellikle de demir miktarı arttıkça, içyapısında ve tane sınırlarında

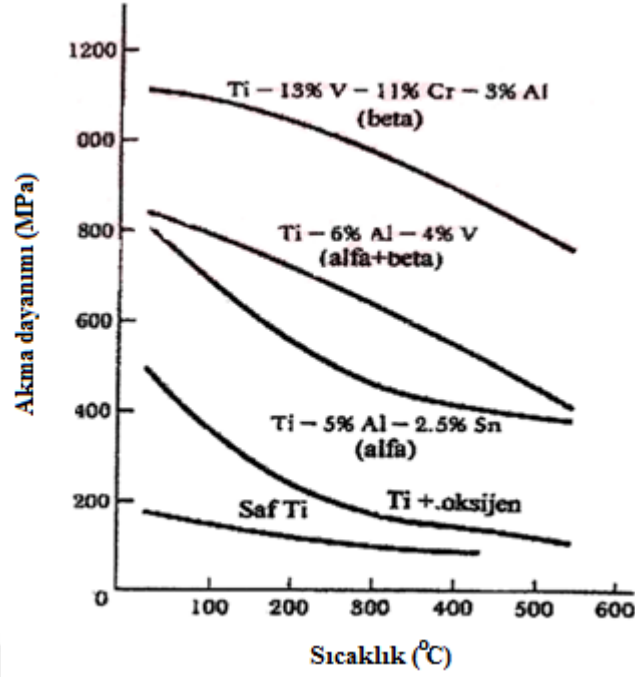
küçük fakat artan oranlarda  $\beta$  fazına rastlanır (Akyol, 2007).  $\beta$  fazında hacim merkezli kübik (HMK) kristal yapıdadır. Şekil 2.4'te  $\alpha$  fazında HSP kristal yapısından,  $\beta$  fazında HMK kristal yapısına dönüşümü gösterilmektedir.



Şekil 2.4. Titanyum alaşımlarının alfa fazından (HSP), beta fazına (HMK) dönüşümü (<http://eng.su.ac.th>)

### 2.2.3.2. Alfa ( $\alpha$ ) titanyum alaşımları

Bu alaşımların mikroyapıları yüksek oranda alfa faz ve bazı durumlarda da tamamen alfa faz içerir. Alfa alaşımları yüksek sıcaklık dayanımı veya sürünme dayanımı istenen uygulamalarda daha çok kullanılırlar. Alfa alaşımları kriyojenik uygulamalarda (-253 °C) uygulamalarda kullanılırlar ([web.itu.edu.tr](http://web.itu.edu.tr)). Alfa titanyum alaşımları genellikle alüminyum, kalay ve zirkonyum elementlerini içerir. En çok bilinen  $\alpha$  alaşımlarında %5 Al - %2,5 Sn içerirler. Bunların her ikisi de alfaya katı eriyik mukavemetlenmesi sağlar. Bu alaşımlar HSP yapılarına rağmen yüksek sıcaklıklarda yüksek mukavemet gösterirler. En yüksek mukavemetlerini 315-595 °C sıcaklık aralığında gösterirler. Sürünme dayanımları beta alaşımlarına göre daha fazladır. Bu nedenle yüksek sıcaklıklarda kullanılırlar. Şekil 2.5' te bazı titanyum alaşımlarının sıcaklığının akma dayanımına etkisi gösterilmektedir (Doğan, 2002).



Şekil 2.5. Bazı titanyum alaşımlarının sıcaklık karşısında etkisi (Doğan, 2002)

### 2.2.3.3. Alfa ve Beta ( $\alpha + \beta$ ) titanyum alaşımları

$\alpha$  ve  $\beta$  dengeleyicilerin uygun dengesi ile oda sıcaklığında  $\alpha$  ve  $\beta$ 'nin bir karışımı üretilir. Çizelge 2.3'te  $\alpha$  ve  $\beta$  dengeleyici elementler görülmektedir. Bu tür alaşımlar  $\beta$  fazlı alaşımlar kadar yüksek mukavemete sahip değillerse de, yoğunluklarının düşük olması nedeniyle özgül dayanımı yüksek malzemelerdir (Doğan, 2002).

Çizelge 2.3. Alfa ve Beta dengeleyici elementler (Doğan, 2002)

Alaşım elementi	Alaşım elementi miktarı (% Ağırlık)	Yapı hatası
Alüminyum	2-7	Alfa dengeleyici
Kalay	2-6	Alfa dengeleyici
Vanadyum	2-15	Beta dengeleyici
Molibden	2-13	Beta dengeleyici
Krom	2-12	Beta dengeleyici
Bakır	1-3	Beta dengeleyici
Zirkonyum	2-8	Sürünme dayanımı artırır
Silikon	0,05-1	Sürünme dayanımı artırır

Alfa beta alaşımları tavllanmış koşulda ya da çözelti ısıl işlemi ve yaşlandırılmış koşullarda kullanılabilir. Bu alaşımlar ısıl işlem gördükten sonra yüksek özgül dayanımlarından dolayı mükemmel kırılma tokluğu gösterirler (web.itu.edu.tr). Uygulamada kullanılan tüm titanyum alaşımlarının %70'i  $\alpha + \beta$  alaşımlarından

oluşmaktadır.  $\alpha+\beta$  titanyum alaşımlarının en yaygın olarak kullanılan türü Ti-6Al-4V alaşımıdır (Doğan, 2002).  $\alpha$  fazı, daha yumuşak ve uygulanabilir iken  $\beta$  fazı daha sert ve mukavemetlidir.  $\alpha$  ve  $\beta$  oranlarının değiştirilmesiyle mekanik özellikleri büyük ölçüde değişir (Uzun ve Bayındır, 2010). Ti-6Al-4V alaşımı dünyadaki titanyum miktarının %50 si gibi büyük bir yüzdesini oluşturmaktadır. Bu alaşımlar uzay ve hava araçları endüstrisinde %80, medikal protezlerde %3 oranlarında kullanılmaktadır. Çok yönlü olan bu alaşım, 399 °C - 510 °C sıcaklık aralığında kullanılabilir (Bağcı, 2001).

#### **2.2.3.4. Beta ( $\beta$ ) titanyum alaşımları**

Bu alaşımlar önemli miktarda  $\beta$  fazını kararlaştırıcı elementler olan vanadyum ve molibden içerirler. Sertleştirilebilme, dövülebilirlik, soğuk şekillendirilebilme ve yüksek yoğunluk gibi özellikleri ile de diğer titanyum alaşımlarından ayırt edilebilmektedir. Bu alaşımlar  $\alpha+\beta$  alaşımları ile eş mukavemet değerlerine sahip olmasına rağmen yüksek sıcaklıklarda bu değerler  $\alpha+\beta$  alaşımlarından sonra gelmektedir. Beta alaşımları  $\beta$  dengeleyicilerle zenginleştirildiklerinden hızlı soğutma ile hepsi  $\beta$ 'dan oluşan dengesiz bir faz oluştururlar. Tavlanmış şartlarda mikroyapıda sadece  $\beta$  fazı vardır. Beta matrisi içinde  $\alpha$  fazının çökmesi ile sertleştirilebilirler. Asıl dayanım katı eriyik mukavemetlenmesi ile sağlanır. Beta titanyum alaşımları yüksek kırılma tokluğuna sahiptirler ve molibden içeren  $\beta$  alaşımlarının korozyona karşı direnci yüksektir. B alaşımları,  $\alpha+\beta$  alaşımlarına göre iyi işlenebilmekle birlikte ısı işleme yatkındırlar ve şartlı olarak kaynak edilebilirler (Doğan, 2002).

#### **2.2.4. Titanyum ve alaşımlarının kullanım alanları**

Sanayi sektörlerinde, düşük yoğunluklu, yüksek dayanım, yüksek korozyon direnci, yüksek sıcaklıklarda sürünme dayanımı gibi özelliklere sahip titanyum alaşımlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca günlük yaşantımızda sıklıkla karşılaşacağımız bir malzeme haline getirmiştir. Bu özellikleri, titanyum alaşımlarını kimya endüstrisinde, çeşitli hafif tasarımlarda, nükleer güç santrallerinde, uçak-uzay endüstrisinde, jet motorlarında, ısı eşanjörlerinde, diş hekimliğinde, tıpta protez ve implant malzeme yapımında, gözlük çerçevesi gibi birçok aracın yapımında kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra kaynak edilebilirliği dikkate alındığında kullanım alanının oldukça fazla olduğu bilinmektedir (Keskin, 2009).



### 2.2.4.1. Medikal alanda titanyum kullanımı

Titanyum ve alaşımları, diş ya da ortopedik implant alanında 1960'lı yıllardan itibaren kullanılmaya başlanan ve kullanımı günümüze kadar hızla artan malzeme grubunu oluşturmaktadır. 1969'da titanyumun diş implantlar üzerindeki ilk bulguların yayınlanması, implant uygulamaları alanında yeni bir çağın başlangıcı sayılmaktadır. O tarihten bu güne kadar bu uygulama devam etmekte ve sadece titanyum implantın şekli ve yüzey özelliklerinin değiştirilmesi yönünde çalışmalar yapılmaktadır. Diş ve ortopedik alanlarda kullanılan en ideal metalik biyomalzeme olan titanyum ve titanyum alaşımlarının genel özellikleri şunlardır:

- a. Düşük yoğunluk
- b. Bileşiminde çok az ya da hiç zehirli maddenin olmaması
- c. Yüksek dayanım ve uzun yorulma ömrü
- d. Düşük elastisite modülü (kemiğin dış tabakası ile karşılaştırıldığında)
- e. Oda sıcaklığında kolay şekillendirilebilirlik
- f. Kusursuz bileşenlerle kalıplanabilirliktir.

Bu gereksinimleri kapsayan özelliklere sahip metalik malzemelerin sayısı çok azdır. Şimdiye kadar metalik malzemeler içerisinde biyomalzeme olarak kullanılanlar şunlardır:

- Paslanmaz çelik ( $X_2CrNiMo1812(316L)$ )
- Co-Cr bazlı alaşımlar
- Ticari saflıkta titanyum ve titanyum alaşımları (Ti-6Al-4V)
- Ticari saflıkta niobium
- Ticari saflıkta tantalum'dur.

Ticari saflıktaki titanyum (Cp-Ti) yaygın olarak diş implantlarında kullanılır. Ti-6Al-4V ve Ti-6Al-7Nb gibi alaşımlarsa üstün mekanik özelliklerinden dolayı çeşitli ortopedik ve osteosentez sistemlerinin parçalarından olan kalça ve diz implantlarında kullanılır (Subaşı ve Karataş, 2012).

Diğer özelliklerinin yanı sıra titanyum ve alaşımlarının diş hekimliği uygulamalarında tercih edilmelerinin en önemli nedeni, biyolojik uyum özellikleridir. Titanyum ve alaşımlarının biyoyuyum özellikleri, üstün korozyon direncinden kaynaklanmaktadır. Korozyon direnci ise yüzeyde oluşan ve malzemeyi elektrokimyasal ataklara karşı koruyan pasif oksit tabakasının bir sonucudur (Uzun ve Bayındır, 2010).

#### 2.2.4.2. Havacılık alanında titanyum kullanımı

Son elli yılda uçak motorlarındaki titanyum alaşımların gösterdiği başarının ana nedenleri, korozyon dayanımı, kaynak edilebilme özelliğinin önemi ile birlikte özgül ağırlık/mukavemet (özgül dayanım) oranı değerleridir. Bunu günümüzde geniş kullanım alanları bulan titanyumdan imal edilen değişik tip parça örnekleri ile açıklamak mümkündür. Gelecekte eğilimler, gelişmiş özellikli yeni malzemelerin kullanım çalışmaları (MMC=Metal Matrisli Kompozit v.b.) ve ham malzemeden ürünün son haline kadar olan üretim süreçlerinde maliyeti azaltma önlemleri olmak üzere iki bölüme ayrılabilir. Birçok jet motorunda, titanyum esaslı alaşımlar net ağırlığın %20'si ile %30'unu oluşturur. Titanyum, 593 °C (1100 °F)'ye kadarki operasyon sıcaklıklarında en yaygın kullanılan malzemedir. Titanyum alaşımların yüksek sıcaklık özellikleri, uçak motoru sıcak bölgelerindeki nikel esaslı alaşımlarla rekabet edebilir kılmaktadır. Gelişmiş uçak motorlarında %40 oranında nikel alaşımları (süper alaşım), %20 oranında çelik alaşımları ve yaklaşık %30 oranında da titanyum alaşımları bulunmaktadır. Motorda ve hatta uçakta kullanılan bazı malzemelerin sıcaklık dayanımı ve yoğunluk karşılaştırmaları Çizelge 2.4'te belirtilmiştir.

**Çizelge 2.4.** Uçakta kullanılan malzemelerin sıcaklık/yoğunluk karşılaştırmaları (Erdem ve Aydın, 2006)

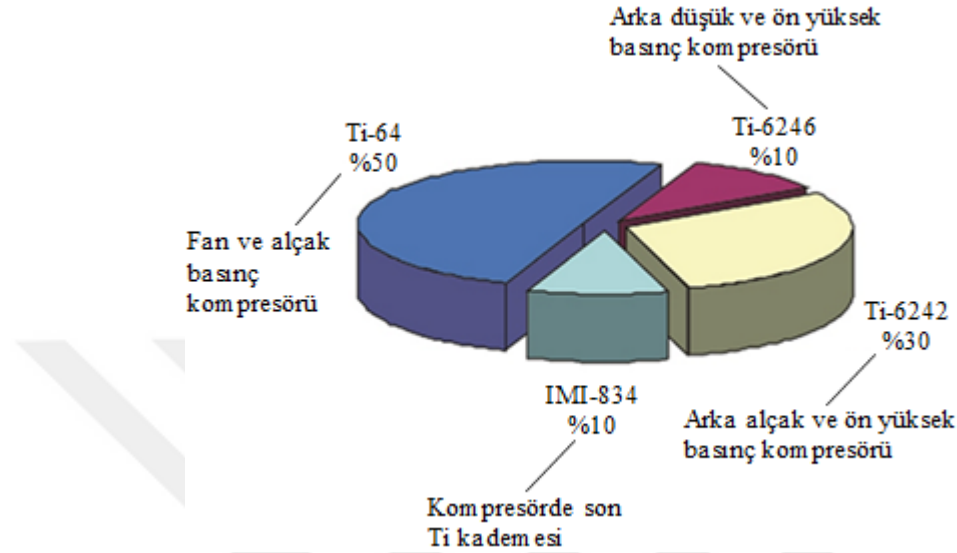
Malzeme	Sıcaklık °C	Yoğunluk kg/m <sup>3</sup>
Alüminyum	227	2726
Titanyum	593	4693
Paslanmaz Çelik	838	7633
Nikel alaşımı	1115	8252
Nikel Kristal	1393	8252
Seramik	1393	2630

Çizelge 2.4'ten görüldüğü gibi nikel esaslı süper alaşımları düşük yoğunluk ve yüksek mukavemetli uygun titanyum alaşımları ile değiştirildiğinde jet motorlarının ağırlığı ciddi anlamda düşürülebilir. Böylece itme artarken, yakıt tüketimi azalır. Bu sebeplerden dolayı bu malzemeler motor ve uçak iskeleti uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Ti-64, düşük sıcaklıkta yüksek mukavemet, mükemmel mekanik işlenebilirlik ve kaynak edilebilme özelliklerini taşımaktadır. Ti-64 alaşımı, dövme, hassas döküm,

levha metal (sac) olarak 1975'den beri stator parçalarında ve kompresör dış cidarlarında kullanılmaktadır.

Motordan istenilen beklentilere bağlı olarak titanyum alaşımlarının motorlarda kullanıldıkları bölgeler oranları ile birlikte Şekil 2.6'da verilmiştir.



Şekil 2.6. Motorlardan beklenenlere bağlı olarak Ti alaşım cinslerinin kullanım oranı (Erdem ve Aydın, 2006)

Titanyumun düşük yoğunluğu ve bu yoğunluğa rağmen gösterdiği yüksek sıcaklık performansı ile uçak motorlarında yıllarca güvenle kullanılmaya devam edecektir (Erdem ve Aydın, 2006).

#### 2.2.4.3. Otomotiv alanında titanyum kullanımı

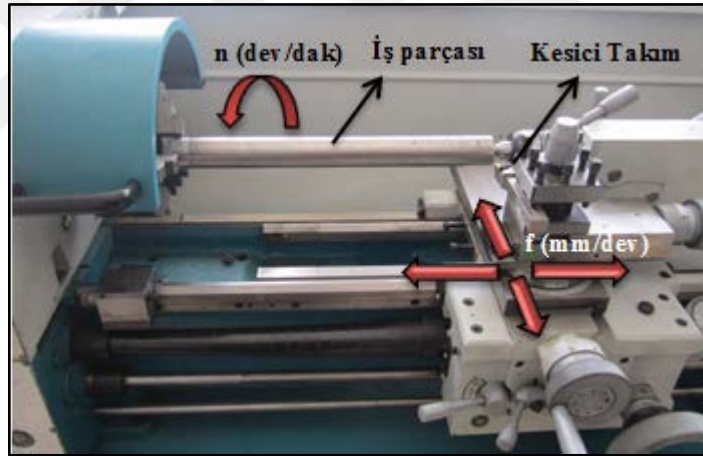
Araçların daha az yakıt yakması ve çevreye daha az zarar vermesi için araç ağırlığının düşürülmesi ve motor performansının artırılması gerekmektedir. Bu da yüksek korozyon direncine, düşük yoğunluğa ve yüksek mukavemete sahip titanyum alaşımları ile mümkündür. Ancak, titanyumun yüksek maliyeti bu alaşımların otomotiv endüstrisinde yaygın olarak kullanılmasının önündeki en büyük engeldir ve kullanımını yarış otomobilleri, yarış motorları ve Formula 1 araçları gibi yüksek performans ve dayanıklılık gerektiren araçlarla sınırlandırmıştır (Akagündüz, 2008).

#### 2.2.4.4. Denizcilik alanında titanyum kullanımı

Titanyum metali, tuzlu suların sebep olduğu aşınmalara karşı dirençli olduğundan dolayı denizaltı yapımında ve deniz suyundan içme sağlayan tesislerin imalatında kullanılmaktadır (Gültekin,1993).

### 2.3. Tornalama İşlemi

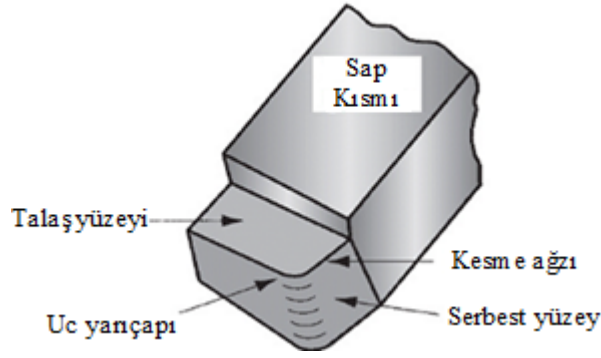
Tornalama işlemi, genellikle torna tezgâhında dairesel kesitli parçalarda istenilen ölçü ve profili elde etmek için doğrusal hareket eden kesici takım ile dönen iş parçası üzerinden talaş kaldırma işlemidir (Şekil 2.7). Bununla beraber torna tezgahlarında, alın tornalama, silindirik tornalama, konik tornalama, profil tornalama, pah kırma, havşa açma, kanal açma, kesme, delik delme, delik genişletme, vida çekme, tırtıl çekme gibi çok değişik işlemler yapılmaktadır. Tornalama işlemleri ile iş parçası istenilen ölçü, şekil ve yüzey kalitesine getirilir (Aydın ve arkadaşları, 2012).



