



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

**Ti-6AL-4V ALAŞIMININ DELİNMESİNDE  
KESME PARAMETRELERİNİN DELİK  
ÜZERİNE VE KESİCİ TAKIMA ETKİSİNİN  
ARAŞTIRILMASI**

**Hakan YILDIZ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Ocak-2015  
BATMAN  
Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

Hakan YILDIZ tarafından hazırlanan “Ti-6AL-4V Alaşımının Delinmesinde Kesme Parametrelerinin Delik Üzerine ve Kesici Takıma Etkisinin Araştırılması” adlı tez çalışması 15.01.2015 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

Yrd. Doç. Dr. Yahya Hışman ÇELİK

.....

#### Üye

Yrd. Doç. Dr. İhsan KIRIK

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Doç. Dr. 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

Hakan YILDIZ

Tarih: 15.01.2015

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

#### **Ti-6Al-4V ALAŞIMININ DELİNMESİNDE KESME PARAMETRELERİNİN DELİK ÜZERİNE VE KESİCİ TAKIMA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Hakan YILDIZ**

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

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

**2015, 72 Sayfa**

#### **Jüri**

**Doç. Dr. Erol KILIÇKAP  
Yrd. Doç. Dr. Yahya Hışman ÇELİK  
Yrd. Doç. Dr. İhsan KIRIK**

Talaşlı imalatın temel hedefi, üretilecek iş parçasının geometrik ve boyutsal tamlığıyla birlikte yüzey kalitesinin ve çapak yüksekliğinin istenen sınırlar içerisinde ekonomik olarak sağlanmasıdır. Günümüzde yaygın olarak kullanılan Ti-6Al-4V alaşımlarının üstün özelliklerinden dolayı delinmesi oldukça zordur. Bu nedenle yapılan bu çalışmada, tungsten karbür (WC) ve yüksek hız çeliği (HSS) matkaplarla, kesme hızı ve ilerlemenin farklı kombinasyonları için Ti-6Al-4V malzemenin kuru kesme şartlarında delinmesinde yüzey pürüzlülüğü, delik çapındaki sapma, çapak yüksekliği, sıcaklık, talaş oluşumu ve takım aşınması üzerine etkileri incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Aşınma, Delik Kalitesi, Delme, Titanyum, Yüzey Pürüzlülüğü.

**ABSTRACT**

**MS THESIS**

**INVESTIGATING OF EFFECT ON HOLE AND CUTTING TOOL OF  
CUTTING PARAMETERS IN DRILLING OF Ti-6Al-4V ALLOY**

**Hakan YILDIZ**

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

**Advisor: Yrd. Doç. Dr. Yahya Hışman ÇELİK**

**2015, 72 Pages**

**Jury**

Doç. Dr. Erol KILIÇKAP

Yrd. Doç. Dr. Yahya Hışman ÇELİK

Yrd. Doç. Dr. İhsan KIRIK

The basic target of machining is to provide the workpiece to be manufactured with surface quality and burr height within the limits economically together with geometrical and dimensional preciseness. Today, it is quite hard to drill widely utilized Ti-6AL-4V alloys due to their superior properties. Therefore, in this study, the effects on surface roughness, deviation in hole diameter, burr height, temperature, chip formation and tool wear were investigated in drilling Ti-6AL-4V under dry cutting conditions for various cutting speed and feed rate with tungsten carbide (WC) and high speed steel (HSS) drills.

**Keywords:** Wear, Hole Quality, Drilling, Titanium, Surface Roughness.

## ÖNSÖZ

Tüm Yüksek Lisans çalışmam boyunca bana yol gösteren, takıldığım konularda çözümlere ulaşmam için değerli bilgilerini esirgemeyen değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Yahya Hışman ÇELİK'e teşekkürü bir borç bilirim.

Tüm eğitim hayatım boyunca bana çok değerli bilgiler kazandıran tüm hocalarıma ve desteklerini esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

Hakan YILDIZ  
BATMAN-2015

# İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET</b> .....	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>v</b>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>vi</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>vii</b>
<b>ÇİZELGELERİN LİSTESİ</b> .....	<b>ix</b>
<b>ŞEKİLLERİN LİSTESİ</b> .....	<b>x</b>
<b>SİMGELER</b> .....	<b>xii</b>
<b>KISALTMALAR</b> .....	<b>xiii</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI</b> .....	<b>3</b>
2.1. Literatür Çalışmaları .....	3
2.2. Titanyum Alaşımları .....	7
2.2.1. Titanyumun tarihçesi .....	7
2.2.1.1. Dünyada titanyum endüstrisi .....	8
2.2.1.2. Türkiye’de titanyum endüstrisi .....	9
2.2.2. Titanyum ve titanyum alaşımları .....	10
2.2.3. Titanyum alaşımlarının sınıflandırılması .....	12
2.2.3.1. Saf titanyum .....	14
2.2.3.2. Alfa titanyum alaşımları .....	14
2.2.3.3. Alfa-Beta titanyum alaşımları .....	15
2.2.3.4. Beta titanyum alaşımları .....	15
2.2.4. Titanyum ve titanyum alaşımlarının kullanım alanları .....	16
2.2.4.1. Titanyum ve alaşımlarının biyomedikal uygulamaları .....	16
2.2.4.2. Titanyum ve alaşımlarının havacılık uygulamaları .....	17
2.2.4.3. Titanyum ve alaşımlarının otomotiv uygulamaları .....	19
2.3. Delik Delme .....	19
2.3.1. Delik delme işlemi .....	19
2.3.2. Talaş oluşumu ve kesme sıvısı .....	21
2.3.3. Delme işlemlerinde kesme kuvvetleri ve güç .....	23
2.3.4. Kesici uç aşınması .....	25
2.3.5. Dairesellik .....	26
2.3.6. Delik delme takımları (Matkaplar) .....	27
2.3.6.1. Matkapların sınıflandırılması .....	29
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM</b> .....	<b>31</b>
3.1. Yüzey Pürüzlülüğünün Ölçülmesi .....	34
3.2. Çapak Yüksekliğinin, Delik Çapındaki Sapmanın ve Takım Aşınmasının Belirlenmesi .....	35

<b>4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....</b>	<b>36</b>
4.1. Ti-6Al-4V Alaşımının Delinmesinde Oluşan Sıcaklık .....	41
4.2. Ti-6Al-4V Alaşımının Delinmesinde Oluşan Talaş Tipleri .....	44
4.3. Ti-6Al-4V Alaşımının Delinmesinde Oluşan Kuvvetler .....	46
4.4. Ti-6Al-4V Alaşımının Delinmesinde Oluşan Yüzey Pürüzlülüğü .....	47
4.5. Ti-6Al-4V Alaşımının Delinmesinde Oluşan Çapak Yüksekliği .....	49
4.6. Ti-6Al-4V Alaşımının Delinmesinde Oluşan Çap Sapmaları .....	50
4.7. Ti-6Al-4V Alaşımının Delinmesinde Oluşan Takım Aşınması .....	52
<b>5. SONUÇLAR.....</b>	<b>54</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>55</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>59</b>



## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Toplam titan-dioksit üretiminin kapasitesinin başlıca üretici firmalara göre dağılımı .....	9
Çizelge 2.2. MTA genel müdürlüğü tarafından bulunan titanyum rezervleri .....	10
Çizelge 2.3. Titanyum alaşımlarının bazı özelliklerine bağlı olarak değişen uygulama alanları .....	17
Çizelge 2.4. Helis adımlarına göre matkap çeşitleri ve kullanıldığı yerler .....	30
Çizelge 3.1. Ti-6Al-4V alaşımının mekanik ve kimyasal özellikleri .....	31
Çizelge 3.2. Kesme parametreleri ve değerleri.....	33
Çizelge 3.3. Program ve delikler için programa girilen parametreler .....	33
Çizelge 4.1. Ti-6Al-4V'nin delinmesi sonucu ölçülen ortalama kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülük değerleri, çapak yükseklikleri ve takım uç aşınma değerleri .....	40
Çizelge 4.2. Delik giriş ve çıkışındaki çap sapma değerleri.....	40

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Titanyumun önemli metallere yoğunluk bakımından karşılaştırılması.....	11
Şekil 2.2. Seçilen yapısal malzemelerle titanyum alaşımlarının sıcaklıkla özgül dayanımlarının karşılaştırılması.....	12
Şekil 2.3. HSP $\alpha$ ve HMK $\beta$ fazlarının kristal yapısı.....	13
Şekil 2.4. Titanyum alaşımlarının sınıflandırılmasında üç boyutlu faz diyagramı .....	13
Şekil 2.5. Delme işleminde işlem sayısına bağlı talaş kaldırma oranı .....	20
Şekil 2.6. Delme işleminin talaş kaldırma süresine oranı.....	20
Şekil 2.7. Talaş oluşumuna etki eden faktörler .....	22
Şekil 2.8. Matkapla delmede kesme kuvvetleri .....	24
Şekil 2.9. Serbest yüzeyde oluşan aşınmanın gösterimi .....	26
Şekil 2.10. Dairesellik, a) Dairesellikten sapma, b) Delik merkezinin belirlenmesi.....	27
Şekil 2.11. Bir matkabın kısımları.....	28
Şekil 2.12. Matkap ucunun $118^\circ$ taşlanarak bilenmesi.....	28
Şekil 2.13. Matkabın bilenmesinde kesici kenarın arka tarafına verilen boşluk açısı....	28
Şekil 2.14. Matkabın helisel olukları arasında kalan öz .....	29
Şekil 3.1. a) HSS kesici takım, b) WC kesici takım.....	31
Şekil 3.2. CNC dik işleme merkezi ve dinamometre bağlantısı .....	32
Şekil 3.3. Delinen Ti-6Al-4V levhası.....	32
Şekil 3.4. Delinen Ti-6Al-4V levhası üzerindeki deliklerin sıralanışı .....	34
Şekil 4.1. WC matkap için kuvvet ölçümü grafiği .....	36
Şekil 4.2. HSS matkap için kuvvet ölçümü grafiği .....	36
Şekil 4.3. Matkabın zırh bölümünde oluşan aşınma.....	37
Şekil 4.4. Matkabın kesici kenarlarında oluşan aşınma.....	38

<b>Şekil 4.5.</b> Matkabın uç kısmında oluşan aşınma .....	39
<b>Şekil 4.6.</b> Delik girişinde ısı oluşumu.....	41
<b>Şekil 4.7.</b> Isı bölgesindeki sıcaklık dağılımı.....	42
<b>Şekil 4.8.</b> Delik dışında ısı bölgesine doğru oluşan sıcaklık .....	42
<b>Şekil 4.9.</b> Kesme hızı ve delme süresinin artmasıyla ısı oluşumu.....	43
<b>Şekil 4.10.</b> Kesme hızı ve delme süresinin artmasıyla ısı bölgesindeki sıcaklık dağılımı .....	43
<b>Şekil 4.11.</b> Kesme hızı ve delme süresinin artmasıyla delik dışında ısı bölgesine doğru oluşan sıcaklık.....	44
<b>Şekil 4.12.</b> Deney parametrelerinden elde edilen talaş örnekleri .....	45
<b>Şekil 4.13.</b> İlerlemenin kesme kuvveti üzerindeki etkisi.....	46
<b>Şekil 4.14.</b> Kesme hızının kesme kuvveti üzerindeki etkisi .....	47
<b>Şekil 4.15.</b> İlerlemenin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi .....	48
<b>Şekil 4.16.</b> Kesme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi .....	48
<b>Şekil 4.17.</b> İlerlemenin çapak yüksekliği üzerindeki etkisi .....	49
<b>Şekil 4.18.</b> Kesme hızının çapak yüksekliği üzerindeki etkisi .....	50
<b>Şekil 4.19.</b> İlerlemenin delik çapı üzerindeki etkisi .....	51
<b>Şekil 4.20.</b> Kesme hızının delik çapı üzerindeki etkisi.....	51
<b>Şekil 4.21.</b> İlerlemenin takım uç aşınması üzerindeki etkisi .....	52
<b>Şekil 4.22.</b> Kesme hızının takım uç aşınması üzerindeki etkisi .....	53

## SİMGELER

<b>A<sub>sz</sub></b>	Bir ağza karşılık gelen talaş kesiti
<b>d</b>	Delik çapı (mm)
<b>F</b>	Kuvvet (N)
<b>F<sub>a</sub></b>	Eksenel kuvvet (N)
<b>F<sub>sz</sub></b>	Diş başına kesme kuvveti (N)
<b>F<sub>vz</sub></b>	Diş başına ilerleme kuvveti (N)
<b>F<sub>rz</sub></b>	Diş başına radyal kuvveti (N)
<b>F<sub>v</sub></b>	Toplam ilerleme kuvveti (N)
<b>F<sub>s</sub></b>	Toplam kesme kuvveti (N)
<b>k<sub>s</sub></b>	Özgül kesme kuvveti (N)
<b>M</b>	Moment (Nm)
<b>M<sub>s</sub></b>	Toplam kesme momenti (Nm)
<b>M<sub>sz</sub></b>	Bir ağızdaki kesme momenti (Nm)
<b>n</b>	Kesme devirleri(d/d)
<b>R<sub>a</sub></b>	Ortalama yüzey pürüzlülüğü (µm)
<b>r</b>	Matkap uç yarı çapı (mm)
<b>s</b>	İlerleme (mm/dev)
<b>s<sub>z</sub></b>	Diş başına ilerleme
<b>t</b>	Deformasyona uğramış talaş kalınlığı (mm)
<b>t<sub>1</sub></b>	Teorik talaş kalınlığı (mm)
<b>u</b>	Dakikadaki ilerleme miktarı (mm/dak)
<b>V</b>	Kesme hızı (m/dak)
<b>VB</b>	Aşınma şeriti