Şekil 2.7. Tornalama işlemi

#### 2.3.1. Kesici takımlar

Kalem adını taşıyan torna takımları tek ağızlı, prizmatik çubuk şeklinde takımlardır. Kesici ve sap kısımlarından meydana gelirler. Sap kısmı, takımı takım tutturma sistemine bağlamak için kullanılır. Kesici takımın kesme kenarı ise talaş kaldırır. Kesici takım geometrisi talaş kaldırma bakımından son derece önemlidir. Takımın kesme kısmını oluşturan, işlem gören yüzey ve kenarları Şekil 2.8'de verilmiştir.



Şekil 2.8. Kesici takımın kesme kısımları

Burada;

- Talaş yüzeyi, talaşın parçadan uzaklaştığı yüzeydir.
- Serbest yüzey, parçanın işlenen yüzeye bakan kısmıdır.
- Kesme ağız, talaş ve serbest yüzeyin birleştiği yüzeydir.
- Takım ucu, takım, serbest ve yan serbest yüzeyin birleştiği nokta olup belli bir radyüse göre yuvarlatılır.

Torna tezgahında kullanılan kesici takımlar yekpare veya plaket şeklinde imal edilirler. Bu kesici takımlar hız çeliği (HSS), sert metal (SM), seramik, kübik bor nitrür (CBN) ve elmas gibi malzemelerden imal edilirler. Hız çelikleri ve sert metaller kaplanmamış ve kaplanmış olabilirler. Tornalama işlemlerinde günümüzde en çok plaketli takımlar olmak şartıyla sırasıyla sert metal, seramik, serment, kübik bor nitrür takımlar kullanılır. Kaplanmamış sert metallerin kullanım oranı %35, kaplanmış sert metallerin ise %45'tir. Kaplanmış HSS takımlar çok az sayıda kullanılırlar (Akkurt, 2012).

### 2.3.2. Kesme koşulları

Kesme koşulları, kesme hızı, ilerleme, paso kalınlığı gibi faktörleri içerir. Paso kalınlığı, talaş geometrisini belirler. Bu geometri talaş kalınlığı (h) ve genişliği (b) ile gösterilir (Akkurt, 2012).

Kesme hızı takımın parça üzerinden talaş kaldırma hızıdır. Denklem 2.1'de verilen eşitlikle hesaplanır.

$$V = (\pi \cdot d \cdot n) / 1000 \dots\dots\dots(2.1)$$

İlerleme, bir takımın birim devirde kat ettiği mesafe olarak tanımlanır. Ayrıca, kalemin iş parçası eksenine paralel olarak dakika da aldığı yola da ilerleme hızı denir. Denklem 2.2 ve 2.3’de verilen eşitliklerle hesaplanır.

$$f = \sqrt{32 \cdot r \cdot Ra} \dots \dots \dots (2.2)$$

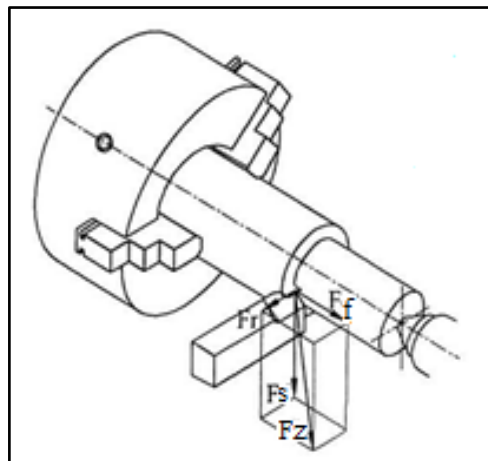
$$u = f \cdot n \dots \dots \dots (2.3)$$

Kesme koşullarını belirlenirken aşağıdaki faktörler göz önünde bulundurulmalıdır.

- İş parçası malzemesi
- Takım geometrisi ve malzemesi
- Kesme derinliği
- İlerleme
- Kesme sıvısı
- Torna tezgâhın gücü ve kapasitesi (Akkurt, 1998).

### 2.3.3. Kesme kuvvetleri

Talaş, takımın malzemeye belirli bir kuvvetle nüfuz etmesi ile kaldırılır. Bu kuvvetlere talaş kaldırma kuvveti denilmektedir ( $F_z$ ). Şekil 2.9’da tornalamada oluşan kuvvetler verilmiştir.



Şekil 2.9. Tornalamada oluşan kuvvetler

Talaş kaldırma kuvvetini, kesme kuvveti, ilerleme kuvveti ve radyal kuvvet belirler (Denklem 2.4).

$$F_z = \sqrt{F_s^2 + F_f^2 + F_r^2} \dots\dots\dots(2.4)$$

Kesme kuvveti, düşey düzlemde kesici takımı eğmeye ve burmaya çalışır. İlerleme kuvveti, kesici takımı yatayda eğmeye çalışır, Radyal kuvvet ise kesici takımı burmaya çalışır (Akkurt, 1998).

#### 2.3.4. Kesme ve tezgâh gücü

Tornalama işleminde kesme kuvveti için gereken güç ( $P_s$ ) önemlidir. Denklem 2.5 ile hesaplanır.

$$P_s = (F_s \cdot V)/(60 \cdot 1000) \dots\dots\dots(2.5)$$

İlerleme hareketi için gereken güç ( $P_f$ );

$$P_f = (F_f \cdot u)/(60 \cdot 1000) \dots\dots\dots(2.6)$$

dir.

Kesme ve ilerleme gücü motordan parçaya tezgâhın kinematik sistemi ile iletilir. Kinematik sistemin verimi  $\eta_m$  ile gösterilirse, tezgâhın motor gücü ( $P_m$ );

$$P_m = (F_s + F_f)/\eta_m \dots\dots\dots(2.7)$$

Ancak  $P_f$  gücü  $P_s$ 'e göre çok küçüktür (%5 civarında) olduğundan genellikle ihmal edilir ve tezgâh gücü ( $P_m$ );

$$P_m = P_s/\eta_m = F_s \cdot V/(60 \cdot 1000 \cdot \eta_m) \dots\dots\dots(2.8)$$

veya

$$P_m = (a \cdot f \cdot K_s \cdot V)/(60 \cdot 1000 \cdot \eta_m) \dots\dots\dots(2.9)$$

ile hesaplanır (Akkurt, 1998).

#### 2.3.4. Kesme sıvısı

Kesme sıvısı kullanımının amacı, metallerin plastik deformasyonu ve kesici takım ile malzeme arasında oluşan sürtünme ısını ve sürtünmeyi azaltmaktır. Soğutma sıvıları kesme bölgesine doğru bir şekilde yönlendirildiği zaman optimum fayda sağlanır (Aydın ve arkadaşları, 2012).

Bu faydalar aşağıdaki gibi sıralanabilir;

1. Takım ömrünün uzaması
2. Yüzey kalitesinin iyileşmesi

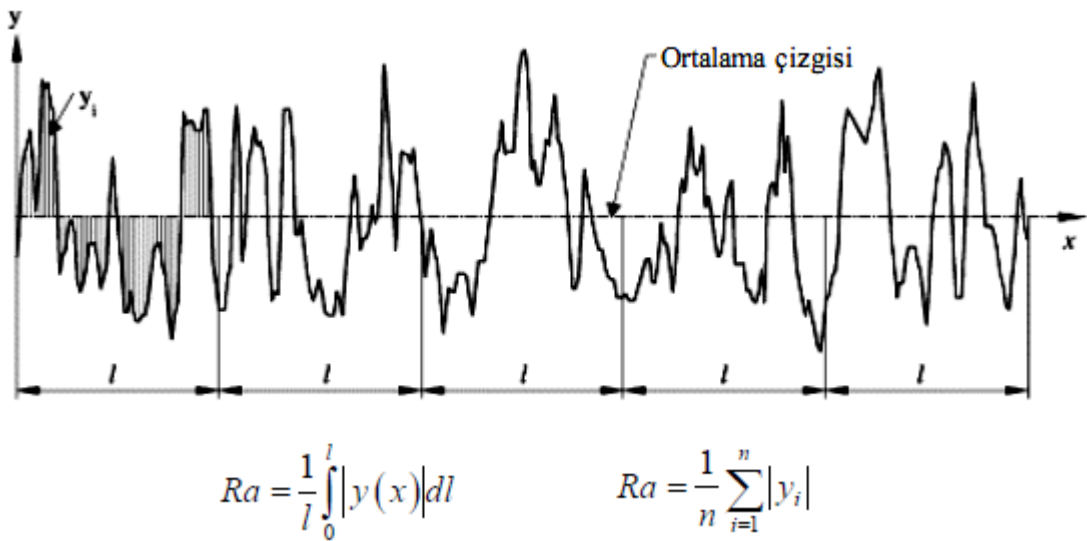
3. Kesme kuvvetinin ve gücünün azalması
4. Sıcaklık kaynaklı şekil değişimlerinin azalması
5. Talaşın kolay uzaklaştırılması (Akkurt, 1998).

### 2.3.5. Yüzey pürüzlülüğü

Makine parçalarının talaşlı işlenmesinde en önemli hedeflerden biri de, işlenmiş parçanın yüzey kalitesinin iyi olmasıdır. İmal edilen parçaların yüzeyleri, girintili ve çıkıntılar ile düzensiz bir yüzey profiline sahip olurlar. İşlenmiş bir yüzeyin pürüzlülüğü, 3 ana kusurdan ve hatadan oluşmaktadır. Bunlar: pürüzlülük, dalgalanma ve form (yerleştirmedeki kaba hatalar) dur (Arafat, 2009).

Geleneksel imalat yöntemlerinde yüzey pürüzlülüğünü etkileyen birçok faktör vardır. Bunlar; malzemenin cinsi, kesici takımın cinsi, kesme hızı ve ilerleme, paso derinliği, sıcaklık, soğutma sıvısı gibi faktörlerdir. Bu faktörlerden birinin değişmesi ile yüzey pürüzlülüğü de değişmektedir. Ancak değişmeye neden olan faktörlerin etkileri birbirinden farklı ve bağımsız olabilecekleri gibi birbirleri ile ilişkili de olabilirler. Genelde pürüzlülük, üretim sürecinden kaynaklanan çok küçük düzensizliklerden oluşur (Arafat, 2009).

Ortalama yüzey pürüzlülüğü oldukça sık kullanılan bir parametredir. Şekil 2.10'da gösterildiği gibi bir örnekleme boyu üzerindeki ortalama çizgisinin altında ve üstünde kalan mutlak düzensiz pürüzlülüklerin aritmetik ortalamasıdır.



Şekil 2.10. Ortalama yüzey pürüzlülük değerinin tanımlanması ve matematiksel ifadesi (Arafat, 2009)



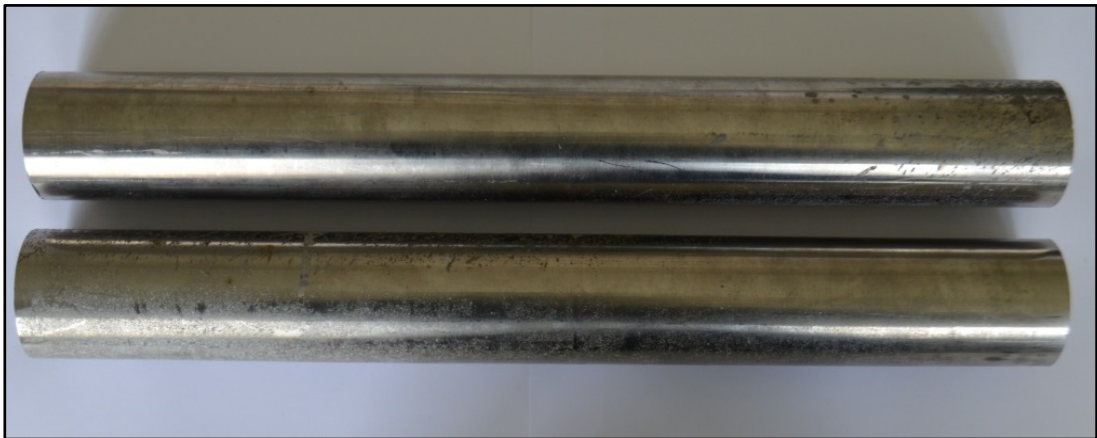
### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Çalışmanın Amacı

İmalat yöntemlerinde en son tercih edilen yöntem talaşlı imalat yöntemidir. Çünkü imalatı yapılan parçanın nihai boyut ve geometride üretilmesi, yüzeyin kalitesi ve imalatın maliyeti önemli bir yere sahiptir. Ancak, üstün özelliklere sahip olan malzemelerin işlenmesinde istenilen yüzey kalitesinin elde edilmesindeki zorluklar kesici takımın hızlı aşınması, işçilik ve enerji tüketim maliyetini arttırması gibi bir takım problemlere neden olmaktadır. Bu çalışmada, yüksek mukavemet, iyi korozyon direnci, düşük yoğunluk gibi üstün özelliklere sahip Ti-6Al-4V alaşımı CVD ve PVD kaplı Sementit Karbür kesici takımlarla farklı kesme şartlarında soğutma sıvısı kullanılmadan tornalanmıştır. Tornalanan yüzeylerin pürüzlülüğü ile kesici takımların aşınma değerleri incelenmiştir. Seçilen parametrelerin yüzey pürüzlülüğüne, talaş kalınlığına ve aşınma değerlerine etkileri incelenerek en uygun ortalama yüzey pürüzlülüğü ile takım aşınmasının hangi parametrelerde elde edildiğinin tespit edilmesi amaçlanmıştır.

#### 3.2. Deneysel Çalışmada Kullanılan Numune İş Parçaları

Tornalama deneyleri için en çok tercih edilen titanyum alaşımlarından ASTM standart numaralı B348 olan Ti-6Al-4V alaşımı seçilmiştir. Numuneler (40x400) mm boyutlarında olacak şekilde hazırlanmıştır (Şekil 3.1). Ti-6Al-4V alaşımının kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri sırasıyla Çizelge 3.1’de ve Çizelge 3.2’de belirtilmiştir.



Şekil 3.1. Deneylerde kullanılan Ti-6Al-4V alaşımları

**Çizelge 3.1.** Ti-6Al-4V alaşımının kimyasal bileşimi

	Kimyasal Bileşim						
	N	C	H	Fe	O	Al	V
<b>Grade5</b> <b>Ti-6Al-4V</b>	0,05	0,08	0,015	0,40	0,20	5,5~6,75	3,5~4,5

**Çizelge 3.2.** Ti-6Al-4V alaşımının mekanik özellikleri

Mekanik Değerler			
Çekme Mukavemeti (MPa)	Akma Mukavemeti (MPa)	% Uzama	% Kesit Alan Daralması
895	828	10	25

### 3.3. Deneysel Çalışmada Kullanılan Takım Tezgâhı

Deneyde kullanılan iş parçası numuneleri, Batman Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İmalat Atölyesinde bulunan JETCO marka JML-3010Y model üniversal torna tezgâhında işlenmiştir (Şekil 3.2 ve Şekil 3.3). Üniversal torna tezgahın gücü 1,1 kW olup, mil hız aralığı 60-1500 dev/dak'dır.

**Şekil 3.2.** Deneysel çalışmada kullanılan üniversal torna tezgâhı



Şekil 3.3. İş parçasının tornada işlenmesi

### 3.4. Deneysel Çalışmada Kullanılan Kesici Takımlar

Ti-6Al-4V alaşımının tornalanması için ZCC.CT marka TNMG 160408-DM model YBC 251 sınıfında TiCN+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiN CVD kaplı Sementit karbür (Şekil 3.4) ve ZCC.CT marka TNMG 160408-EF model YBG 205 sınıfında TiAlN PVD kaplı Sementit Karbür (Şekil 3.5) kesici takımlar kullanılmıştır.

Takım tutucu olarak 93° lik yanaşma açısına sahip MBC marka MTJNR 20x20 K16 dış çap torna kateri kullanılmıştır (Şekil 3.6).



Şekil 3.4. TiCN+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiN CVD kaplı Sementit Karbür kesici takım



Şekil 3.5. TiAlN PVD kaplı Sementit Karbür kesici takım



Şekil 3.6. Kesici takım tutucu

### 3.5. Yüzey Pürüzlülüğünün Ölçülmesi

Talaşlı işlenmiş yüzeylerin pürüzlülük değerlerinin ölçümleri Batman Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İmalat atölyesinde bulunan “Time” Marka TR 200 model yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı Şekil 3.7’de verilmiştir.



Şekil 3.7. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı

### 3.6. Takım Aşınmasının Ölçülmesi

Kesici takımların aşınması ölçümü için NADE marka ve NMM-800TRF model metalurjik mikroskop kullanılmıştır (Şekil 3.8). Ayrıca, takımlardaki aşınmayı daha detaylı incelemek için Fırat Üniversitesi Elektron Mikroskopi Laboratuvarında bulunan JEOL marka ve JSM-7001F model Tarama Elektron Mikroskobu (SEM) kullanılmıştır (Şekil 3.9).



Şekil 3.8. Metalurjik mikroskop



Şekil 3.9. Tarama elektron mikroskobu

### 3.7. Seçilen Parametreler ve Deneyin Yapılışı

Ti-6Al-4V alaşımı 30; 60 ve 90 m/dak kesme hızları, 0,052; 0,104 ve 0,162 mm/dev ilerleme değerleri, 1,0; 1,5 ve 2,0 mm kesme derinlikleri ve 40, 80, 120 mm kesme uzunluklarında kesme sıvısı kullanılmadan CVD ve PVD kaplı Sementit Karbür kesici takımlarla tormalanmıştır.

Deneylerde öncelikle CVD kaplı Sementit Karbür kesici takım ile 1,0 mm kesme derinliği, 30 m/dak kesme hızı ve 0,052 mm/dev ilerleme için Ti-6Al-4V alaşımı 40 mm uzunluğunda “JETCO” marka JML-3010Y model universal torna tezgâhında tormalanmıştır. Yüzeyin pürüzlülük değeri Time marka TR 200 model yüzey pürüzlülük ölçüm cihazıyla ölçülmüştür. Ölçümler iş parçası eksenine paralel olacak şekilde, örnekleme uzunluğu 0,8 mm alınarak yapılmış olup, işlenmiş yüzeylerden 3 adet ölçüm yapılarak ortalaması alınmıştır. Böylece ortalama yüzey pürüzlülük (Ra) değeri belirlenmiştir. Kesici takımdaki aşınma değerinin belirlenmesi için CVD kaplı Sementit Karbür kesici takım MBC marka MTJNR 20x20 K16 dış çap tormalama katerinden çıkartılarak “NADE” marka ve NMM-800TRF model metalurjik mikroskopla 5X büyütme ile aşınma değeri ölçülmüştür. Uçlardaki aşınma değerleri ayrıca JEOL marka ve JSM-7001F model Tarama Elektron Mikroskobu (SEM) ile tekrar incelenmiştir. Aşınma değerinin ölçümünden sonra kesici takım ile 40 mm uzunluğunda silindirik iş parçası tormalanmış ve yüzey pürüzlülük ile aşınma değerleri tekrar ölçülmüştür. Aynı kesici takım ile son kez 40 mm uzunluğunda talaş kaldırılarak yüzey pürüzlülük ve aşınma değerleri incelenmiştir. Böylece bir kesici takımla toplam 120 mm uzunluğunda Ti-6Al-4V alaşımı tormalanmıştır. Bu tormalama işlemleri CVD kaplı Sementit Karbür kesici takım kullanılarak farklı kesme parametreleri için tekrarlanmıştır. CVD kaplı kesici takımlar ile tormalama deneyleri bittikten sonra aynı işlem PVD kaplı Sementit Karbür kesici takımlar için tekrarlanmıştır. Gerçekleştirilen 162 deneyde 27’şer adet CVD ve PVD kaplı Sementit Karbür kesici uç kullanılmıştır.

Ayrıca, farklı kesme parametrelerinden oluşan talaşların kalınlıkları Mitutoyo Dijital Kumpasla ölçülerek talaş kalınlıklarının değişimleri incelenmiştir.

Farklı kesme parametrelerinde tormalanan Ti-6Al-4V alaşımının CVD ve PVD kaplı Sementit Karbür kesici takımlarla elde edilen aşınma, ortalama yüzey pürüzlük ve talaş kalınlıkları değeri Çizelge 3.3’te verilmiştir.

**Çizelge 3.3.** Kesme parametrelerine bağlı olarak deneysel çalışmalardan elde edilen aşınma, ortalama yüzey pürüzlülükleri ve talaş kalınlığı değerleri

Kesme Parametreleri				CVD Kaplı Sementit Karbür Kesici Takım			PVD Kaplı Sementit Karbür Kesici Takım		
a (mm)	V (m/dak)	f (mm/dev)	L (mm)	Ra (µm)	VB (mm)	h (mm)	Ra (µm)	VB (mm)	h (mm)
1,0	30	0,052	40	1,82	0,110	0,30	1,32	0,047	0,34
			80	1,94	0,127		1,54	0,079	
			120	2,12	0,160		1,68	0,083	
		0,104	40	2,15	0,135	0,52	2,00	0,070	0,56
			80	2,18	0,139		2,40	0,092	
			120	2,48	0,173		2,60	0,093	
		0,162	40	3,30	0,140	0,60	3,72	0,086	0,66
			80	3,60	0,143		4,10	0,093	
			120	3,80	0,186		4,18	0,094	
	60	0,052	40	1,76	0,172	0,28	1,30	0,110	0,32
			80	1,90	0,184		1,45	0,120	
			120	2,04	0,201		1,50	0,123	
		0,104	40	1,90	0,189	0,40	1,76	0,115	0,48
			80	2,10	0,232		1,98	0,126	
			120	2,30	0,261		2,16	0,132	
		0,162	40	3,50	0,214	0,50	4,12	0,121	0,54
			80	3,85	0,279		4,22	0,128	
			120	4,10	0,330		4,34	0,150	
	90	0,052	40	1,40	0,183	0,20	1,28	0,121	0,24
			80	1,60	0,221		1,40	0,210	
			120	2,30	0,234		1,68	0,308	
		0,104	40	2,25	0,235	0,28	1,94	0,190	0,32
			80	2,30	0,287		2,24	0,283	
			120	2,70	0,361		2,44	0,321	
0,162		40	4,00	0,242	0,46	4,68	0,201	0,50	
		80	4,30	0,383		4,74	0,297		
		120	4,90	0,586		5,08	0,380		
1,5	30	0,052	40	2,04	0,128	0,42	2,02	0,086	0,50
			80	2,10	0,169		2,20	0,112	
			120	2,15	0,170		2,40	0,116	
		0,104	40	2,18	0,148	0,54	2,24	0,115	0,60
			80	2,20	0,180		2,32	0,121	
			120	2,58	0,185		2,72	0,132	
		0,162	40	3,64	0,158	0,76	4,16	0,126	0,84
			80	4,24	0,190		4,32	0,142	
			120	4,50	0,193		4,40	0,148	

**Çizelge 3.3.** Kesme parametrelerine bağlı olarak deneysel çalışmalardan elde edilen aşınma, ortalama yüzey pürüzlülükleri ve talaş kalınlığı değerleri (Devamı)

Kesme Parametreleri				CVD Kaplı Sementit Karbür Kesici Takım			PVD Kaplı Sementit Karbür Kesici Takım		
a (mm)	V (m/dak)	f (mm/dev)	L (mm)	Ra (µm)	VB (mm)	h (mm)	Ra (µm)	VB (mm)	h (mm)
1,5	60	0,052	40	1,82	0,181	0,34	1,64	0,111	0,42
			80	1,98	0,186		1,70	0,129	
			120	2,06	0,214		1,86	0,140	
		0,104	40	2,08	0,221	0,46	2,00	0,126	0,56
			80	2,15	0,252		2,26	0,138	
			120	2,47	0,276		2,40	0,160	
		0,162	40	4,16	0,237	0,74	4,18	0,178	0,80
			80	4,32	0,289		4,40	0,207	
			120	4,75	0,369		4,52	0,253	
	90	0,052	40	2,40	0,218	0,30	1,94	0,177	0,34
			80	2,58	0,226		2,00	0,360	
			120	2,60	0,243		2,06	0,567	
		0,104	40	2,47	0,300	0,36	2,20	0,313	0,44
			80	2,54	0,409		2,36	0,376	
			120	3,16	0,466		3,02	0,597	
		0,162	40	4,16	0,318	0,64	4,22	0,331	0,72
			80	4,78	0,517		4,60	0,507	
			120	5,10	0,597		5,26	0,602	
2,0	30	0,052	40	2,38	0,147	0,48	2,40	0,090	0,60
			80	2,39	0,180		2,45	0,120	
			120	2,60	0,203		2,80	0,123	
		0,104	40	2,40	0,154	0,60	2,65	0,126	0,80
			80	2,52	0,186		2,76	0,130	
			120	2,64	0,210		2,92	0,134	
		0,162	40	4,12	0,227	0,92	4,46	0,135	0,95
			80	4,45	0,230		4,98	0,175	
			120	4,65	0,235		5,06	0,183	
	60	0,052	40	1,98	0,199	0,40	2,25	0,123	0,44
			80	2,10	0,203		2,30	0,150	
			120	2,45	0,216		2,44	0,256	
		0,104	40	2,46	0,238	0,50	2,68	0,133	0,60
			80	2,62	0,261		2,89	0,275	
			120	2,84	0,318		3,01	0,470	
		0,162	40	4,65	0,248	0,82	4,68	0,184	0,84
			80	4,70	0,320		5,10	0,425	
			120	4,76	0,415		5,56	0,560	



**Çizelge 3.3.** Kesme parametrelerine bağlı olarak deneysel çalışmalardan elde edilen aşınma, ortalama yüzey pürüzlülükleri ve talaş kalınlığı değerleri (Devamı)

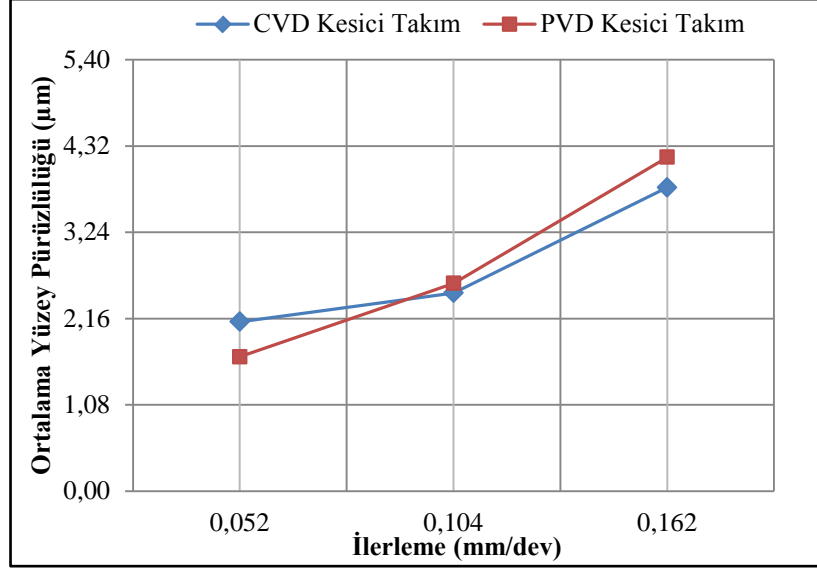
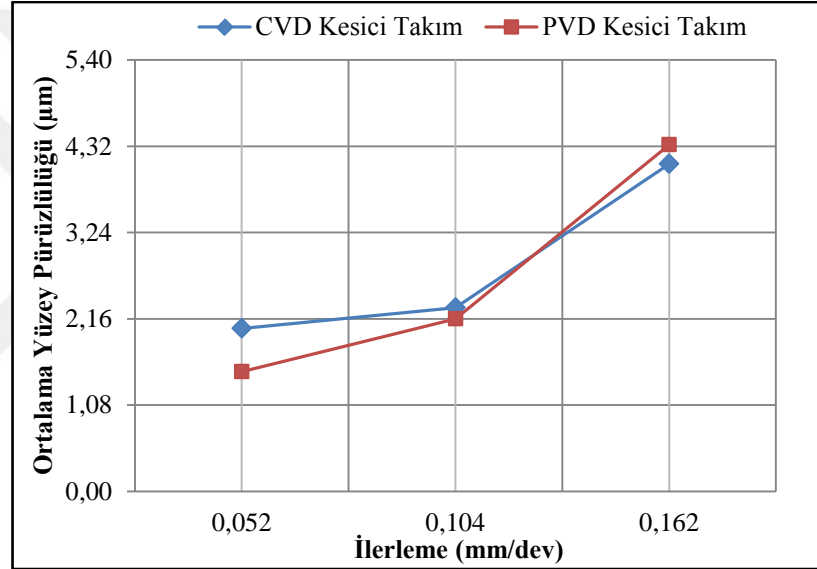
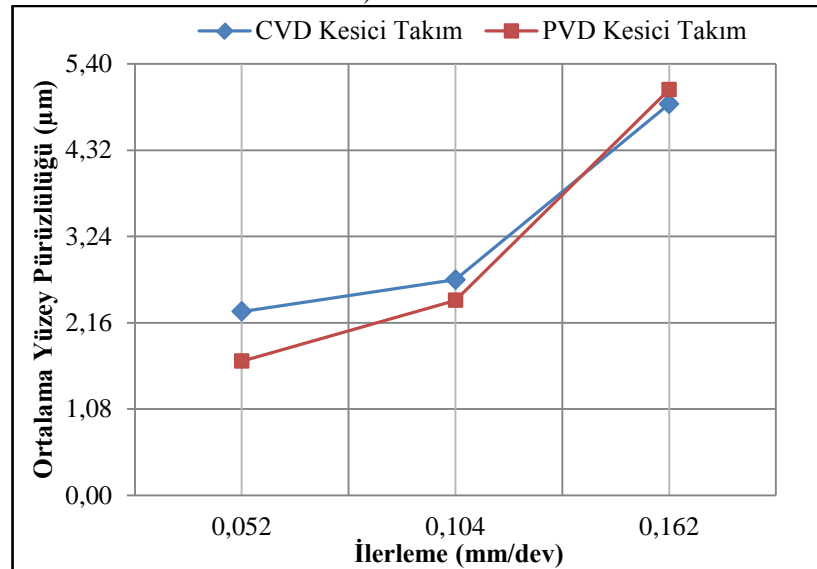
Kesme Parametreleri				CVD Kaplı Sementit Karbür Kesici Takım			PVD Kaplı Sementit Karbür Kesici Takım		
a (mm)	V (m/dak)	f (mm/dev)	L (mm)	Ra (µm)	VB (mm)	h (mm)	Ra (µm)	VB (mm)	h (mm)
2,0	90	0,052	40	2,40	0,255	0,32	2,30	0,273	0,36
			80	2,42	0,265		2,38	0,454	
			120	2,68	0,269		2,75	0,620	
		0,104	40	2,54	0,372	0,40	2,92	0,390	0,48
			80	2,70	0,425		3,24	0,560	
			120	3,20	0,650		3,45	0,680	
		0,162	40	4,98	0,555	0,75	5,34	0,412	0,80
			80	5,02	0,700		5,55	0,601	
			120	5,40	0,891		5,92	0,710	

## 4. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

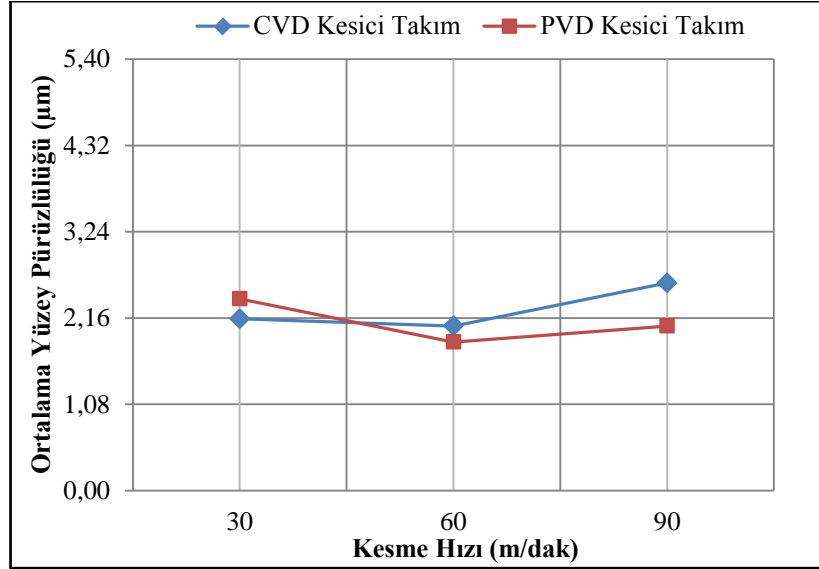
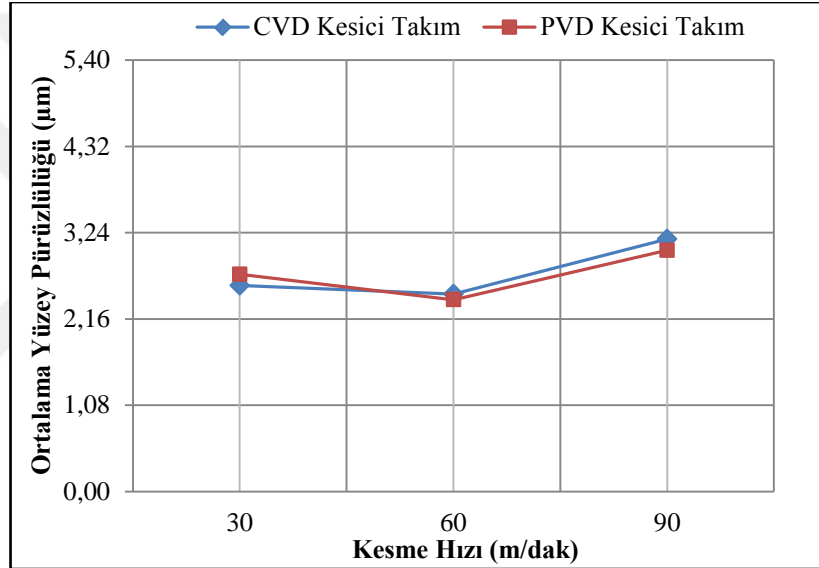
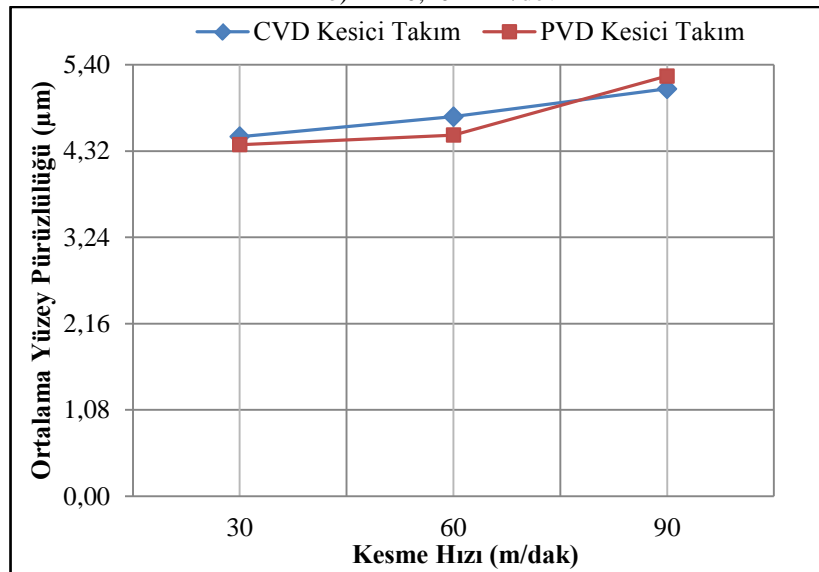
### 4.1. Yüzey Pürüzlülüğünün Değerlendirilmesi

Kesme derinliği 1,0 mm, kesme uzunluğu 120 mm ve 30; 60 ve 90 m/dak kesme hızları için ilerlemeye bağlı ortalama yüzey pürüzlülük değişimi CVD ve PVD kesici takım için Şekil 4.1'de verilmiştir. Şekil 4.1'de görüldüğü gibi artan ilerlemeye bağlı olarak, her iki kesici takım için iş parçasının ortalama yüzey pürüzlülüğünün arttığı görülmektedir. Denklem 2.2'deki eşitlikten ilerleme miktarının değişimi, ortalama yüzey pürüzlülük değerinin değişimi ile doğru orantılı olduğundan böyle bir durumun olması beklenen bir neticedir. İlerlemeye bağlı olarak en ideal ortalama yüzey pürüzlülüğü, ilerlemenin 0,052 mm/dev olduğu durumda; en kötü ortalama yüzey pürüzlülüğü ise ilerlemenin en yüksek olduğu 0,162 mm/dev değerinde elde edilmiştir. Ayrıca artan ilerlemeye bağlı olarak CVD kesici takımla işlenen iş parçasının ortalama yüzey pürüzlülüğü, PVD kesici takımla işlenen iş parçasının ortalama yüzey pürüzlülüğüne göre daha iyi bir sonuç meydana getirdiği tespit edilmiştir.