## **KISALTMALAR**

<b>CLSM</b>	Odaklı lazer tarama mikroskobu
<b>CNC</b>	Computer Numerical Control (Bilgisayarlı Sayısal Denetim)
<b>CT</b>	Cutting Tool (Kesici Takım)
<b>DIN</b>	Deutsche Industrie Norm (Alman Standartları)
<b>HSS</b>	High Speed Steel (Yüksek Hız Çeliği)
<b>IEC</b>	International Electrotechnica
<b>PCD</b>	Polikristal elmas
<b>CFRP</b>	Karbon fiber takviyeli plastik
<b>LSC</b>	En küçük merkez dairesi
<b>MIC</b>	İçeri çizilebilecek en büyük çember
<b>MLC</b>	Dışarı çizilebilecek en büyük çember
<b>MRS</b>	Minimum radyal sapma
<b>MT</b>	Machine Tool (Takım Tezgâhı)
<b>NC</b>	Numerical Control (Sayısal denetim)
<b>SEM</b>	Elektron mikroskop
<b>TIR</b>	Toplam ibre okuma
<b>WC</b>	Tungsten karbür
<b>WP</b>	İş Parçası

## 1. GİRİŞ

Titanyum alaşımları iyi korozyon direnci, düşük ağırlık ve mukavemetin iyi olması gibi özelliklerden dolayı değişik alanlarda yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır (Nouari ve Makich, 2013; Park ve ark., 2011). Bu özellikler titanyum ve alaşımlarını iki ana grupta sınıflandırmamızı sağlar. Bunlardan biri korozyon dirençli alaşımlar sınıfı diğeri ise yapısal alaşımlar sınıfıdır (Komanduri ve Reed, 1983). Korozyon dirençli alaşımlar; genellikle alfa aşaması üzerine planlanmışlardır. Oksijen, palâdyum veya alüminyum elementlerine sahiptirler ve kimya, enerji, yiyecek endüstrilerinde kullanılmaktadırlar. Özellikle paslanmaya maruz kalan boru, vana ve konteynırlarda tercih edilmektedirler. Alfa alaşımları, mükemmel korozyon dirençlerinin yanı sıra kolaylıkla kaynak edilebilme ve işlenebilme özelliklerine sahiptirler. Ancak dirençleri düşüktürler (Myers ve ark., 1984). Yapısal alaşımlar ise yakın alfa alaşımı, alfa-beta alaşımı ve beta alaşımı olmak üzere 3 kategoriye ayrılırlar. Yakın alfa alaşımları yüksek sıcaklıkta yorulma dirençleri iyi olduğundan dolayı tercih edilirler. Bu nedenle türbin motorlarında kullanılmaktadırlar. Alfa-beta alaşımları genel yapısal alaşımlardır. Uçak motorlarında ve yapılarda kullanılırlar. Ti-6Al-4V alaşımı bu guruptadır ve en yaygın kullanılanıdır. Beta alaşımları ise yüksek mukavemet değerlerine sahiptirler. Bu yüzden yüksek mukavemetli yerlerde tercih edilirler. Ti-10V-2Fe-3Al bu gurubun içindeki alaşımdır (Froes ve Bomberger, 1984).

Titanyum ve alaşımları tek başlarına kullanılabilirdikleri gibi değişik malzemelerle beraber de kullanılabilirler. Bu yüzden yerini aldığı materyalden daha iyi özelliklere sahiptirler. Titanyum alaşımları montaj aşamasında özellikle delme işlemlerine maruz kalırlar. İş parçalarının benzer olmayan mekanik ve termal özellikleri delme esnasında takım ömrünü azalttığından dolayı zor delinir ve üretim zamanını arttırır (Park ve ark., 2011). Ayrıca, düşük termal iletkenlik özelliklerine sahip olduklarından dolayı işlenmesi esnasında sıcaklık artışına neden olurlar. Bu durum takım ömrünü azaltan bir etkidir. Titanyumda kullanılan kesici takımların aşınması yüksek kesme hızında, yüksek sıcaklıkta, difüzyon ve oksidasyonla olur. Bu yüzden titanyum gibi yüksek dayanıma sahip malzemelerin kesilmesi sementit karbür takımlar kullanılarak yapılmaktadırlar (Minton ve ark., 2013). Takım ömrünü arttırmak ve yüzey pürüzlülüğünü iyileştirmek için kesme sıvıları da kullanılmaktadır. Kesme sıvılarının rolü kesici uçtan ısının uzaklaştırılmasını sağlamak, yağlama görevini yapmak ve kesme bölgesinde metal talaşın uzaklaşmasını sağlamaktır (Minton ve ark., 2013). Kesme

sıcaklığını azaltmak ve talaşın uzaklaşmasını kolaylaştırmak için kendinden tahrikli döner takımlar da geliştirilmiştir (Wang ve ark., 2014). Ancak takım ömrünü uzatmak için kesme hızı, ilerleme, takım geometrisi, kesme derinliği gibi optimum kesme parametrelerinin de göz önünde bulundurulması gerekmektedir (Li ve Shih, 2007).

Delme işlemi, uzay sanayisinden otomotiv sanayisine kadar birçok alanda kullanılan temel imalat yöntemlerinden biridir. Bu yüzden, makine parçalarının istenilen toleransta delinmesi gerekmektedir. Kesici takımın ömrü, ürünün kalitesini belirleyen en önemli faktördür. Kesici takımın ömrünü arttırmak; takım-iş parçası malzemesi, kesme sıcaklığı, temas alanı ve gerilmeleri, takım geometrisi, kesme şartları ve kesme sıvısı gibi aşınmayı etkileyen parametrelerin kontrolü ile mümkündür. Aşınmış bir matkap ucu, deliğin kalitesini etkilediği gibi verimlilik ve üretim maliyetinin artmasını da beraberinde getirir. Endüstride aşınmayı azaltmak, takım ömrü ve verimliliği iyileştirmek için uygun kesme şartlarının belirlenmesinin yanı sıra uygun takım ve kesme sıvısının da kullanılması gerekmektedir (Buytoz, 2010; Çaydaş ve ark., 2011).

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

### 2.1. Literatür Çalışmaları

Titanyum ve alaşımlarının delinmesi üzerine yapılmış bilimsel çalışmalar aşağıda ayrıntılı olarak verilmiştir.

Park ve arkadaşları (2011), Titanyum üzerine karbon fiber takviyeli plastiği istifleyerek delme esnasında tungsten karbür (WC) ve polikristal elmas (PCD) takımların aşınma mekanizmasını incelemeyi amaçlamışlardır. Bu yüzden, kalınlığı 7.54 mm olan karbon fiber takviyeli plastik (CFRP) ile kalınlığı 6.73 mm olan Ti-6Al-4V titanyum alaşım malzemelerini aynı boyutlarda keserek CFRP malzemeyi üste titanyum malzemeyi alta gelecek şekilde paslanmaz çelik cıvata kullanarak birleştirmişlerdir. Delme deneyleri esnasında, CFRP/Ti-6Al-4V malzemesinin altına dinamometre yerleştirilerek tork ve itme kuvvetlerini ölçmeyi amaçlamışlardır. Deneylerde, çapı 9.525 mm, uç açısı 135°, helis açısı 28° ve diğer boyutları birbirine benzer ve çok yakın olan WC ve PCD matkaplar kullanmışlardır. WC matkaplarla CFRP malzemeyi 6000 ve 2000 dev/dak dönme devirlerinde, Ti-6Al-4V alaşımını 800 dev/dak dönme devrinde, PCD matkaplarla CFRP malzemeyi 2000 dev/dak dönme devrinde, Ti-6Al-4V alaşımını 300 dev/dak ve 400 dev/dak dönme devirlerinde, CFRP malzemeyi 0.0762 mm/dev ilerlemede, Ti-6Al-4V alaşımını 0.0508 mm/dev ilerlemede, akış oranı 16 mL/dak olan ve suda çözünen kesme sıvıları kullanarak delmişlerdir. CFRP/Ti-6Al-4V malzemeleri üzerinde 20 delik deldikten sonra elektron mikroskop (SEM) ve odaklı lazer tarama mikroskobu (CLSM) kullanarak takımların aşınma değerlerini analiz etmişlerdir. Sonuç olarak, delik sayısı arttıkça hem WC hem de PCD matkapların delme kuvvetlerinin takım aşınmasından dolayı aşamalı olarak arttığına değinmişlerdir. Yüksek dönme devrinde WC matkaplarla elde edilen delme kuvvetlerinin düşük dönme devrinden elde edilenden çok daha hızlı arttığını gözlemlemişlerdir. PCD matkaplar için delme kuvvetlerinin delik sayısı ile önemli ölçüde artmadığını bildirmişlerdir. Ayrıca, WC matkaplara PCD matkaplardan daha çok titanyum yapışması olduğu gözlemlemişlerdir. Özellikle titanyum alaşımının delinmesinde yüksek dönme devrinin sonucu ortaya çıkan yüksek sıcaklığın neticesinde yanal aşınmanın ve takıma gelen kuvvetlerin daha aşırı olduğunu, düşük dönme devirlerinde yanal ve uç aşınmanın benzer sonuçlar gösterdiğini belirtmişlerdir.



Li ve Shih (2007), Titanyum alaşımını Mori Seiki TV 30 CNC dik işleme merkezinde 9.92 mm çapında spiral uçlu WC matkapla delmişlerdir. Delme esnasında kuvvet ve moment değerlerini belirlemek için delinecek alaşımın altına Kistler 9272 dinamometre yerleştirmişlerdir. Ayrıca, sıcaklık ölçümlerini yapabilmek için delinecek malzemeye termokupl takmışlardır. Deneyleri, kesme hızları 24.4, 48.8 ve 73.2 m/dak, ilerlemesi 0.025 mm/diş olacak şekilde gerçekleştirmişlerdir. Deneysel çalışmanın yanı sıra sıcaklık oluşumunu sonlu elemanlar metodunu kullanarak analiz etmişlerdir. Hem deneysel çalışmadan hem de sonlu elemanlar metodundan elde edilen verilerin bir birine yakın olduğuna değinmişlerdir. Delme derinliği arttıkça ilerleme kuvvetinin, moment değerinin ve delme bölgesindeki sıcaklığın arttığını gözlemlemişlerdir. Özellikle, kesme hızının 24.4 m/dak olduğu durumda 12.7 mm delme derinliğinde elde edilen sıcaklığın 480 °C olduğunu ve kesme hızının 73.2 m/dak'ya çıkmasıyla aynı derinlikte elde edilen sıcaklığın 1060 °C'ye ulaştığını belirtmişlerdir.

SenthilKumar ve arkadaşları (2013), karbon fiber takviyeli plastik (CFRP) ile titanyum hibrid malzemeyi delerek optimum delme parametrelerini belirlemek ve takım aşınmasını ölçmek için değişik delme parametrelerinde deneyler yapmışlardır. Delme deneylerinde 118° ve 130° uç açısına sahip matkaplar kullanmışlardır. Deneylerde her matkap için 100 delik delmeyi amaçlamışlardır, ancak her 10 delikte bir takımın aşınma miktarlarını ölçmüşlerdir. Delik sayısı arttıkça aşınma miktarının arttığını değinmişlerdir. Ayrıca, 130° uç açısına sahip matkaplarda 118° uç açısına sahip matkaplara göre talaşın daha iyi tahliye edildiğini ve bu doğrultuda daha az aşınmanın olduğunu gözlemlemişlerdir.

Feldshtein (2011), yaptığı çalışmada ostenitik X5CrNi18-10 eliğini ve Ti-6Al-4V alaşımının delinmesinde apak oluşumu problemlerini incelemeyi amaçlamıştır. Bu yüzden delme deneylerinde, yüksek hız çeliklerinden (HSS) yapılmış kaplamasız ve TiAlN kaplamalı matkaplar kullanmıştır. 10 mm kalınlığındaki paslanmaz çeliğin delme deneylerini, kesme hızı 9-20 m/dak, ilerleme 0.05-0.13 mm/dev olacak şekilde 6 mm çapında kaplamasız ve TiAlN kaplamalı HSS takımlar kullanarak konsantresi %10 olan CastrolSyntilo RHS EX kesme sıvısı kullanarak yapmıştır. 13 mm kalınlığındaki titanyum alaşımının delme deneylerini ise kesme hızı 3-10 m/dak, ilerleme 0.04-0.08 mm/dev olacak şekilde 5 mm çapında kaplamasız ve TiAlN kaplamalı HSS takımlar kullanarak konsantresi %5 olan EMULGOL ES-12 kesme sıvısı kullanarak yapmıştır. Paslanmaz eliğin kaplamalı ve kaplamasız takımlarla işlenmesinde; kesme hızı ve ilerlemenin düşmesi apak yüksekliğini arttırdığını, kesme hızı ve ilerlemenin