Kesme derinliği 1,5 mm, kesme uzunluğu 120 mm, 0,052; 0,104 ve 0,162 mm/dev ilerlemeleri için kesme hızlarına bağlı ortama yüzey pürüzlülük değişimi Şekil 4.2'de verilmiştir. Şekil 4.2.a ve b'de görüldüğü gibi kesme hızı 30 m/dak'dan 60 m/dak'ya çıktığında, ortalama yüzey pürüzlülüğünde iyileşmeye rastlanmıştır, ancak kesme hızı 90 m/dak olduğunda, ortalama yüzey pürüzlülüğünde tekrar bir artış olduğu gözlenmiştir. Şekil 4.2.c'de ise artan kesme hızına bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğünde artış meydana gelmiştir. Literatür çalışmalarına göre kesme hızının artması ile yüzey pürüzlülüğünde azalma olur, yüzey kalitesi iyileşir. Kesme hızının artmasıyla artan sıcaklığa bağlı olarak deformasyon ve talaş akışı kolaylaşacağından yüzey pürüzlülük değerleri azalır (Gürbüz ve arkadaşları, 2009). Kesme koşulları talaşlı imalatta kontrol edilebilen faktörlerdir. Ancak kesici takımdaki aşınma ve işlenen yüzeydeki pürüzlülük değerleri kontrol edilememektedir. Özellikle takım tezgâhındaki titreşimler ve iş parçası malzemesinin mikro yapısındaki hatalar, sürtünme ve ısı oluşumu bunun en önemli nedenleridir. Düşük kesme hızında, iş parçası malzemesinin kesici takıma yapışması olarak tarif edilen yığıntı talaş oluşumu (BUE), ortalama yüzey pürüzlülük değerinde artış gösterirken, artan kesme hızı ile yüzey pürüzlülüğünde iyileşme gösterse de bu artış takımın körelmesini hızlandıracağından dolayı zamanla yüzey pürüzlülüğünün kötüleşmesine neden olmaktadır.

a)  $V=30$  m/dakb)  $V=60$  m/dakc)  $V=90$  m/dak

Şekil 4.1. İlerlemeye bağlı ortalama yüzey pürüzlülüğü

a)  $f=0,052$  mm/devb)  $f=0,104$  mm/devc)  $f=0,162$  mm/dev

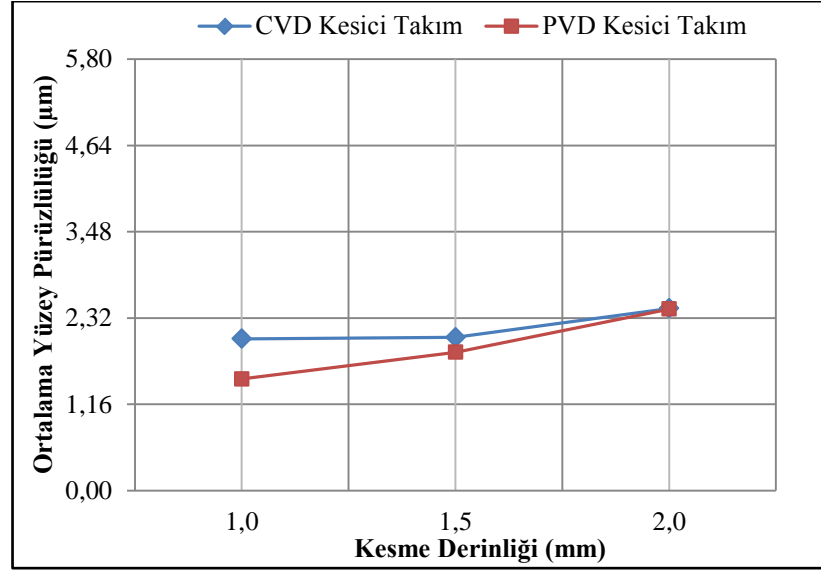
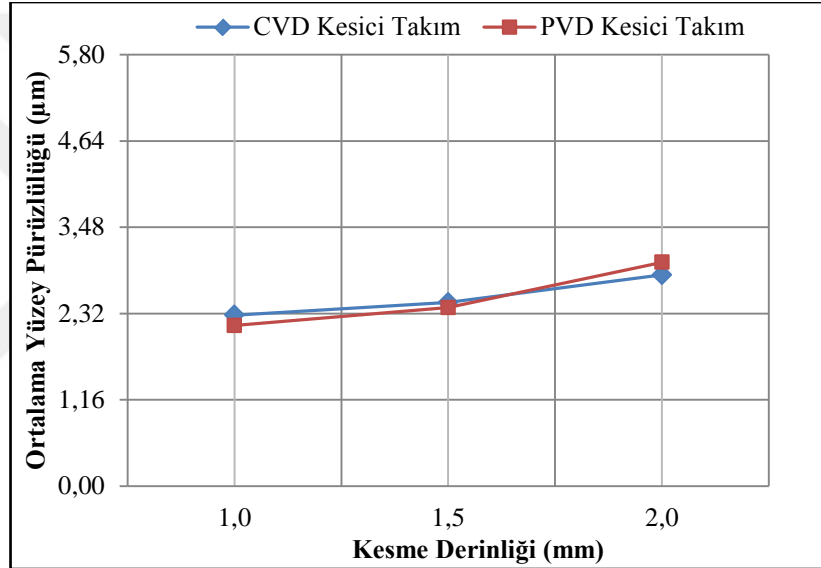
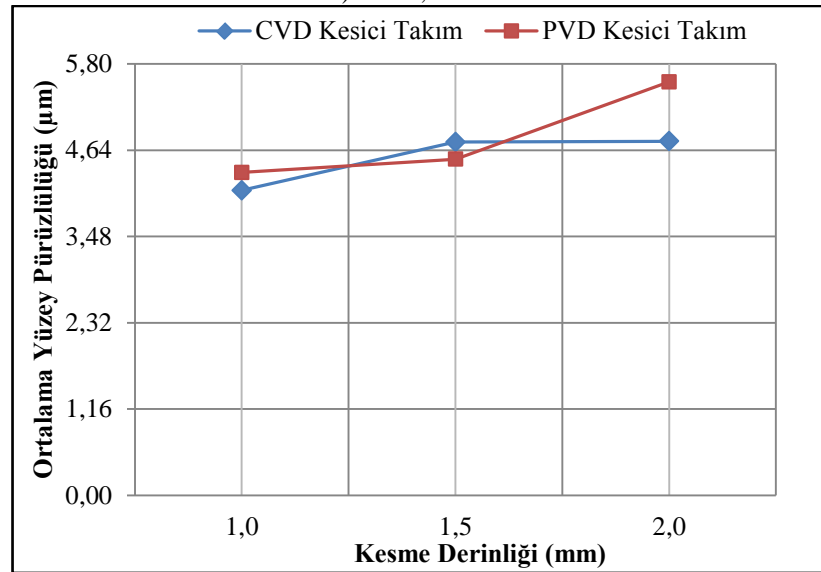
Şekil 4.2. Kesme hızına bağlı ortalama yüzey pürüzlülüğü

Kesme hızına bağlı olarak en ideal ortalama yüzey pürüzlülüğü, Şekil 4.2.a'da kesme hızının 60 m/dak olduğu durumda, en kötü yüzey pürüzlülüğü ise Şekil 4.2.c'de kesme hızının en yüksek olduğu 90 m/dak değerinde elde edilmiştir.

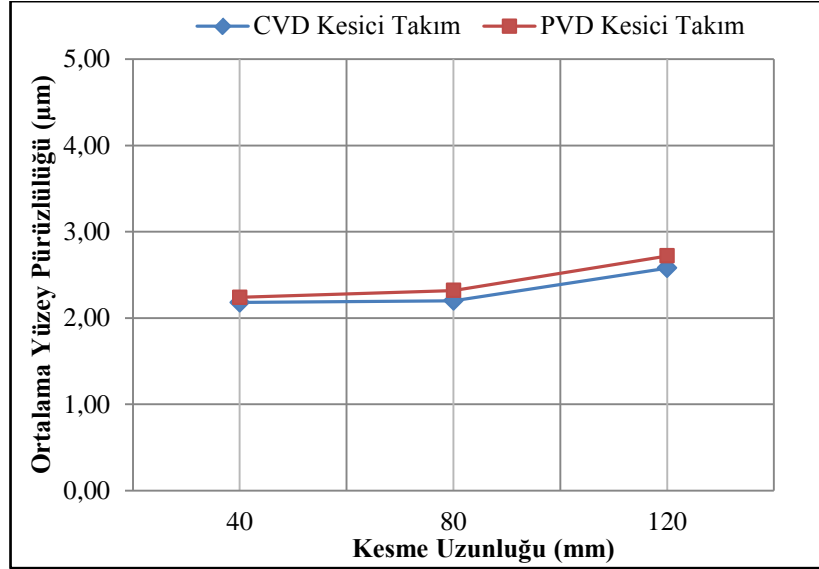
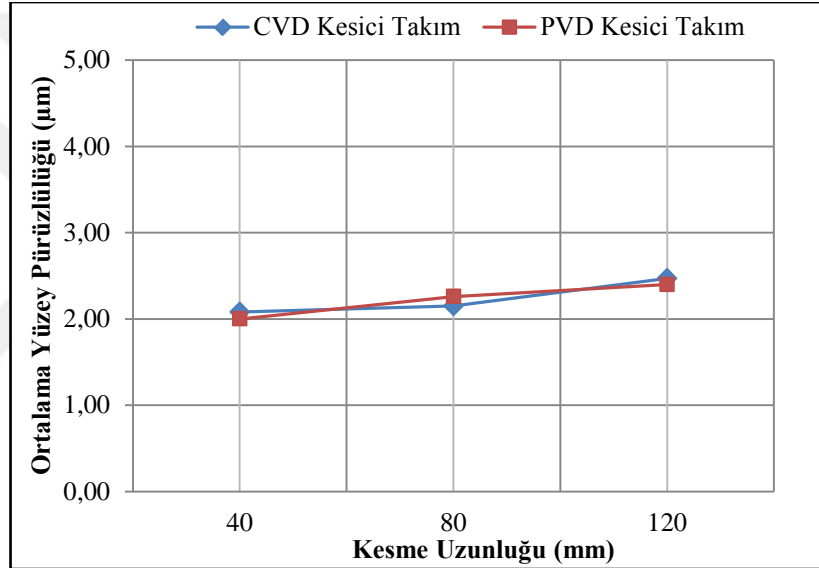
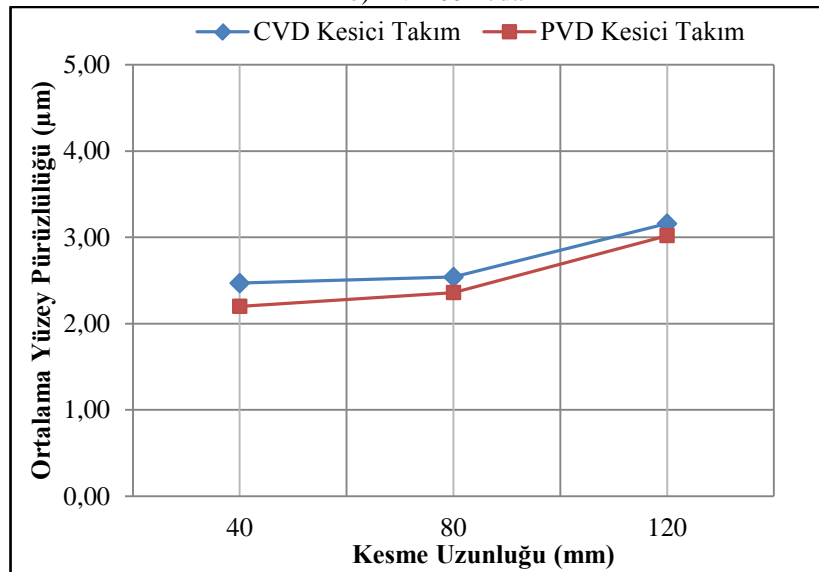
Kesme uzunluğu 120 mm, kesme hızı 60 m/dak, 0,052; 0,104 ve 0,162 mm/dev ilerlemeleri için kesme derinliğine bağlı ortalama yüzey pürüzlülük değerinin değişimi Şekil 4.3'te gösterilmiştir. Şekil 4.3'te görüldüğü gibi kesme derinliğinin artması ile ortalama yüzey pürüzlülüğünde artış görülmektedir. Kesme derinliğinin artmasıyla takım ile iş parçası arasındaki sürtünme ve ısı artmakta ve bu da dolayısıyla ortalama yüzey pürüzlülüğünün olumsuz yönde etkilenmesine neden olduğu düşünülmektedir. Kesme derinliğine bağlı olarak en ideal ortalama yüzey pürüzlülüğü ilerlemenin 0,052 mm/dev ve kesme derinliğinin 1,0 mm olduğu durumda, en kötüsü ise ilerlemenin 0,162 mm/dev ve kesme derinliğinin 2,0 mm olduğu durumda elde edilmiştir. Ayrıca artan kesme derinliğine bağlı olarak CVD kesici takım ile işlenen iş parçasından elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerinin PVD kesici takım ile işlenen iş parçasında elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerinden daha iyi olduğu görülmüştür.

Şekil 4.4'te kesme derinliği 1,5 mm, ilerleme 0,104 mm/dev, kesme hızları 30; 60 ve 90 m/dak için kesme uzunluğuna bağlı ortalama yüzey pürüzlülüğü gösterilmiştir. Şekil 4.4'te de görüldüğü gibi her iki kesici takımlarla işlenen iş parçalarının, kesme uzunluğunun artmasıyla ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinde artış meydana gelmiştir. Bunun nedeninin takım aşınmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Kesme uzunluğuna bağlı olarak en ideal ortalama yüzey pürüzlülük değeri, kesme uzunluğunun 40 mm ve kesme hızının 60 m/dak olduğu durumda tespit edilmiştir.

Ti-6Al-4V alaşımının tornalanmasında en ideal ortalama yüzey pürüzlülüğü; kesme derinliğinin 1,0 mm, kesme hızının 90 m/dak, ilerlemenin 0,052 mm/dev ve kesme uzunluğunun 40 mm olduğu durumda, CVD kesici takım için 1,40  $\mu\text{m}$ , PVD kesici takım için ise 1,28  $\mu\text{m}$  olarak elde edilmiştir. Kesme derinliğinin 1,5 ve 2,0 mm olması durumunda ise en ideal ortalama yüzey pürüzlülüğü kesme hızının 60 m/dak, ilerlemenin 0,052 mm/dev ve kesme uzunluğunun 40 mm olduğu durumda elde edilmiştir. En kötü ortalama yüzey pürüzlülüğü ise, kesme derinliğinin 2,0 mm, kesme hızının 90 m/dak, ilerlemenin 0,162 mm/dev ve kesme uzunluğunun 120 mm olduğu durumda, CVD kesici takım için 5,40  $\mu\text{m}$ , PVD kesici takım için ise 5,92  $\mu\text{m}$  olarak elde edilmiştir.

a)  $f = 0,052$  mm/devb)  $f = 0,104$  mm/devc)  $f = 0,162$  mm/dev

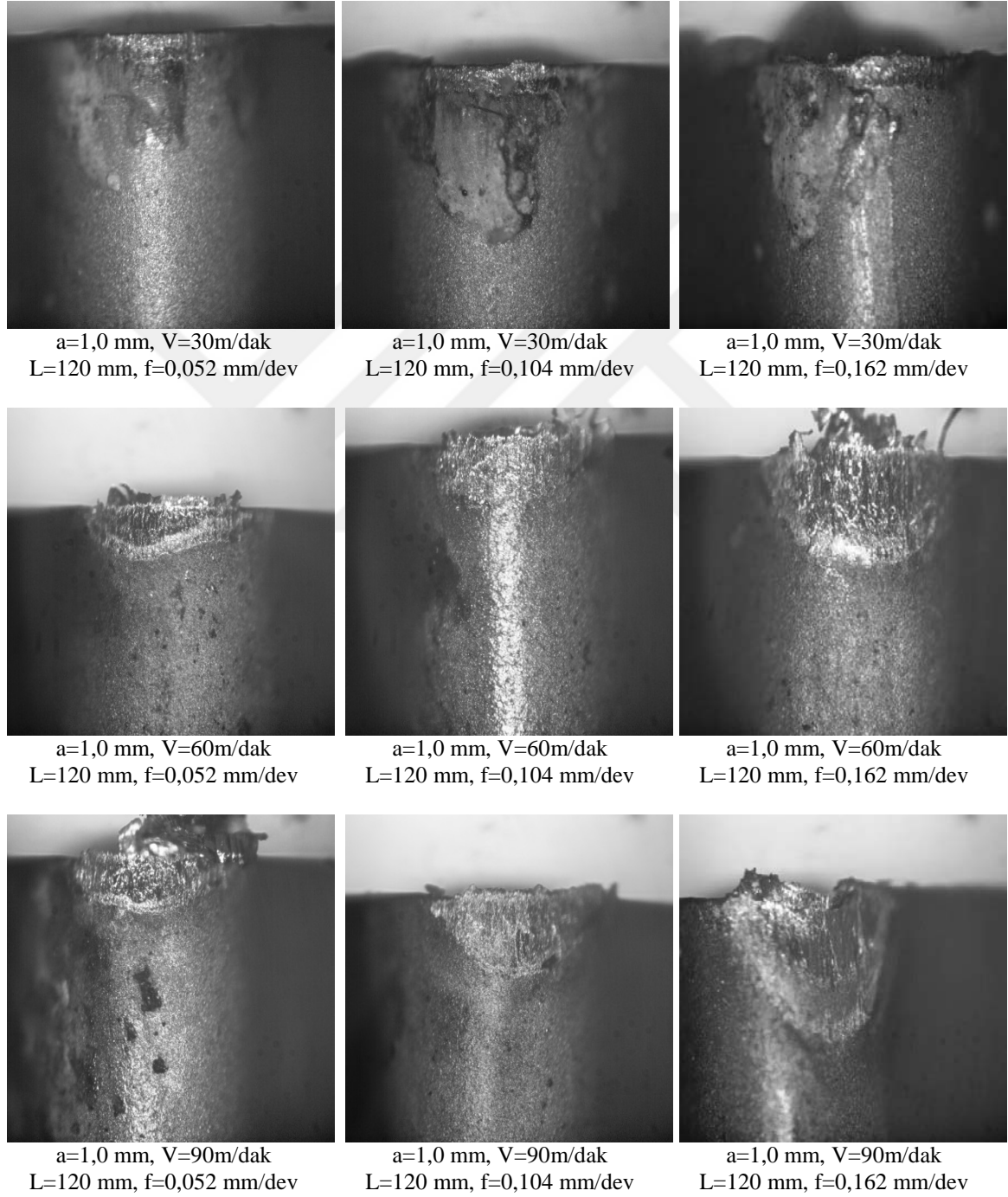
Şekil 4.3. Kesme derinliğine bağlı ortalama yüzey pürüzlülüğü

a)  $V = 30$  m/dakb)  $V = 60$  m/dakc)  $V = 90$  m/dak

Şekil 4.4. Kesme uzunluğuna bağlı ortalama yüzey pürüzlülüğü

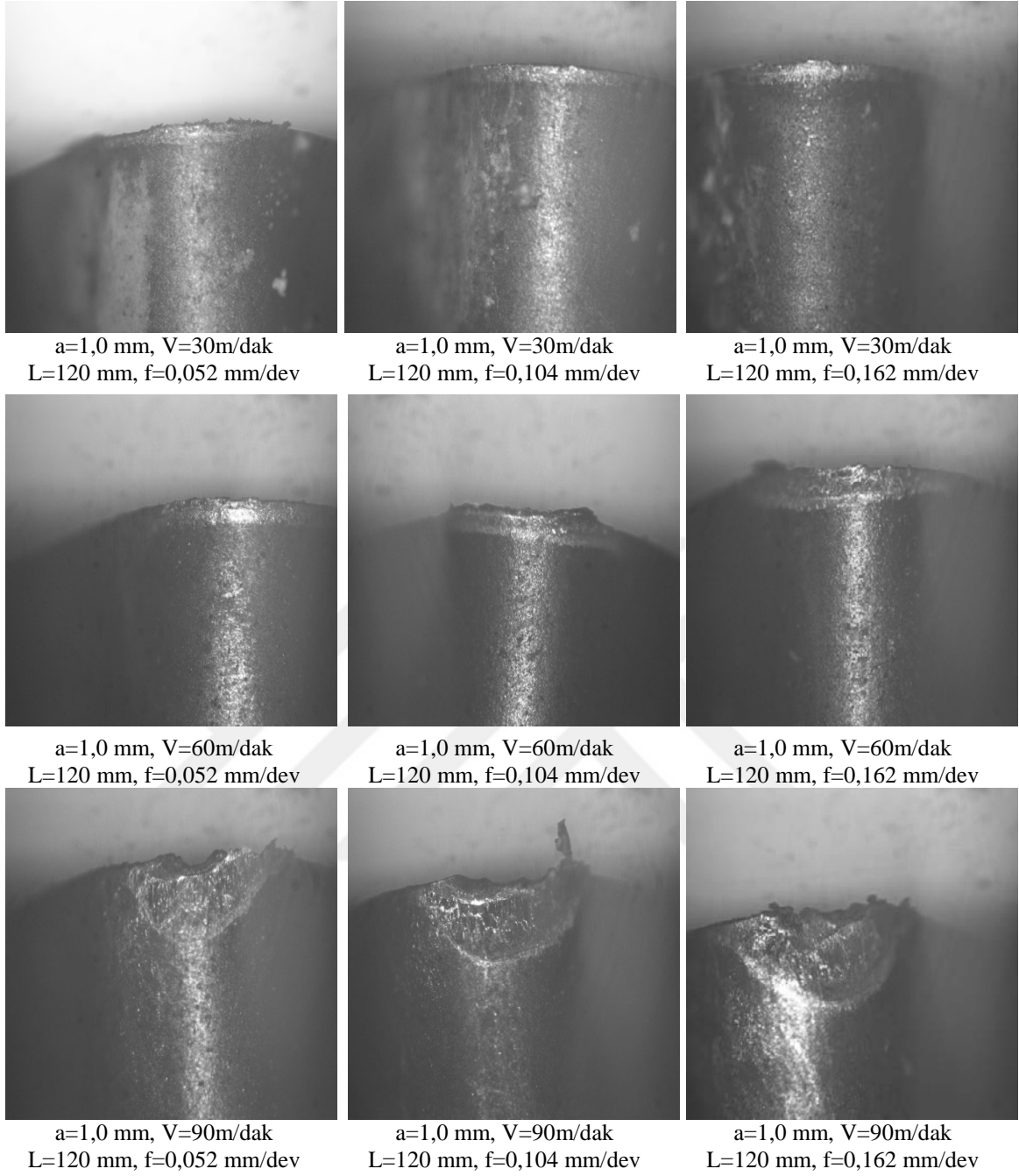
## 4.2. Takım Aşınmasının Değerlendirilmesi

Ti-6Al-4V alaşımının 1,0 mm kesme derinliğinde, 120 mm kesme uzunluğunda, farklı ilerleme ve kesme hızlarında talaşlı işlenmesinde CVD ve PVD kaplı Sementit Karbür kesici takımlarda meydana gelen aşınmaların mikroskop görüntüleri sırasıyla Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da verilmiştir.