artmasıyla çapak yüksekliğinin maksimum olduğunu, kesme hızının düşmesi ve ilerlemenin artması çapak yüksekliğini minimum seviyeye düşürdüğünü ve çapağın matkap uç profili şeklinde patladığını görmüştür. Ancak, kaplamasız takımlarda kesme hızının artması ve ilerlemenin azalması çapak yüksekliğinin artmasına ve çapağın matkap uç profili şeklinde patlamasına neden olduğunu gözlemlerken kaplamalı takımlarda kesme hızının artması ve ilerlemenin azalması çapak yüksekliğinin azalmasına ve çapağın matkap uç profili şeklinde patlamasına neden olduğunu belirtmiştir. Titanyum alaşımının kaplamalı ve kaplamasız takımlarla işlenmesinde; kesme hızı ve ilerlemenin düşmesi çapak yüksekliğini arttırdığını, kesme hızı ve ilerlemenin artmasıyla çapak yüksekliğinin azaldığını, kesme hızının düşmesi ve ilerlemenin artması çapak yüksekliğini minimum seviyeye düşürdüğünü, kesme hızının artması ve ilerlemenin azalması çapak yüksekliğinin azalmasına ve çapağın matkap uç profili şeklinde patlamasına neden olduğunu gözlemlemiştir. Sonuç olarak, kaplamasız takımlarla çeliğin işlenmesinde çapağın büyük bir çoğunluğunun düzensiz ve uzun olduğunu, kaplamalı takımlarla işlenmesinde ise çapak almanın kolay olduğunu, küçük yüksekliklerde çapak oluştuğunu ifade etmiştir.

Cantero ve arkadaşları (2005), Ti-6Al-4V alaşımının kuru delinmesinde iş parçasının yüzey bütünlüğü, işlenen deliğin kalitesi ve takım aşınmasının oluşumu üzerine odaklanmışlardır. Bu yüzden delme deneylerini, 8 mm kalınlığında Ti-6Al-4V alaşımını kullanarak 1.5  $\mu\text{m}$  ile 3  $\mu\text{m}$  arasında TiN kaplı 6 mm çapında K40 matkaplarla yapmışlardır. Deneylerde delikler arası mesafeyi 15 mm, kesme hızını 50 m/dak ve ilerlemeyi 0.07 mm/dev olarak belirlemişlerdir. Yüzey pürüzlülüğü ölçümü için Mitutoyo Surfes SJ-201, çapak yüksekliğinin belirlenmesinde 0.01 mm hassasiyetli Mitutoyo kumpas, takım aşınmasının belirlenmesinde OLYMPUS S240 optik mikroskop ve Vicker sertlik değerini ise HVS-100 ultra-mikro sertlik cihazı ile test etmişlerdir. Kesme zamanı arttıkça çapak yüksekliği ve yüzey pürüzlülüğünün arttığını, yüzey pürüzlülüğü ve çapak oluşumunda takım aşınmasının etkili olduğunu ve kuru işleme esnasında mekanik özelliklerin değişmesi ile mikro sertlik ve mikro yapının değiştiğini belirtmişlerdir.

Wong ve arkadaşları (2008), Ti-6Al-4V titanyum alaşımının delinmesinde takım aşınması ve takım ömrü üzerine delme metotları ve matkap uç açısı geometrisinin etkisini belirlemek için deneysel çalışma yapmışlardır. Deneylerde 153X75X10 mm boyutlarında dikdörtgensel yapıya sahip Ti-6Al-4V alaşımını Mazak VARIAXIS 500-5X CNC tezgahında 50, 60 ve 70 m/dak kesme hızlarında, 0.1 mm/dev ilerleme

oranında doğrudan ve gagalamalı delme metotlarını kullanarak 6 mm çapında 130° uç açısı ve 25° helis açısına sahip ve 146° uç açısı ve 32° helis açısına sahip değişik geometrik özelliklerdeki kaplamasız karpit takımlarla (WC/Co) delmişlerdir. Deneysel sonuçlarda hem matkap geometrisinin hem de delme tekniklerinin takım aşınması ve takım ömrünü etkilediğini görmüşlerdir. Takım ömrü bakımından, tüm kesme hızlarında gagalamalı delme yönteminin doğrudan delme yönteminden daha iyi sonuçlar elde ettiğini, kesme hızı arttıkça takım ömrünün azaldığını ve kesme zamanının artması ile takımında yanal aşınmanın arttığını belirtmişlerdir.

Rahim ve Sasahara (2011), Ti-6Al-4V malzemeyi yüksek kesme hızlarında delerek değişik soğutma tiplerinin farklı kesme parametrelerinde meydana getirdiği takım aşınmasını, iş parçasında oluşan sıcaklığını ve kesme kuvvetlerini ölçmüşlerdir. İş parçasında oluşan en fazla sıcaklığın hava ile soğutmada daha sonra sırasıyla palm yağlarından MQLSE ve MQLPO'da en az ise su ile soğutmada olduğunu görmüşlerdir. Ayrıca, MQLSE palm yağının MQLPO palm yağından daha fazla kesme işlemi esnasında malzeme üzerinde itme kuvveti oluşturduğunu belirtmişlerdir.

Pujana ve arkadaşları (2009), Ti-6Al-4V malzemenin delinmesi esnasında malzemeye ultrasonik titreşimler uygulamışlardır. Kızılötesi termometre vasıtasıyla delik üzerinde sıcaklık değişimlerini, talaş oluşumunu ve kesme kuvvetleri incelemişlerdir. Titreşimin artmasıyla delme esnasında daha yüksek sıcaklığın oluştuğunu ve kesme için daha fazla kuvvetin gerektirdiğini görmüşlerdir.

Shyha ve arkadaşları (2011), Titanyum/CFRP/Alüminyum malzemeyi kaplamalı tungsten karbid malzeme ile farklı kesme parametrelerinde delerek delik geometrik kalitesini, yüzey pürüzlülüğünü, talaş oluşumunu ve çapak yüksekliğini ölçmüşlerdir. Çapak oluşumu delik çıkışında delik girişinden daha fazla oluştuğunu, deformasyonun CFRP malzemelerde meydana geldiğini tespit etmişlerdir. Ayrıca, alüminyum malzemenin delinmesinde oluşan talaş tipine benzer bir talaş tipi, titanyum malzemeyi düşük kesme parametrelerinde soğutma sıvısı kullanılarak elde etmişlerdir.

Isbilir ve Ghassemieh (2011), Ti-6Al-4V malzemenin delinmesinde 3D Lagrange sonlu elemanlar modelini kullanarak incelemelerde bulunmuşlardır. Malzemeye gelen gerilmeleri analiz ederek ilerleme kuvvetinin artmasıyla malzeme üzerinde itme kuvvetinin, gerilmelerin ve çapak yüksekliğinin arttığını belirtmişlerdir.