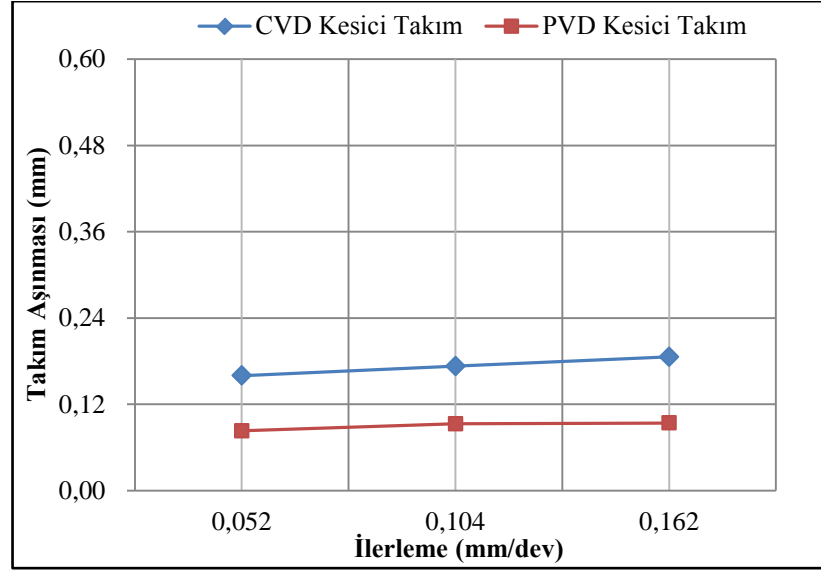
Şekil 4.5. Kesme derinliği 1,0 mm'de CVD kaplı Sementit Karbür kesici takımların mikroskop görüntüleri



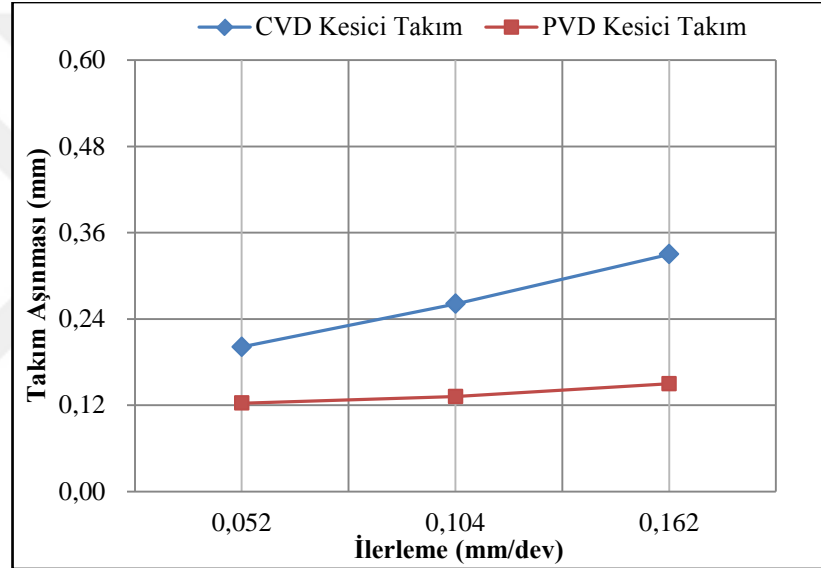


**Şekil 4.6.** Kesme derinliği 1,0 mm'de PVD kaplı Sementit Karbür kesici takımların mikroskop görüntüleri

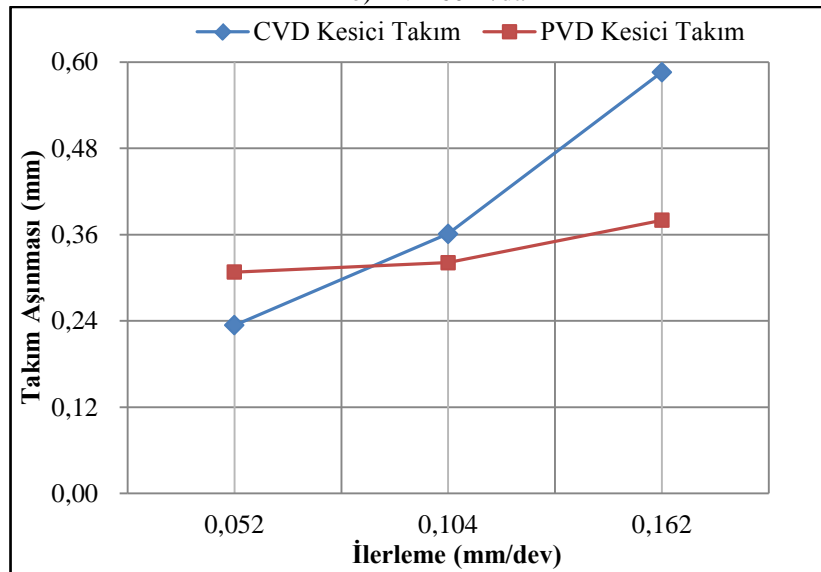
Kesme derinliği 1,0 mm, kesme uzunluğu 120 mm ve 30; 60 ve 90 m/dak kesme hızları için ilerlemeye bağlı takım aşınması değişimi Şekil 4.7'de verilmiştir. Şekil 4.7'de görüldüğü gibi her iki kesici takım için, artan ilerlemeye bağlı olarak takım aşınmasında artış görülmüştür. İlerlemenin artmasıyla, kesici takımın talaş işleyerek iş parçası üzerinde hareket ettiği mesafenin artmasıyla aşınma miktarı artmıştır. İlerlemeye bağlı olarak en ideal takım aşınması, ilerlemenin 0,052 mm/dev ve kesme hızının 30 m/dak olduğu durumda tespit edilmiştir.



a) V= 30 m/dak



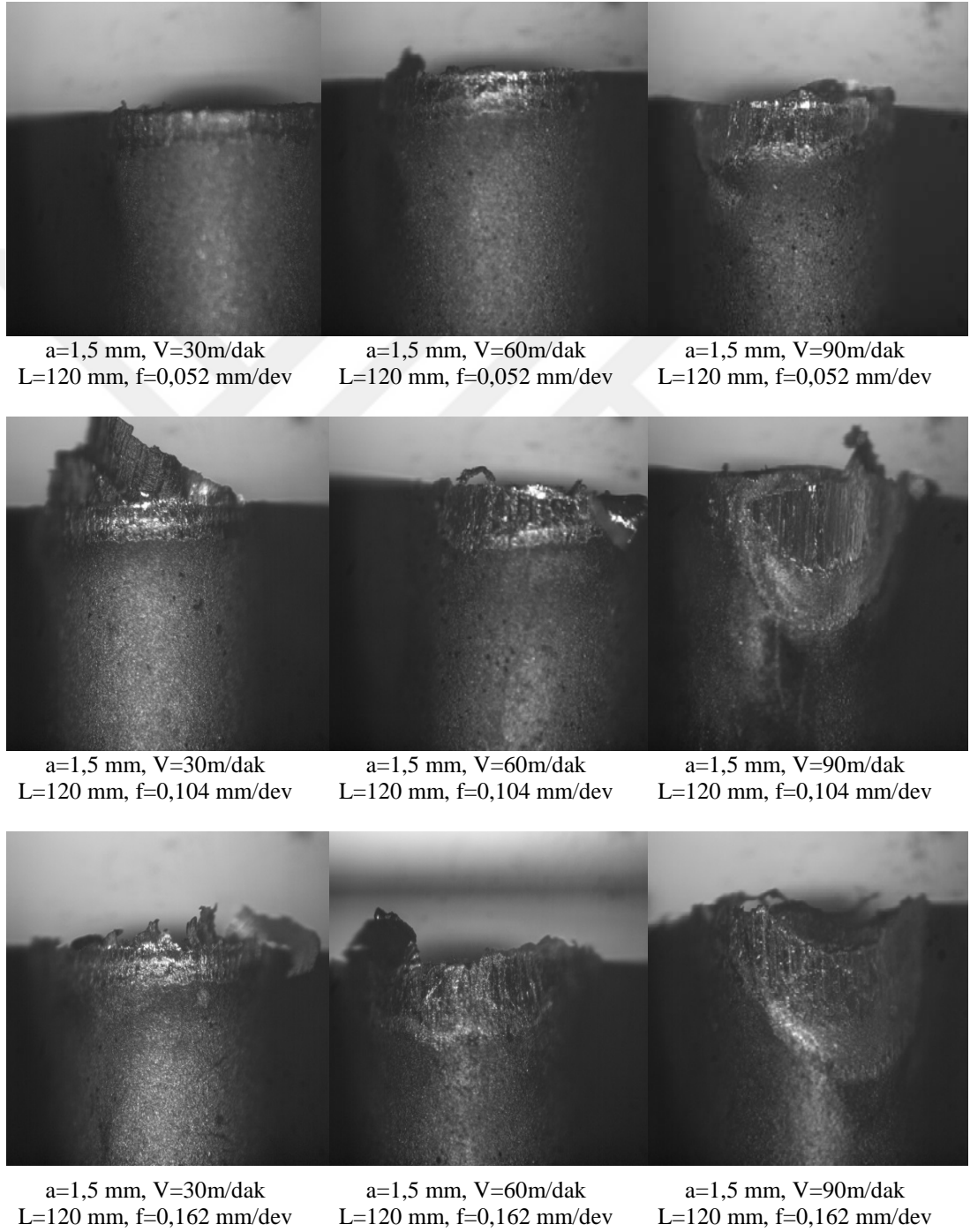
b) V= 60 m/dak



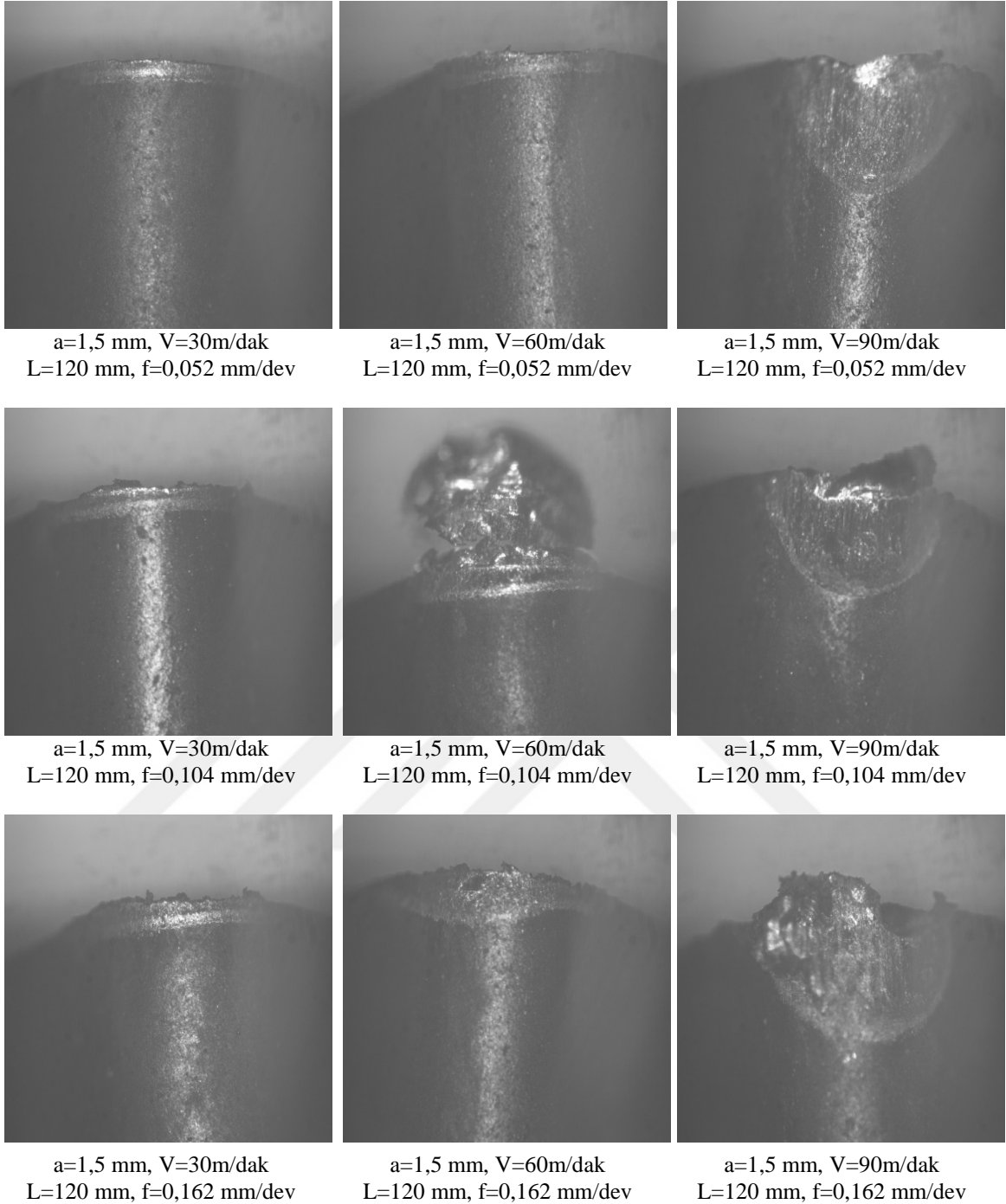
c) V= 90 m/dak

Şekil 4.7. İlerlemeye bağlı takım aşınması

Ayrıca CVD kaplı Sementit Karbür kesici takım, PVD kaplı Sementit Karbür kesici takıma göre daha fazla aşınmıştır. Ti-6Al-4V alaşımının 1,5 mm kesme derinliğinde, 120 mm kesme uzunluğunda, farklı ilerleme ve kesme hızlarında talaşlı işlenmesinde CVD ve PVD kaplı Sementit Karbür kesici takımlarda meydana gelen aşınmaların mikroskop görüntüleri sırasıyla Şekil 4.8 ve Şekil 4.9’da verilmiştir.

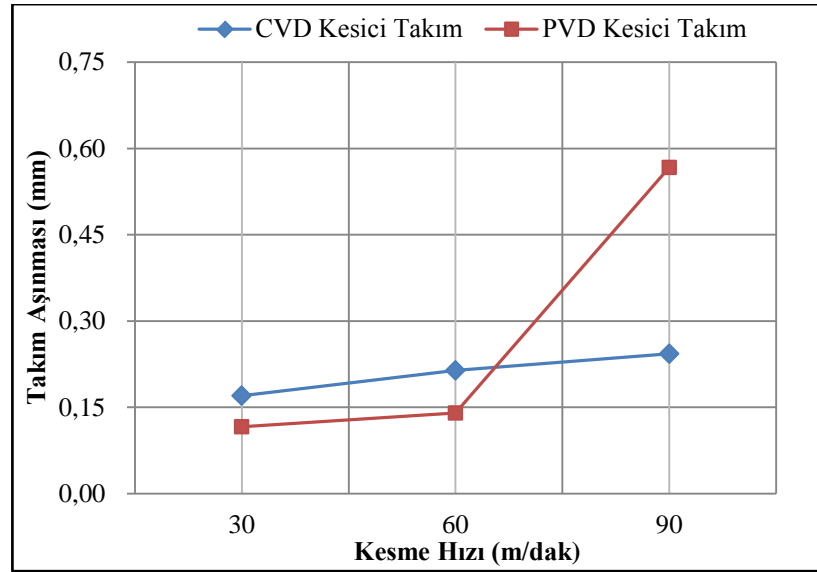
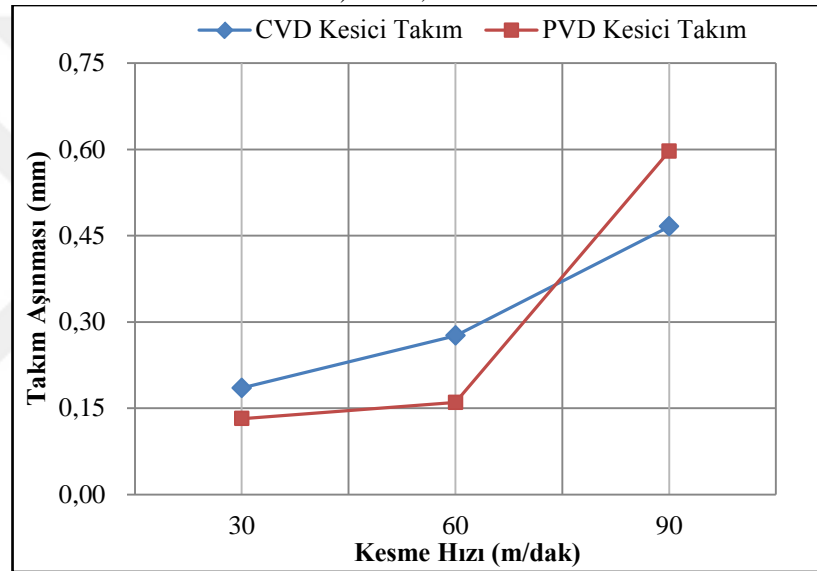
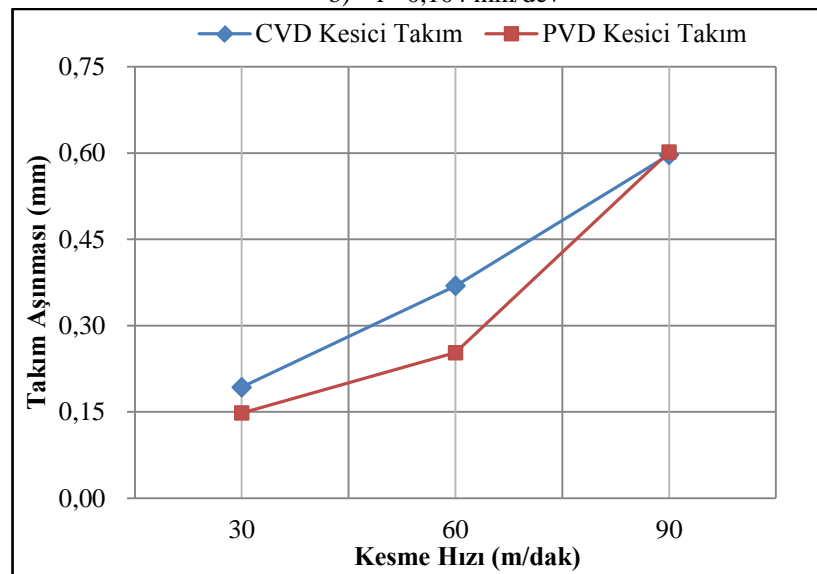


**Şekil 4.8.** Kesme derinliği 1,5 mm için CVD kaplı Sementit Karbür kesici takımların mikroskop görüntüleri



**Şekil 4.9.** Kesme derinliği 1,5 mm için PVD kaplı Sementit Karbür kesici takımların mikroskop görüntüleri

Kesme derinliği 1,5 mm, kesme uzunluğu 120 mm ve ilerlemeler 0,052; 0,104 ve 0,162 mm/dev için kesme hızına bağlı takım aşınması Şekil 4.10'da gösterilmiştir. Her iki kesici takım için artan kesme hızlarına bağlı olarak takım aşınmasında artış görülmüştür. Yüksek kesme hızında, kesici takım ile iş parçası arasında sürtünme artar, bunun neticesinde aşırı ısı oluşur. Bu durumun takım aşınmasının artmasına neden olduğu düşünülebilir.

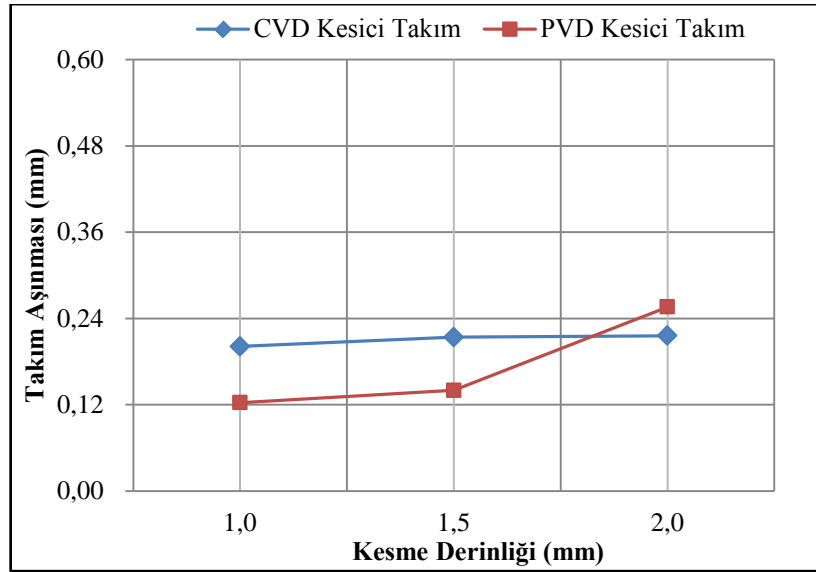
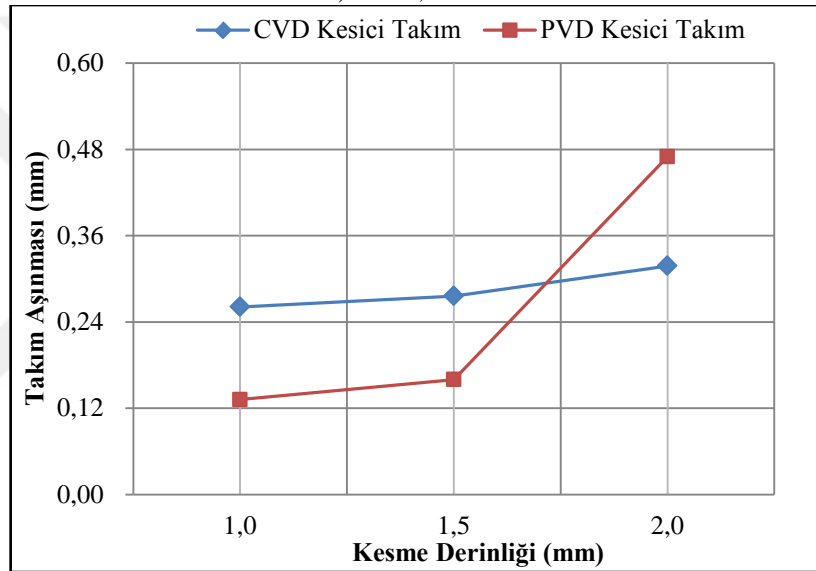
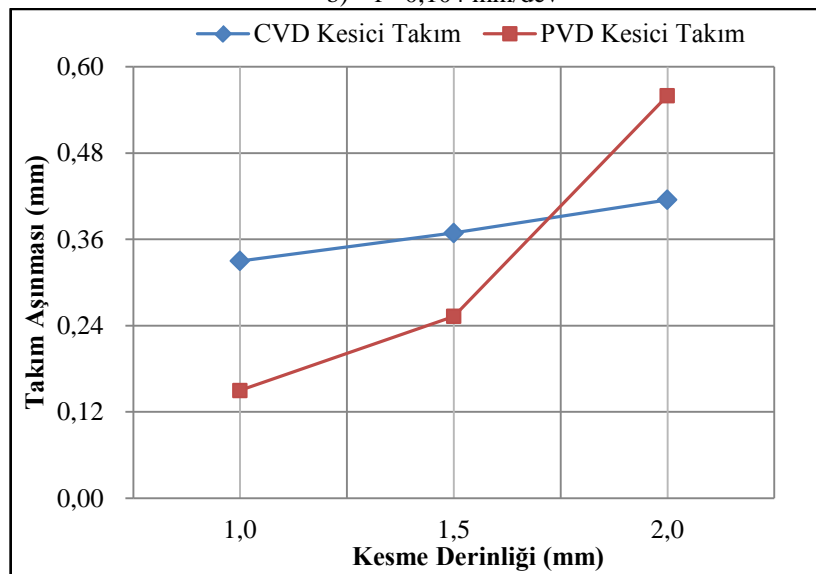
a)  $f = 0,052$  mm/devb)  $f = 0,104$  mm/devc)  $f = 0,162$  mm/dev

Şekil 4.10. Kesme hızına bağlı takım aşınması

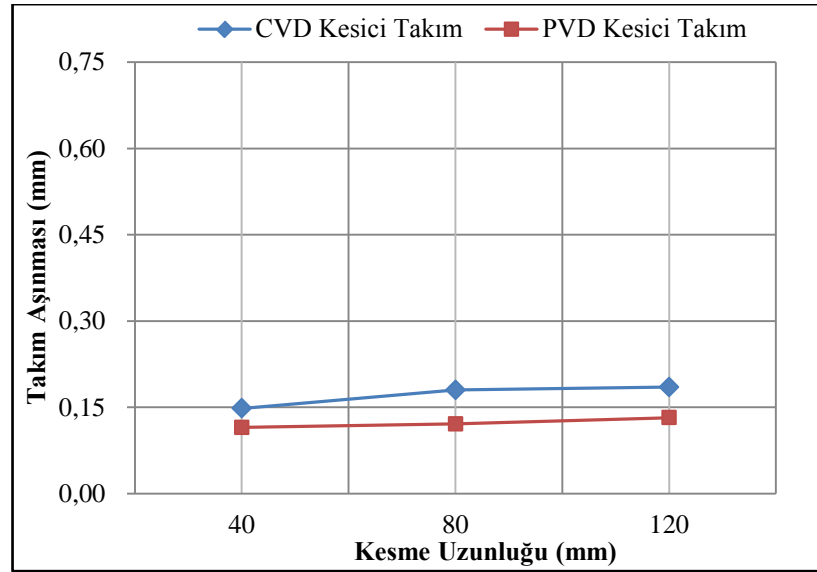
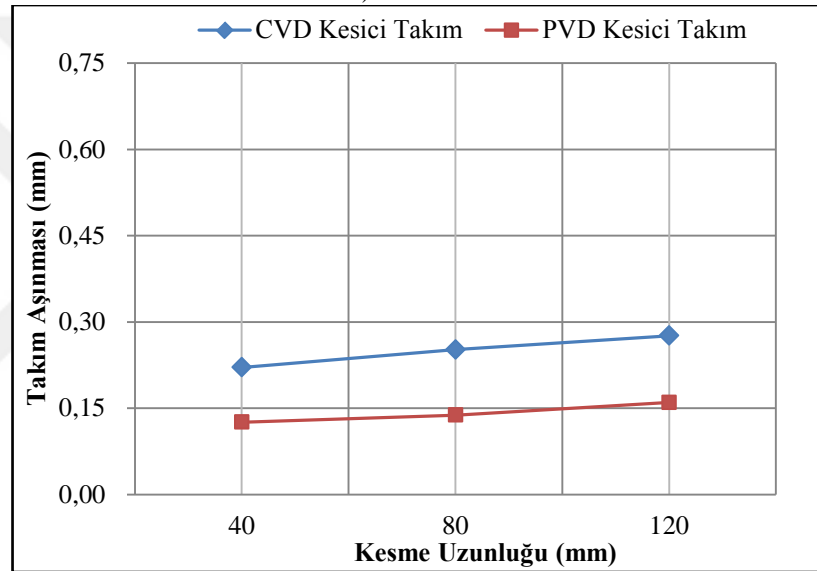
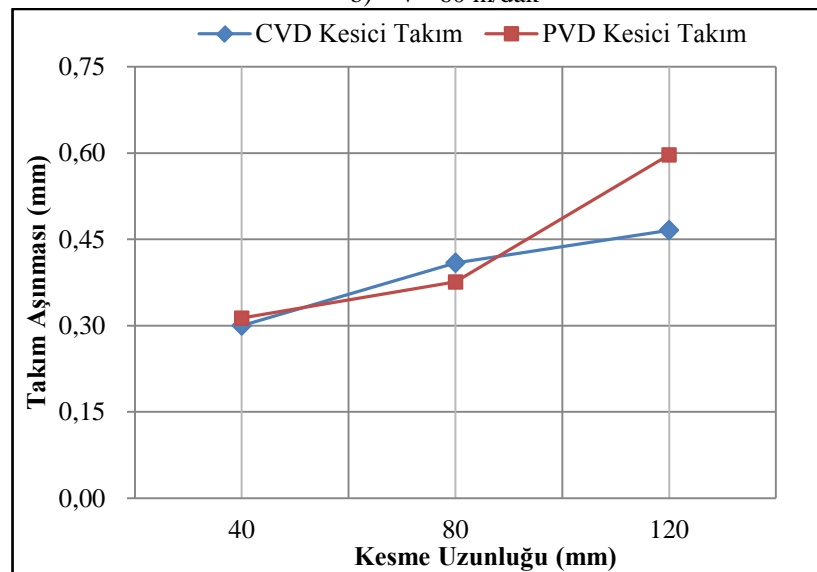
Akkurt [1998], kesici takım-iş parçası arasındaki sürtünme, takım aşınmasının esas neden olduğunu, işlemdeki sürtünme kaynaklı ısı ise aşınmayı hızlandıran bir etken olduğunu belirtmiştir. Şekil 4.10'da görüldüğü gibi PVD kaplı Sementit Karbür kesici takımın 60 m/dak kesme hızından sonra CVD kaplı Sementit Karbür kesici takıma göre aşınmasında aşırı bir şekilde artış görülmektedir. Kesme hızına bağlı en ideal takım aşınması, kesme hızının 30 m/dak ve ilerlemenin 0,052 mm/dev olduğu durumda elde edilmiştir.

Kesme uzunluğu 120 mm, kesme hızı 60 m/dak, 0,052; 0,104; 0,162 mm/dev ilerlemeler için kesme derinliğine bağlı takım aşınmalarındaki değişim Şekil 4.11' de gösterilmiştir. Şekil 4.11'de de görüldüğü gibi kesme derinliğinin artması takım aşınmasının artmasına neden olmuştur. Özellikle PVD kaplı Sementit Karbür kesici takımlarda 1,5 mm kesme derinliğinden sonra aşınmasında aşırı bir artış görülmüştür. Kesme derinliğine bağlı en ideal takım aşınması, kesme derinliğinin 1,0 mm ve ilerlemenin 0,052 mm/dev olduğu durumda elde edilmiştir. Şekil 4.12'de ise kesme derinliği 1,5 mm, ilerleme 0,104 mm/dev, kesme hızları 30; 60; 90 m/dak için kesme uzunluğuna bağlı takım aşınmalarındaki değişim gösterilmiştir. Şekil 4.12'de de görüldüğü gibi her iki kesici takım için artan kesme uzunluğuna bağlı olarak takım aşınmasında da artış görülmüştür. Kesme uzunluğunun artması, takım aşınmasında olumsuz etki yaratmıştır. Bunun nedeni artan kesme mesafesi sonucu oluşan sıcaklıktır. Kesici takım ve iş parçası yüzeyinin uzun süre etkileşim göstermesi sonucu oluşan sürtünme takım aşınmasında olumsuz etkiye neden olduğu düşünülmektedir. Kesme uzunluğuna bağlı en ideal takım aşınması, kesme uzunluğunun 40 mm ve kesme hızının 30 m/dak olduğu durumda elde edilmiştir.

Şekil 4.7, Şekil 4.10, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12'de görüldüğü gibi 0,104 mm/dev ilerleme, 60 m/dak kesme hızı, 1,5 mm kesme derinliği ve 80 mm kesme uzunluğu değerlerinden sonra takım aşınmalarında aşırı bir artış görülmüştür. Özellikle yüksek işleme parametrelerinde CVD kaplı Sementit Karbür kesici takımlarda ciddi bir aşınma gözlenmezken, PVD kaplı Sementit Karbür kesici takımlarda aşınma artmıştır. PVD kaplı Sementit Karbür kesici takım tek katlı kaplama ile kaplanmışken, CVD kaplı Sementit Karbür kesici takım ise üç kat kaplama ile kaplandığından dolayı takımın aşınmasında böyle bir artış olduğu düşünülmektedir.

a)  $f = 0,052$  mm/devb)  $f = 0,104$  mm/devc)  $f = 0,162$  mm/dev

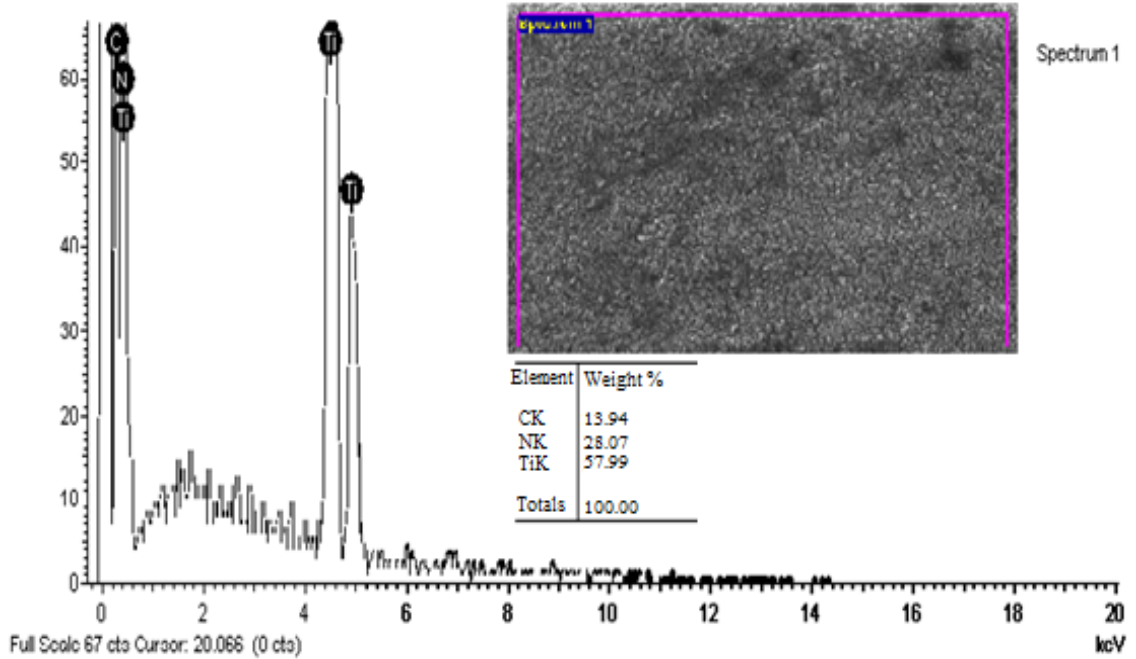
Şekil 4.11. Kesme derinliğine bağlı takım aşınması

a)  $V=30$  m/dakb)  $V=60$  m/dakc)  $V=90$  m/dak

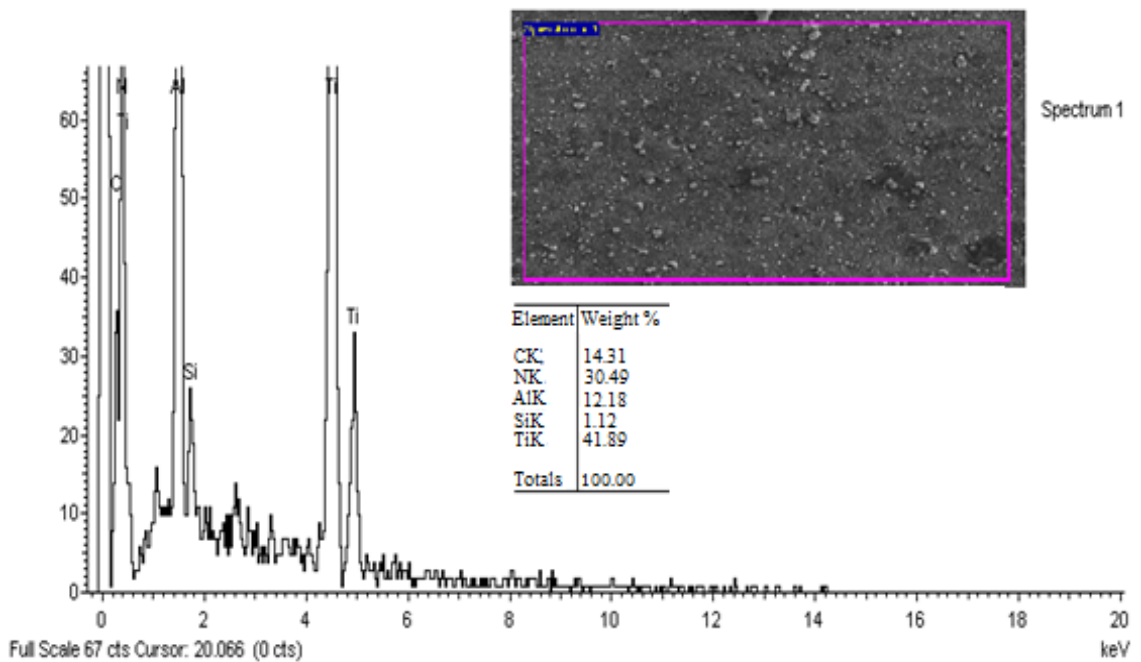
Şekil 4.12. Kesme uzunluğuna bağlı takım aşınması



Deneysel çalışmalar tamamlandıktan sonra kullanılmamış ve farklı kesme koşullarında kullanılmış kesici takımların SEM ve EDX analizleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.13 ve Şekil 4.14'te kullanılmamış CVD ve PVD kaplı Sementit Karbür kesici takımların EDX analiz sonucu verilmiştir.