Biermann ve Hartmann (2012), çapak yüksekliğini minimize etmek için karbondioksiti soğutma sıvısı olarak kullanmışlardır. Bu doğrultuda, alüminyum ve

temperlenmiş çelik malzemeyi farklı kesme parametrelerinde delmişlerdir. Çapak yüksekliğini, yüzey pürüzlülüğünü ve çaptaki sapmayı analiz etmişlerdir.

Kıvak ve Şeker (2012), Ti-6Al-4V alaşımını kuru ve ıslak kesme şartları altında kaplamalı ve kaplamasız matkaplarla delinmesinde kesme parametrelerinin kesme kuvvetleri üzerindeki etkileri araştırmışlardır. Yaptıkları deneyler sonucunda kaplama malzemesi kesme kuvvetleri üzerinde %14'lere varan düşüşler sağlamışlardır. Kesme kuvvetlerinin değişimi üzerinde ilerlemenin kesme hızından daha etkili olduğu görmüşlerdir.

Guu ve arkadaşları (2012), Titanyum ve alaşımlarının mikro delinmesinde oluşan gerilmeleri sonlu elemanlar yöntemini kullanarak analiz etmişlerdir.

## **2.2. Titanyum Alaşımları**

### **2.2.1. Titanyumun tarihçesi**

William Gregor tarafından 1791 yılında keşfedilmiş ve dört yıl sonra, Martin Klaproth, Yunan çocuk mitolojisindeki Titans'ların hikâyesine dayanarak bulunan bu elemente Titanyum adını vermiştir (Subaşı ve Karataş, 2012).

Yer kabuğunun %6'sı titanyumdan oluşmasına rağmen, saflaştırılmasının zorluğu ve yüksek teknoloji gerektirmesi nedeni ile 1940'lı yıllara kadar endüstriyel bir malzeme olarak kullanılmamıştır. 1940'lı yıllarda Wilhelm Kroll'un geliştirdiği Kroll adı verilen bu yöntemle teknik üretime geçilmiştir. Bu yöntemle elde edilen titanyum yapısı, sünger gibi gözenekleri olduğundan metale titanyum süngeri ya da sünger metal denilmiştir. Kroll metodunun ticari yönden uygulanabilirliği ortaya çıkınca 1947 yılında ABD silâhlı kuvvetleri titanyumla ilgilenmeye başlamıştır. Titanyum yüksek sıcaklıklarda ergiyen (1668°C) bir metal olması ve yüksek sıcaklıklarda dayanım/ağırlık oranının yüksek olması nedeniyle Ni ve Co içerikli alaşımlara alternatif olarak kullanılmaya başlanmıştır. Titanyum ve alaşımları 1950 yılından itibaren uzay ve havacılık sanayinde kullanılmaya başlanmıştır (Çakar, 2006).

Titanyumun ilk uygulamaya yönelik üretimi, ilk uçuşunu 1952'de yapan DC-7 tipi uçağın motorundaki yanma odası ve uçağın kanatlarındaki motor bağlantı yeri için yapılmıştır. İlerleyen zamanlarda geliştirilen titanyum alaşımları; kompresör disklerinde, askeri ya da ticari uçaklardaki jet motorlarının pervane kanatları ile bu uçakların iskeletinde kullanılmıştır. 1960'larda kimyasal madde pompaları ve vanaları

için ilk kez dökme titanyum kullanılmıştır. Yaklaşık on yıl sonra bazı uzay uygulamaları için dökme titanyum kaçınılmaz bir malzeme olmuştur. 1970'lerin sonunda dökme titanyum satışları titanyum endüstrisi ile paralel olarak büyümüştür. Bu süreçte titanyum döküm malzemeler, uzay uygulamalarının %60-70'ini, ticarî uygulamaların %30-35'ini oluşturmaktadır. 1979 yılında, üretilen titanyum miktarının %35'i ticari uçaklar için, %28'i korozyona yönelik uygulamalar için, %37'si de askeri uçak ve füzeler için kullanılmıştır. Titanyum uçak uygulamalarında hem uçağın iskeletinde hem de jet motorlarındaki parçalarda kullanılmıştır. Boeing 747, Douglas DC-10, A 300 Airbus ve Lockheed L-1011 gibi ticari yolcu uçaklarının jet motorlarındaki bazı parçalar için, yüksek özgül dayanıma sahip malzemelerin dışında başka bir malzemenin kullanılmasının uygun olmadığı saptanmıştır. Son yıllarda ise titanyum ve alaşımlarının, medikal ve dental alanlardaki kullanımında ciddi bir artış görülmektedir. Son otuz yılda metalin yeni işleme yöntemlerindeki gelişmesine paralel olarak biyomedikal aparatlardaki kullanımı artmaktadır (İçdem, 2007).

### **2.2.1.1. Dünyada titanyum endüstrisi**

Ağır mineraller sınıfına giren en önemli titanyum mineralleri rutil ve ilmenittir. Doğada rutil mineralinin az olmasına karşın ilmenit daha fazla ve yaygın bulunmaktadır. Rutil minerallerinin çoğu sahil kumlarından elde edilirken, ilmenit sahil kumlarından olduğu kadar diğer cevher yataklarından da elde edilmektedir. Önemli rutil yatakları Avustralya, Hindistan ve Meksika'da, ilmenit yatakları ise Avustralya, Norveç, ABD, Kanada ve Brezilya'da bulunmaktadır. Titan rezervlerinin önemli bir kısmını Avustralya'nın doğu ve batı kıyılarındaki sahiller oluşturmaktadır. Avustralya'yı ABD, Mozambik ve Yeni Zelanda izlemektedir (İçdem, 2007). Bugün titanyum tüketiminde A.B.D birinci sırada yer almaktadır. Özellikle A.B.D. gibi teknolojik bakımdan gelişmiş olan ülkeler hem dışarıdan ithal ettiği hem de kendi kaynaklarından kazandığı titanyum minerallerini, titanyumdioksit pigmenti ve titanyum metali üretimi gibi uç ürünlerin elde edilmesinde kullanmaktadır. Avrupa'da titanyum minerali üretiminin %95'i Norveç tarafından yapılmaktadır. Avrupa'da titanyuma olan talep ithalât yoluyla karşılanmaktadır.

Çizelge 2.1'de dünya toplam titanyum dioksit üretim kapasitesinin başlıca üretici firmalar itibariyle dağılımı gözükmemektedir. Kimya sanayinin tekelleri durumunda

olan Dupont, Bayer ve Rhone 22 Poulenc ile Tioxidedünya toplam titanyum dioksit kapasitesinin büyük bölümüne sahiptir (İçdem, 2007).