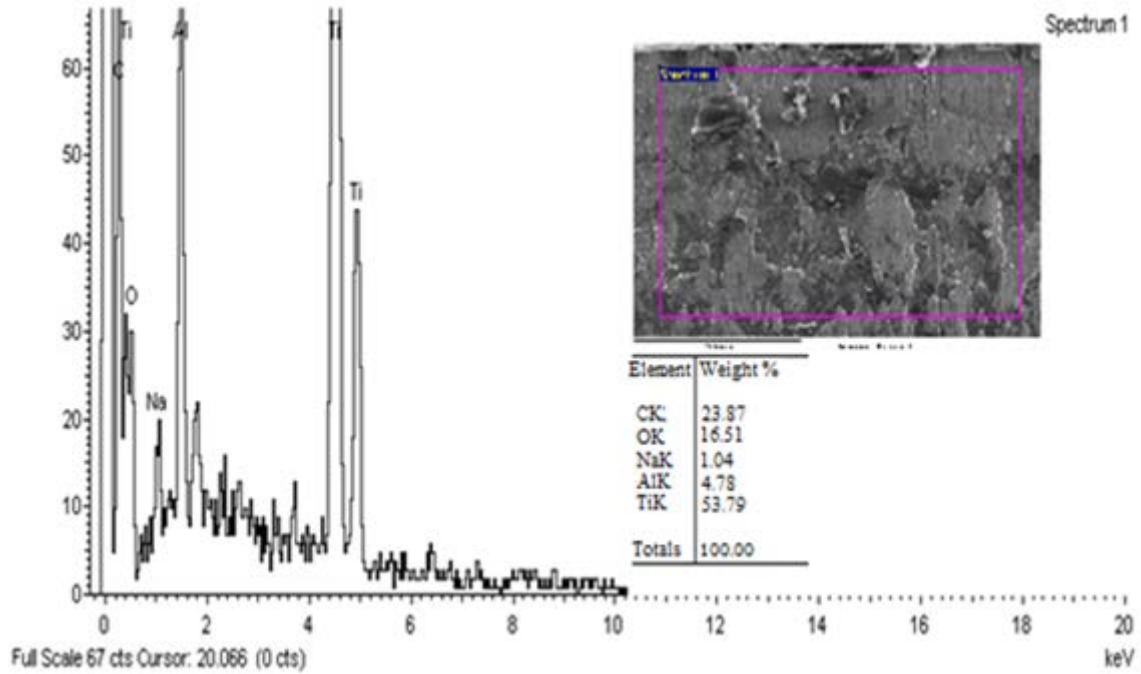


Şekil 4.13. Kullanılmamış CVD kaplı Sementit Karbür kesici takımın EDX analizi

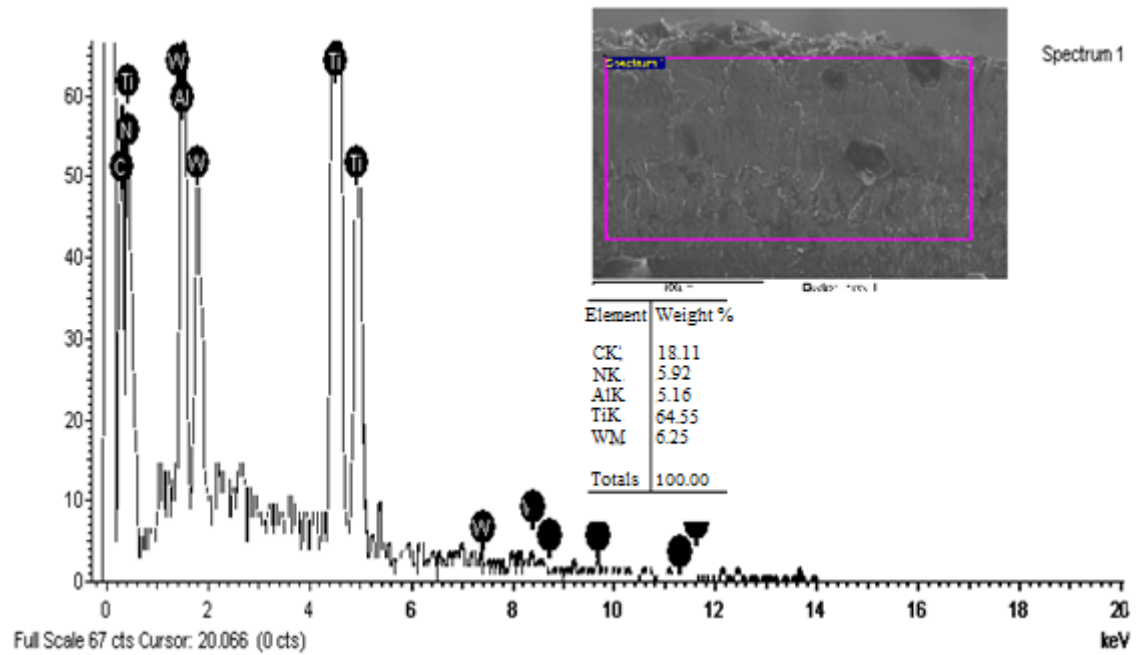


Şekil 4.14. Kullanılmamış PVD kaplı Sementit Karbür kesici takımın EDX analizi

Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'da ise kesme derinliğinin 1,5 mm, kesme uzunluğunun 120 mm, ilerlemenin 0,162 mm/dev ve kesme hızının 30 m/dak olduğu durumlardaki CVD ve PVD kaplı Sementit Karbür kesici takımların EDX analiz sonucu verilmiştir.



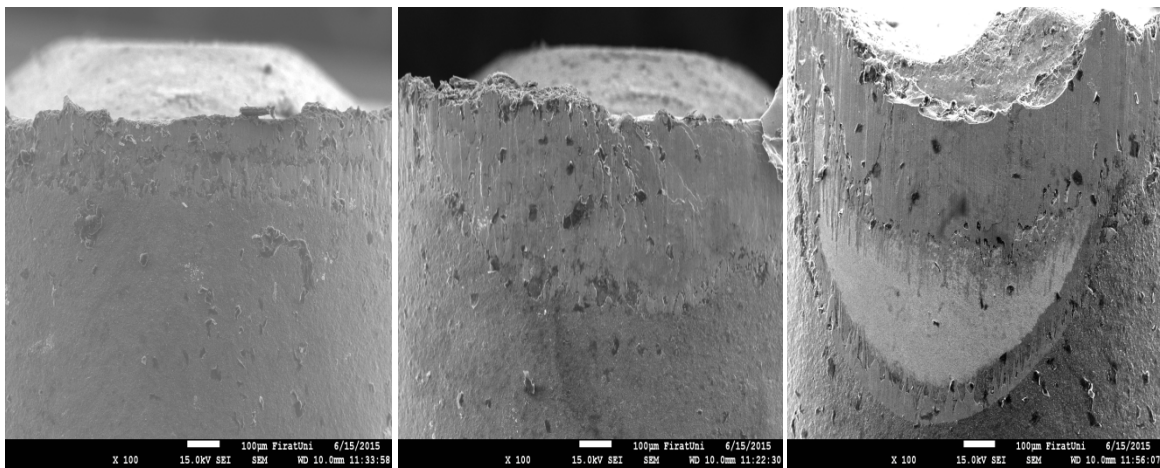
Şekil 4.15. Kullanılmış CVD kaplı Sementit Karbür kesici takımın EDX analizi



Şekil 4.16. Kullanılmış PVD kaplı Sementit Karbür kesici takımın EDX analizi

EDX analizlerinden, Şekil 4.13'te kullanılmamış CVD kaplı Sementit Karbür kesici takımında ağırlık olarak %13.94 C, %28.07 N, %57.99 Ti bulunurken, Şekil 4.15'te kullanılmış CVD kaplı Sementit Karbür kesici takımında ağırlık olarak %23.87 C, %16.51 O, %1.04 Na, %4.78 Al, %53.79 Ti bulunmuştur. Ayrıca Şekil 4.14'te kullanılmamış PVD kaplı Sementit Karbür kesici takımında ağırlık olarak %14.31 C, %30.49 N, %12.18 Al, %1.12 Si, %41.89 Ti bulunurken, Şekil 4.16'da kullanılmış PVD kaplı Sementit Karbür kesici takımında ağırlık olarak %18.11 C, %5.92 N, %5.16 Al, %64.55 Ti, %6.26 bulunmuştur.

Her iki kesici takımında da kesme parametrelerine bağlı olarak kesici takımlar üzerindeki elementler incelendiğinde bazı elementlerin % ağırlık olarak arttığı bazı elementlerin ise kesici takımlarda sonradan ortaya çıktığı görülmüştür. Farklı kesme koşullarına bağlı olarak bunu iş parçasından kesici takıma yapışma olarak tarif edilen talaş yığılması olarak belirleyebileceğimiz gibi kesici takımların aşınma sonucu alt katmanda bulunan yüzeylerindeki kimyasal kompozisyonundan da kaynaklandığını söyleyebiliriz. Çünkü SEM görüntülerine bakıldığı zaman bazı kesme parametrelerinde kesici takıma talaşın yapıştığı bazı kesme parametrelerinde de hem aşınmanın hem de kesici takımında kopmanın olduğu görülmektedir. Şekil 4.17 ve Şekil 4.18'de ilerlemenin 0,162 mm/dev olduğu durumdaki CVD ve PVD kaplı Sementit Karbür kesici takımların sırasıyla SEM görüntüleri verilmiştir.

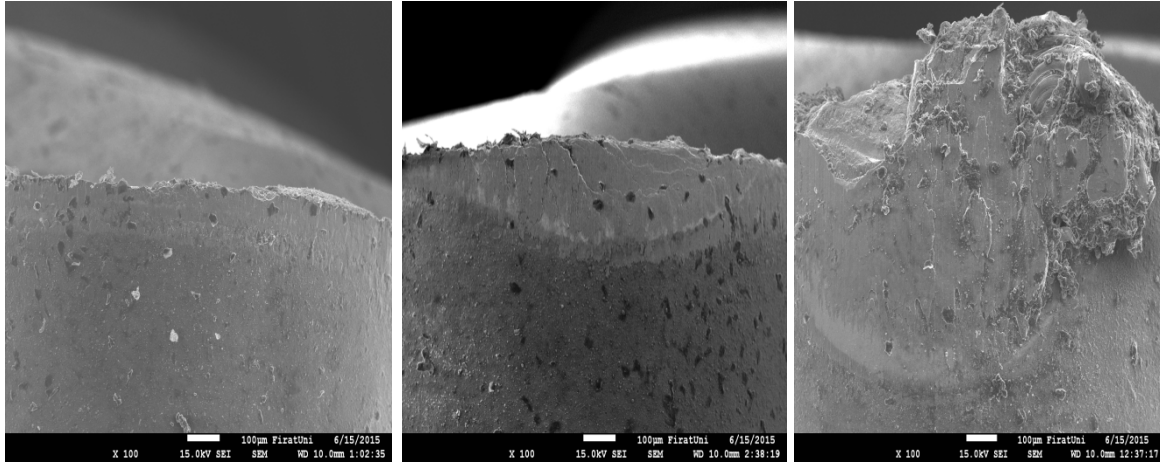


a=1,5 mm, V=30m/dak  
L=120 mm, f=0,162 mm/dev

a=1,5 mm, V=60m/dak  
L=120 mm, f=0,162 mm/dev

a=1,5 mm, V=90m/dak  
L=120 mm, f=0,162 mm/dev

Şekil 4.17. CVD kaplı Sementit Karbür kesici takımların SEM görüntüleri



a=1,5 mm, V=30m/dak  
L=120 mm, f=0,162 mm/dev

a=1,5 mm, V=60m/dak  
L=120 mm, f=0,162 mm/dev

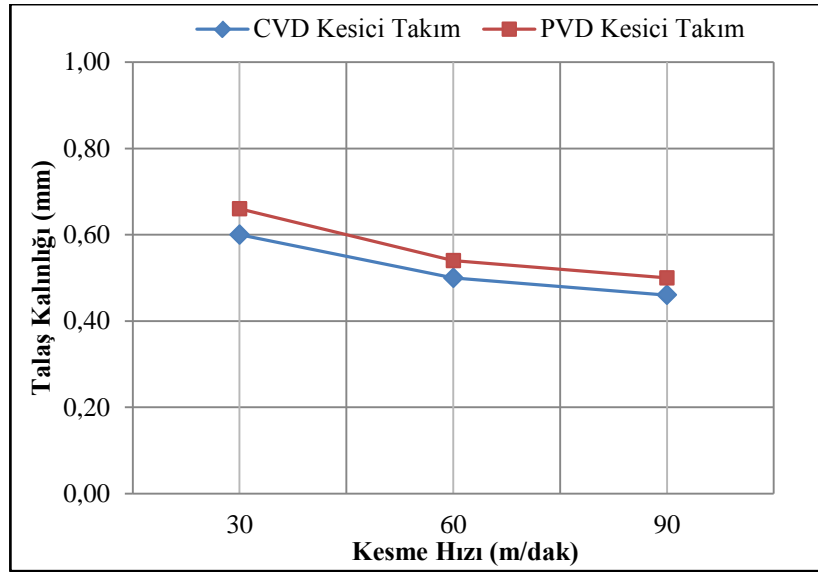
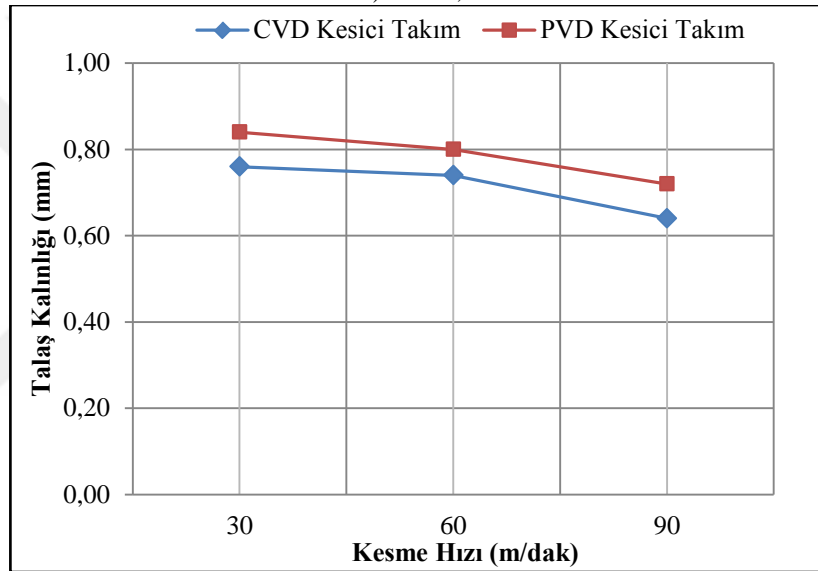
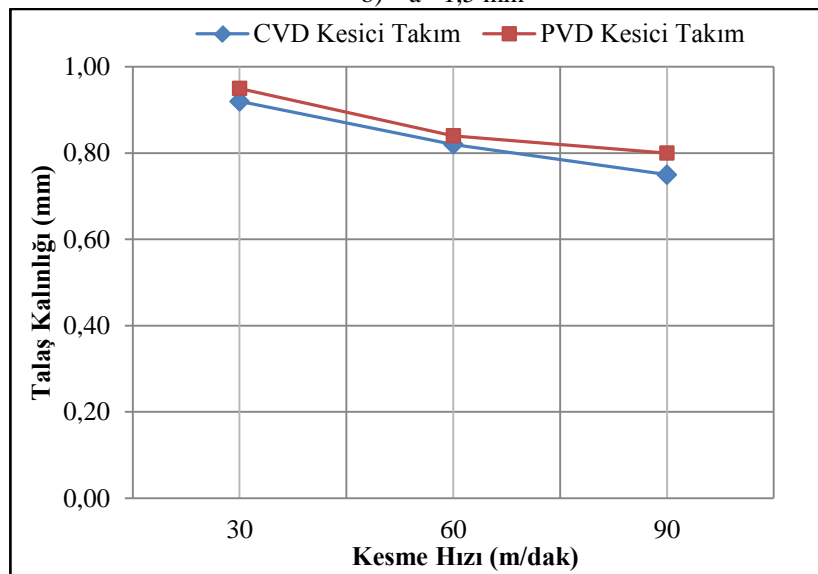
a=1,5 mm, V=90m/dak  
L=120 mm, f=0,162 mm/dev

Şekil 4.18. PVD kaplı Sementit Karbür kesici takımların SEM görüntüleri

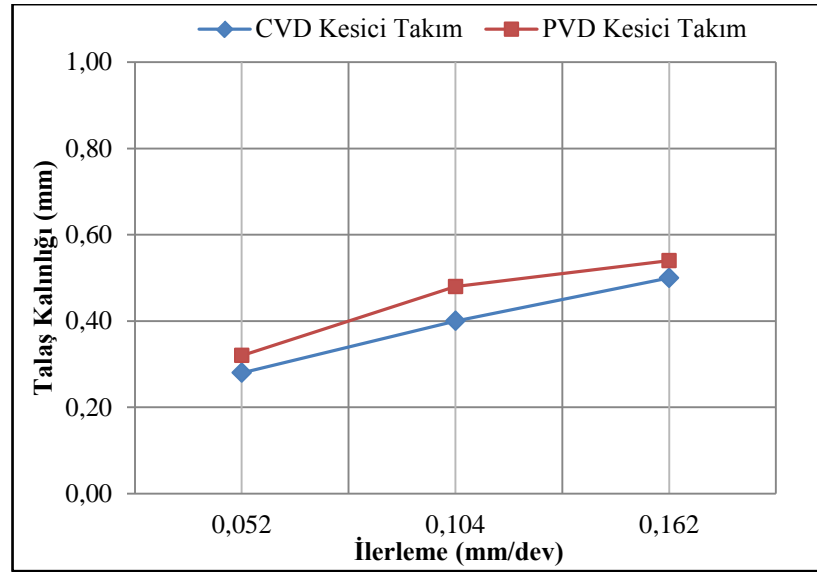
### 4.3. Talaş Kalınlığının Değerlendirilmesi

İlerleme 0,162 mm/dev, kesme uzunluğu 120 mm, 1,0; 1,5; 2,0 mm kesme derinlikleri için kesme hızlarına bağlı talaş kalınlığı Şekil 4.19’da gösterilmiştir. Şekil 4.19’da da görüldüğü gibi her iki kesici takımında da artan kesme hızlarına bağlı olarak talaş kalınlığında azalma görülmüştür. Kesme hızının artmasıyla iş parçasının dönme devri artmaktadır. Bu durumun kesici takımın ile iş parçası arasındaki sürtünmeyi artırarak oluşan talaş kalınlığının azalmasına neden olduğu düşünülmektedir.

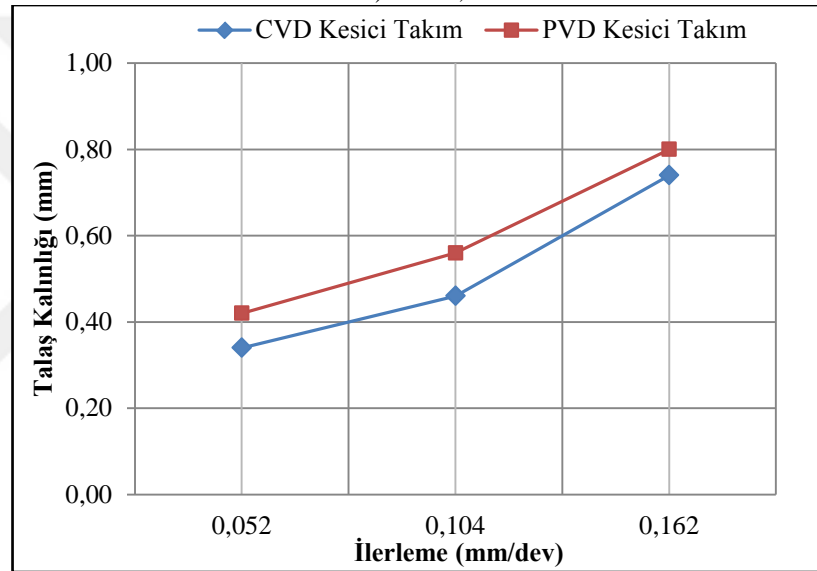
Her iki kesici takım için minimum talaş kalınlığı, kesme derinliğinin 1,0 mm ve kesme hızının 90 m/dak olduğu durumda elde edilirken maksimum talaş kalınlığı, kesme derinliğinin 2,0 mm ve kesme hızının 30 m/dak olduğu durumdan elde edilmiştir.

a)  $a=1,0$  mmb)  $a=1,5$  mmc)  $a=2,0$  mm

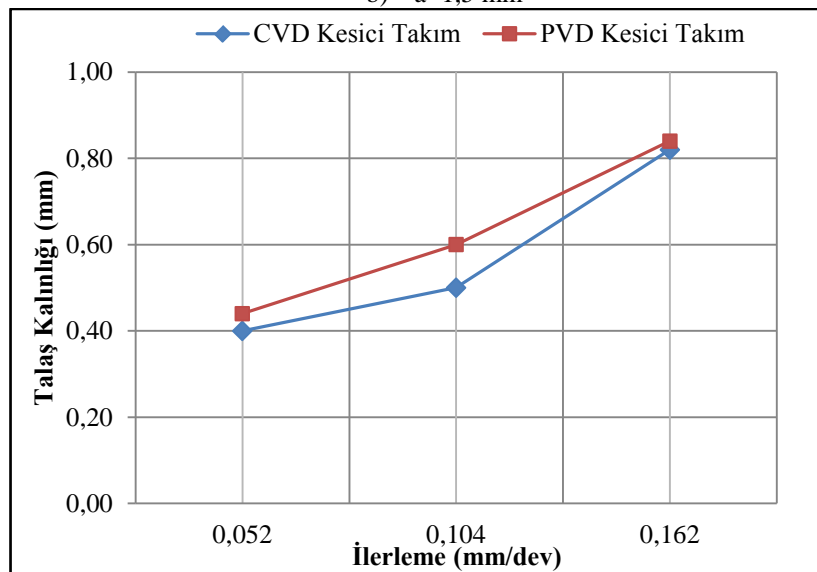
Şekil 4.19. Kesme hızına bağlı talaş kalınlığı



a) a= 1,0 mm



b) a=1,5 mm



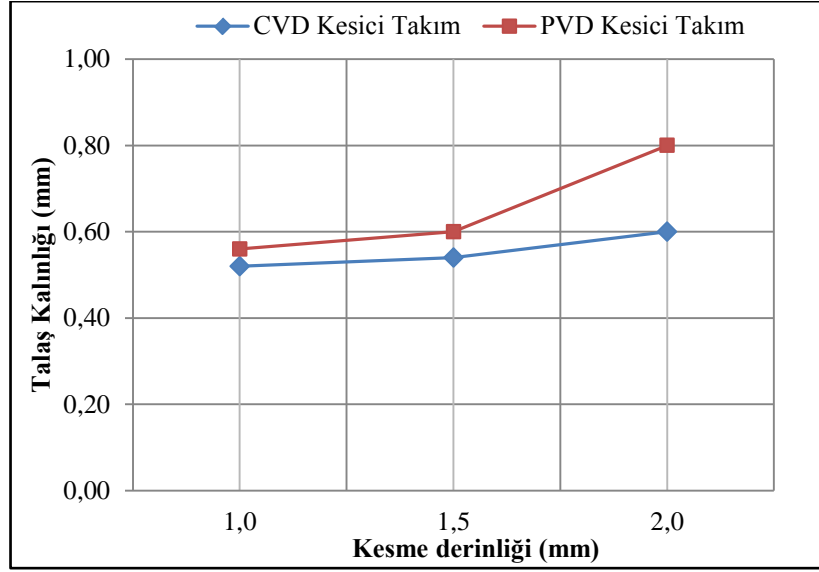
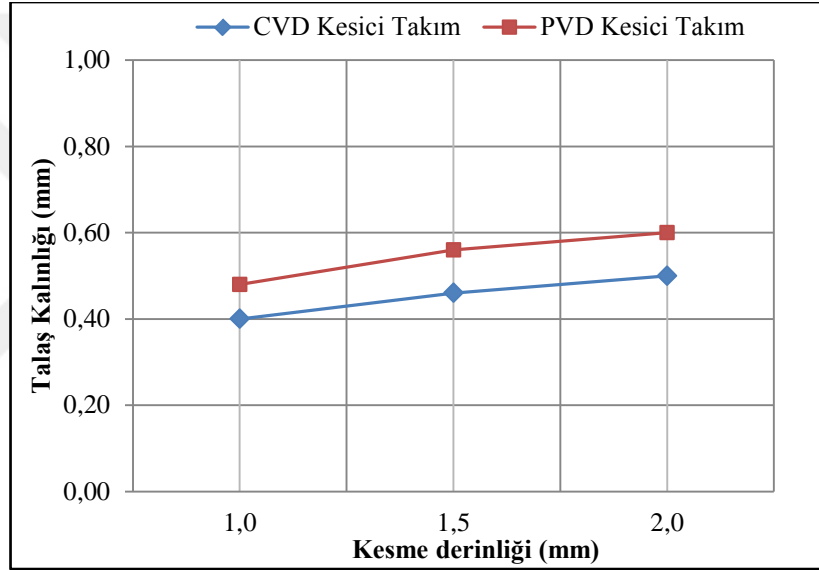
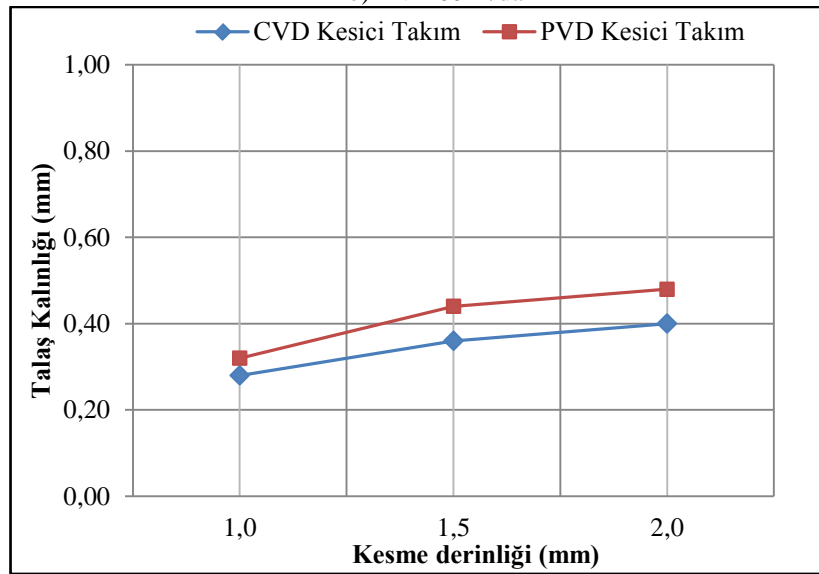
c) a= 2,0 mm

Şekil 4.20. İlerlemeye bağlı talaş kalınlığı

Kesme hızı 60 m/dak, Kesme uzunluğu 120 mm, 1,0; 1,5; 2,0 mm kesme derinlikleri için ilerlemeye bağlı talaş kalınlığı Şekil 4.20’de gösterilmiştir. Şekil 4.20’de de görüldüğü gibi her iki kesici takım da artan ilerlemeye bağlı olarak talaş kalınlığında artma görülmüştür. İlerlemenin artmasıyla kesici takımın iş parçasına daha fazla nüfuz ettiği ve dolayısıyla kaldırılan talaşın kesitinin arttığı düşünülmektedir. Kesme derinliğinin 1,0 mm ve ilerlemenin 0,052 mm/dev olduğu durumda her iki kesici takım için talaş kalınlığı en az seviyede iken, talaş kalınlığı 2,0 mm ve ilerleme 0,162 mm/dev olduğu durumda ise her iki kesici takım için talaş kalınlığı en yüksek seviyededir.

İlerleme 0,104 mm/dev, kesme uzunluğu 120 mm ve 30; 60; 90 m/dak kesme hızları için kesme derinliğine bağlı talaş kalınlığı Şekil 4.21’de gösterilmiştir. Şekil 4.21’de görüldüğü gibi her iki kesici takım için kesme derinliğinin artması ile talaş kalınlığı artmıştır. Bu beklenen bir durumdur.

Tüm kesme koşulları göz önüne getirildiğinde, her iki kesici takım için minimum talaş kalınlığı, kesme derinliğinin 1,0 mm, ilerlemenin 0,052 mm/dev ve kesme hızının 90 m/dak olduğu durumda elde edilirken maksimum talaş kalınlığı, kesme derinliğinin 2,0 mm, ilerlemenin 0,162 mm/dev ve kesme hızının 30 m/dak olduğu durumdan elde edilmiştir. Benzer parametreler göz önünde bulundurulduğunda ise PVD kaplı Sementit Karbür kesici takımla kaldırılan talaş kalınlığının CVD kaplı Sementit Karbür kesici takımdan kaldırılan talaş kalınlığından fazla olduğu görülmüştür.

a)  $V=30$  m/dakb)  $V=60$  m/dakc)  $V=90$  m/dak

Şekil 4.21. Kesme derinliğine bağlı talaş kalınlığı



## 5. SONUÇLAR

Deneysel çalışmalarda Ti-6Al-4V alaşımının CVD ve PVD kaplı Sementit Karbür kesici takımlarla tormalanmasında kesme parametrelerinin tormalanan iş parçası yüzeyine ve kesici takım üzerine etkileri esas alınmıştır. Deneysel çalışmalarda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Kesme derinliği, kesme uzunluğu ve ilerleme arttığında ortalama yüzey pürüzlülük değeri artış göstermiştir.
- Her iki kesici takım için en iyi ortalama yüzey pürüzlülüğü; kesme derinliğinin 1,0 mm, kesme hızının 90 m/dak, ilerlemenin 0,052 mm/dev ve kesme uzunluğunun 40 mm olduğu durumda elde edilmiştir.
- Her iki kesici takım için en kötü ortalama yüzey pürüzlülük değeri; kesme derinliğinin 2,0 mm, kesme hızının 90 m/dak, ilerleme hızının 0,162 mm/dev ve kesme uzunluğunun 120 mm olduğu durumda elde edilmiştir.
- Kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği ve kesme uzunluğunun artması; takım aşınmasının artmasına neden olmuştur.
- Minimum aşınmada, 0,052 mm/dev ilerleme, 30 m/dak kesme hızı, 1,0 mm kesme derinliği ve 40 mm kesme uzunluğunda PVD Sementit Karbür kesici takımında 0,047 mm olarak elde edilmiştir. Aynı parametreler için CVD Sementit karbür kesici takımdan elde edilen değer 0,110 mm olarak tespit edilmiştir.
- Maksimum aşınma, kesme derinliği 2,0 mm, kesme hızı 90 m/dak, ilerleme 0,162 mm/dev ve kesme uzunluğu 120 mm olduğu durumda CVD Sementit Karbür kesici takımında 0,891 mm olarak elde edilmiştir. Aynı parametreler için PVD Sementit Karbür kesici takımında aşınma 0,710 mm olarak ölçülmüştür.
- Kesme hızı arttığında, her iki kesici takım için iş parçasından kaldırılan talaşın kalınlığında azalma görülmüştür.
- İlerleme ve kesme derinliği arttığında iş parçasından kaldırılan talaşın kalınlığında artış görülmüştür.

Deneysel çalışmalar sonucunda; Ti-6Al-4V alaşımının PVD ve CVD Sementit Karbür kesici takımlarla tornalanmasında, farklı kesme parametrelerinin hem işlenen yüzeye hem de kesici takıma etkisinin oldukça önemli olduğu görülmüştür. Bu yüzden iyi bir yüzey kalitesi veya minimum takım aşınması elde etmek için en uygun kesme şartları belirlenmelidir. Yüzey kalitesinin iyi olması isteniyorsa kesme derinliği ile ilerlemenin düşük kesme hızının yüksek olması gerekmektedir. Şayet kesici takımın geç aşınması isteniyorsa kesme derinliği, ilerleme ve kesme hızının düşük olması gerekmektedir. Ayrıca, kesme parametrelerine bağlı olarak CVD ve PVD Sementit Karbür kesici takımların da seçilmesinin önemli olduğu görülmüştür. Yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması üzerine, bazı kesme koşulları için CVD Sementit karbür kesici takımların oldukça iyi performans gösterdiği gözlemlenirken bazı kesme parametreleri için ise PVD Sementit Karbür kesici takımların oldukça iyi performans gösterdiği gözlemlenmiştir.

## KAYNAKLAR

- Akagündüz, E., 2008, Isıl işlem görmüş Ti6Al4V alaşımının yüzey özelliklerinin mikroyapı ve yüzey çizilme dayanımları açısından incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Gebze İleri teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gebze.
- Akkurt, M., 1998, Talaş kaldırma yöntemleri ve takım tezgahları, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Akkurt, M., 2012, Talaş kaldırma bilimi ve teknolojisi CNC takım tezgahları ve üretim otomasyonu, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Akyol, S., 2007, Ti6Al4V Titanyum alaşımının işlenebilirliğinin ısıtılma işlemiyle artırılması, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Andriya, N., 2012, Dry machining of Ti-6Al-4V using PVD coated TiAlN tools, *Proceedings of the World Congress on Engineering (WCE2012)*, Vol III, 4-6 July London, U.K.
- Anık, S. ve Süataç, M., 1986, Titanyum alaşımlarının kaynak kabiliyeti, *Mühendis ve Makina Dergisi*, Cilt 27, Sayı 318, 18-22.
- Arafat, M., 2009, CNC delme işleminde delme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü açısından optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri.
- Armendia, M., Osborne, P., Garay, A., Belloso, J., Turner, S. And Arrazola, P. J., 2012, Influence of heat treatment on the machinability of titanium alloy, *Materials and Manufacturing Processes*, 27, 457-461.
- Aydın, D., Gavas, M., Yaşar, M. ve Altunpak, Y., 2012, Üretim yöntemleri ve imalat teknolojileri, Seçkin Yayıncılık San. ve Tic. A.Ş., Ankara.
- Bağcı, K., 2001, Titanyum ve alaşımlarının işlenebilirlik etüdü, Müh. Ansik. Cilt IV, [https://docs.google.com/folderview?id=0B0\\_Ltz2xDjzmZjVhZjUzNWItNzVjOC00ZDRlWEzY2UtMjdIMTVmZjI2MzQ5&usp=drive\\_web&hl=tr](https://docs.google.com/folderview?id=0B0_Ltz2xDjzmZjVhZjUzNWItNzVjOC00ZDRlWEzY2UtMjdIMTVmZjI2MzQ5&usp=drive_web&hl=tr) [Ziyaret Tarihi: 25 Aralık 2015].
- Doğan, İ., 2002, Titanyum malzemenin (Kalite 265.2) TIG kaynak yöntemiyle kaynaklanabilirliğinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Ensarioğlu, C. ve Çakır, M.C., 2005, Titanyum ve alaşımlarının işlenebilirlik etüdü, *Mühendis ve Makine*, Cilt 46, Sayı 546, 36-46.
- Erdem, M. S. ve Aydın, K., 2006, Gaz türbinli uçak motorlarında titanyum alaşımlarının kullanımı, *Mühendis ve Makine*, Cilt 47, Sayı 558, 44-53.

- Gültekin, A.H., 1993, Titanyum mineral yatakları kayaçlarda titanyum: içeriği ve bölümlenmesi, *İTÜ Maden Fakültesi Jeoloji Mühendisliği*, Sayı 42, 21-37.
- Gürbüz, H., Kafkas, F. ve Şeker, U., 2009, Kesici takıma farklı yöntemle uygulanmış kaplamaların kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğüne etkisinin deneysel olarak araştırılması, *International Advanced Technologies Symposium*, Sayı 6, 27-32.
- Keskin, M. S., 2009, Titanyum (Grade 1) malzemenin lazer kaynağı yöntemiyle birleştirilmesinin incelenmesi, *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)*, Karabük.
- Muthukrishnan. N. and Davim. P., 2011, Influence of coolant in machinability of titanium alloy (Ti-6Al-4V), *Journal of Surface Engineered Materials and Advanced Technology*, 1, 9-14.
- Ramesh. S., Karunamoorthy. L. and Palanikumar. K., 2008a, Surface roughness analysis in machining of titanium alloy, *Materials and Manufacturing Processes*, 23, 174-181.
- Ramesh. S., Karunamoorthy. L. and Palanikumar. K., 2008b, Fuzzy modeling and analysis of machining parameters in machining titanium alloy, *Materials and Manufacturing Processes*, 23, 439-447.
- Subaşı, M. ve Karataş, Ç., 2012, Titanyum ve titanyum alaşımlarından yapılan implantlar üzerine inceleme, *Politeknik Dergisi*, Cilt 15, Sayı 2, 87-103.
- Uzun, İ. H. ve Bayındır, F., 2010, Dental uygulamalarda titanyum ve özellikleri, *Atatürk Üniversitesi Dış Hekimliği Fak. Der.*, Cilt 20, Sayı 2, 213-220.
- Ünal, E. ve Karaca, F., 2007, Ti-6Al-4V alaşımının dik işlem merkezli CNC tezgahında işlenebilirliğinin araştırılması, *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları*, Cilt 6, Sayı 1, 135-139.
- Yalçın, B. ve Varol, R., 2008, Ti-6Al-4V ve Ti-5Al-2.5Fe alaşımlarının toz metalürji yöntemiyle imalatı ve bazı mekanik özelliklerinin araştırılması, *Politeknik Dergisi*, Cilt 11, Sayı 3, 235-241.
- Zhang. Y., Zhou. Z., Wang. J. and Li. X., 2013, Diamond tool wear in precision turning of titanium alloy, *Materials and Manufacturing Processes*, 28, 1061-1064.
- Wong. F. R., Sharif. S., Kamdani. K. and Rahim. E. A., 2008, The effect of drill point geometry and drilling technique on tool life when drilling titanium alloy, Ti-6Al-4V, *Proceedings of International Conference on Mechanical & Manufacturing Engineering (ICME2008)*, 21-23 May, Johor Bahru, Malaysia.

[https://dosya.sakarya.edu.tr/Dokumanlar/2013/306/725661105\\_titanyum.ppt](https://dosya.sakarya.edu.tr/Dokumanlar/2013/306/725661105_titanyum.ppt), [Ziyaret Tarihi: 25 Aralık 2015].

[http://eng.sut.ac.th/metal/images/stories/pdf/05\\_Titanium%20and%20titanium%20alloy%20s.pdf](http://eng.sut.ac.th/metal/images/stories/pdf/05_Titanium%20and%20titanium%20alloy%20s.pdf) [Ziyaret Tarihi: 25 Aralık 2015].

<http://web.itu.edu.tr/~dikicioglu/titanyumkaynak.pdf>, “Titanyum ve Titanyum Alaşımlarının Kaynak Kabiliyeti” [Ziyaret Tarihi: 25 Aralık 2015].



## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Musa GÜNEY  
**Uyruğu** : T.C.  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : Diyarbakır / 15.09.1978  
**Telefon** : 05325983709  
**Faks** :  
**e-mail** : mguney@kgm.gov.tr

### EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Fatih Lisesi (Diyarbakır)	1998
Üniversite	: Dicle Üniversitesi	2003
Yüksek Lisans	: Batman Üniversitesi ve Fırat Üniversitesi Ortak Tezli Yüksek Lisans Programı	-
Doktora	: -	

### İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2006-2011	Karayolları 11. Bölge 114. Şube Şefliği	Makine İkmal Mühendisi
2011- 2014	Karayolları 9. Bölge 93. Şube Şefliği	Makine İkmal Mühendisi
2014-	Karayolları 9. Bölge 93. Şube Şefliği	Şube Şefi

### UZMANLIK ALANI

Konstrüksiyon ve İmalât

### YABANCI DİLLER

İngilizce