**Çizelge 2.1.** Toplam titan-dioksit üretiminin kapasitesinin başlıca üretici firmalara göre dağılımı (TC. DPT Müsteşarlığı, 1996)

Ülke	Üretici Firma	Yıllık Kapasite
Amerika	Dupont	530 Ton
Avrupa, Kanada, Avustralya, G.Afrika	Tioxide	416 Ton
ABD,Avrupa, Avustralya	SCM Chemicals	341 Ton
Avrupa,Kanada	NL Chemicals	280 Ton
Avrupa, ABD	Kemira	170 Ton
Avrupa, Brezilya	Bayer	150 Ton
Asya	Asthara	125 Ton
Avrupa	RhonePoulench	105 Ton
ABD	KerrMcgee	70 Ton
Avrupa	Sachtleben	68 Ton
Diğerleri		440 Ton

### 2.2.1.2. Türkiye’de titanyum endüstrisi

Türkiye’de İzmir, Manisa ve Uşak taraflarında plaselerde, Trakya’nın Karadeniz sahillerinde plaj kumlarında ve Hakkâri tarafında kuvarsitlerde titanyum minerallerine rastlanmıştır. Ancak tenör hemen hiçbir yerde %1’i aşmamaktadır. Gerek Doğu Anadolu’da gerekse Batı Anadolu’da yapılan çalışmalarda ekonomik olabilecek değerde bir rezerve henüz rastlanmamıştır. Bunların en önemlisi Manisa yöresinde bulunan; %1,11 TiO<sub>2</sub> içeren 1.272.000 ton dolayındaki rezervdir. MTA Genel Müdürlüğü Trakya kuzey sahillerinde yapılan ayrıntılı çalışmalar bu yörede de ekonomik düzeyde titanyum cevheri olmadığını göstermiştir. Doğu Anadolu’da Hakkâri yöresinde yapılan çalışmalar sonucu kuvarsitlerin içinde titanyum cevherlerine rastlanmıştır. Ekonomik açıdan pek umutlu görülmemekle birlikte, bu yörede yeterli ayrıntıları içeren bir çalışma yapılmamıştır. Batı Anadolu’da %0,5–1 TiO<sub>2</sub>’li toplam 100 milyon ton kadar bir potansiyel olduğu sanılmaktadır. MTA Genel Müdürlüğü tarafından bu bölgede yapılan çalışmaların sonuçları Çizelge 2.2’de görülmektedir. Bu sahalarda bulunan titanyum cevherlerin zenginleştirilmesinde önemli teknolojik zorluklar vardır. Cevher zenginleştirilmesi konusunda olabilecek teknolojik gelişmeler sonucu bu yatakların üretime geçirilebilme olasılığı vardır. Yakın bir gelecekte kurulması plânlanan uçak ve ağır sanayi tarafından da metalik titana gereksinim duyulacak ve ithalat miktarı yapılan projeksiyonlara göre daha da artacaktır. İlgili kuruluşlar tarafından cevher arama çalışmalarının hızlandırılması yanında, kısa

zamanda dünyada bir patent yarısı şeklinde sürdürülen titanyum mineralleri ve metalik titanyum üretimi teknolojisine uygun akım şemalarının geliştirilmesi ve tesis tasarımlarının oluşturulması da gerekmektedir. Ayrıca, rutilin diğer titanyum minerallerine göre gerek dünyada, gerekse ülkemizde rezervlerinin sınırlı olması, uluslararası alanda talebin sentetik rutil, ilmenit ve alaşımlara yönelebileceği dikkate alınarak, yeni kaynakların araştırılıp bulunması ve işletilmesi de önemli diğer bir noktadır (İçdem, 2007).

**Çizelge 2.2.** MTA genel müdürlüğü tarafından bulunan titanyum rezervleri (TC. DPT Müsteşarlığı, 1996)

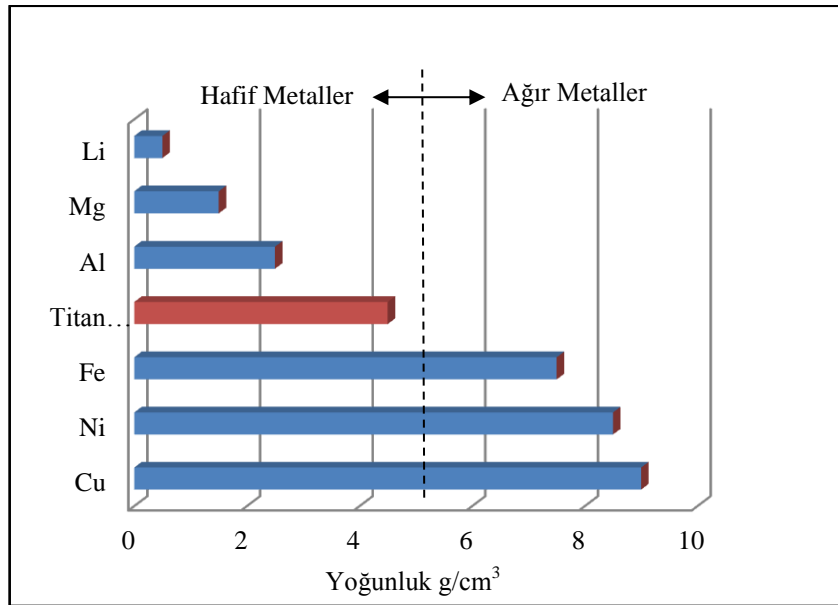
YÖRE	REZERV(ton)	%TiO <sub>2</sub>
İzmir-Ödemiş-Aktaş Deresi	3.200,000	1,2
İzmir-Ödemiş-Rahmanlar	7.200,000	1,1
İzmir-Ödemiş-Işıklar Deresi	600,000	1,8
Manisa-Gördes-Demirci	1.272,000	1,11
Köseler-Benlieli	45.000,000	0,5
Manisa-Gördes-Demirci-Demirci Çay	1.700,000	0,5
Manisa-Gördes-Gördes Çayı	6.800,000	0,5
Manisa-Salihli-Turgutlu	30.000,000	1
Uşak-Eşme	12.000,000	1-2

### 2.2.2. Titanyum ve titanyum alaşımları

Titanyum 882 °C'ye kadar hegzagonal sıkı paket bir yapı ( $\alpha$ -Ti) gösterirken, bu sıcaklığın üzerindeki sıcaklıklarda hacim merkezli kübik bir yapı ( $\beta$ -Ti) gösterir. Alaşım elementlerinin titanyum'a ilavesi bu malzemeye birçok özellik kazandırmaktadır. Günümüzde biyomalzeme olarak en yaygın kullanılan titanyum alaşımı Ti-6Al-4V'dir. Bu alaşım Ti-6Al-4V alaşımı ağırlıkça %5.5–6.5 alüminyum, %3.5-4.5 vanadyum ve geri kalan miktarda titanyumdan oluşur. Yapıda bulunan alüminyum  $\alpha$  fazını stabilize edip  $\alpha$  fazından  $\beta$  fazına geçiş sıcaklığını artırırken, vanadyum ise  $\beta$  fazını stabilize etmektedir. Paslanmaz çelikler ve Co-Cr alaşımları tekrarlı yükleme durumunda çukurcuk korozyonu sergilerler. Bir başka ifade ile korozyonlu yorulma hasarına karşı duyarlıdırlar. Oluşan korozyon ürünleri biyoyumluluk problemleri ortaya çıkarmaktadır. Titanyum alaşımlarının en büyük avantajı korozyon direncinin ve biyoyumluluğunun diğer metalik malzemelere göre yüksek olmasıdır. Titanyum'un elastisite modülü yaklaşık 110 MPa olup bu değer Co alaşımlarının yaklaşık yarısı kadardır. Bununla beraber, bu malzemeler düşük aşınma direnci ve zayıf tribolojik özellikler sergilemektedir. Titanyum yüksek sıcaklıklarda çok reaktif bir malzemedir ve

oksijenle hızlı bir şekilde reaksiyona girer. Bu yüzden titanyum implantların üretimi için ya inert bir atmosfer şartları ya da vakum ortamı gereklidir. Aksi halde, oksijen hızlı bir şekilde yapı içerisine difüze olur ve yapıyı gevrekleştirir. Sonuç olarak hiçbir şekilde 925 °C'nin üzerinde sıcak işlem yapılamaz. Titanyum ve alaşımları en fazla kalça ve diz protezlerinin yapımında, vida ve bağlantı elemanlarında ve diş hekimliğinde kullanılırlar (Yetim, 2009).

Şekil 2.1'de yoğunluk bakımından titanyumun çeşitli metallerle karşılaştırılması görülmektedir. 5 g/cm<sup>3</sup>'den daha yüksek yoğunluğa sahip olanlar ağır metaller, daha düşük yoğunluğa sahip olanlar ise hafif metaller olarak sınıflandırılmıştır. Şekilden 4,505 g/cm<sup>3</sup> yoğunluk değeriyle titanyumun en ağır hafif metal olduğu görülmektedir (Kıvak, 2012).

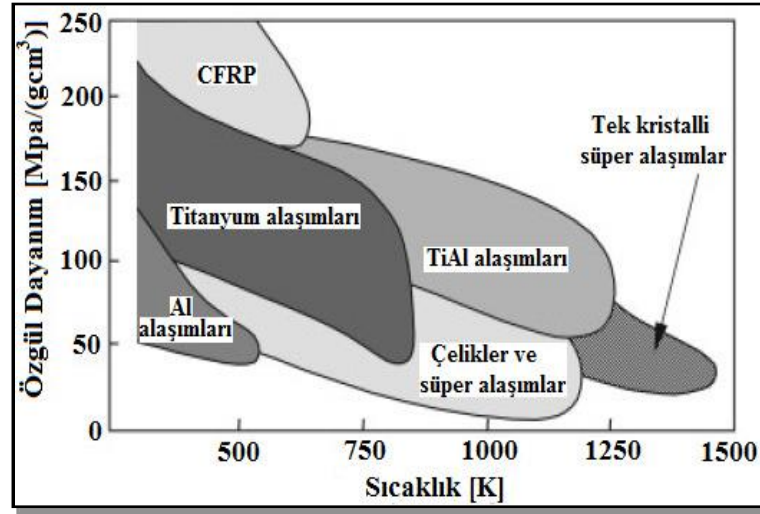


Şekil 2.1. Titanyumun önemli metallerle yoğunluk bakımından karşılaştırılması (Leyens ve Peters, 2003)

Titanyum, alüminyumdan %60 daha ağır olup alaşımlı çeliklerden ise %56 daha hafiftir. Alaşımlı çeliklerden daha hafif olmasına karşın dayanım özellikleri alüminyum ve çeliklerden daha yüksektir. Isıl iletkenliği 7,1 W/m°K'dır ve bu değer demirinkinin yaklaşık beşte birine eşittir. Ergime sıcaklığı ise demirin ergime sıcaklığından yaklaşık 130 °C yüksek olup 1670 °C'dir. Titanyum alaşımlarının öncelikli göze çarpan iki özelliği vardır. Bunlar yüksek özgül dayanım ve mükemmel korozyon direncidir. Şekil 2.2'de bazı yapısal malzemelerle titanyum alaşımlarının, sıcaklıkla özgül dayanımlarındaki değişimler karşılaştırılmıştır. Şekilden, titanyum alaşımlarının birçok alaşıma göre daha yüksek özgül dayanıma sahip olduğu görülmektedir. Özellikle



yüksek sıcaklıklarda titanyum alaşımlarının özgül dayanımları dikkat çekicidir (Kıvak, 2012).



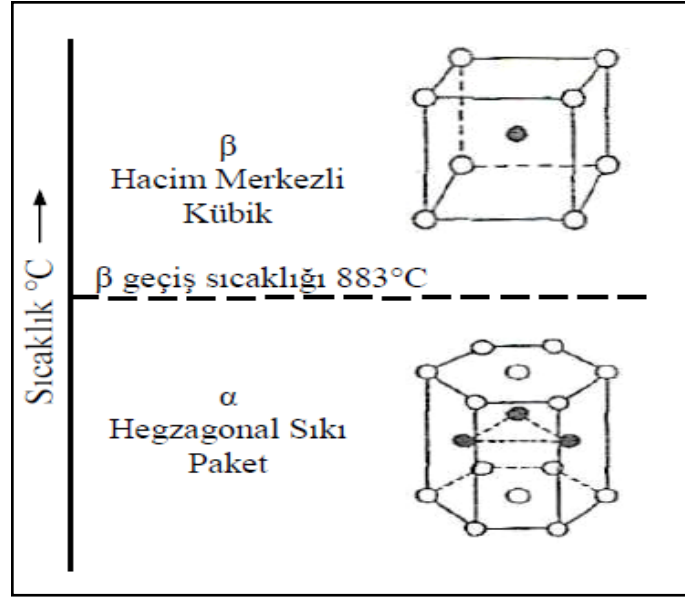
Şekil 2.2. Seçilen yapısal malzemelerle titanyum alaşımlarının sıcaklıkla özgül dayanımlarının karşılaştırılması (Leyens ve Peters, 2003)

Dünyadaki titanyum üretimi çelik üretimi ile karşılaştırıldığında çok düşüktür. Titanyum ve alaşımlarının maliyetleri yaygın olarak kullanılan metallere göre daha fazladır. Çünkü bunların cevherlerinde üretimleri çok zordur ve üretimlerinde çok gelişmiş ergitme ve uygulama teknikleri kullanılmalıdır. Titanyum alaşım fabrikasyonunun yüksek maliyeti, prensip olarak bu metalin yüksek reaktifliği ile oksijen, azot, hidrojen ve karbon için duyarlılığının bir sonucudur (Kıvak, 2012).

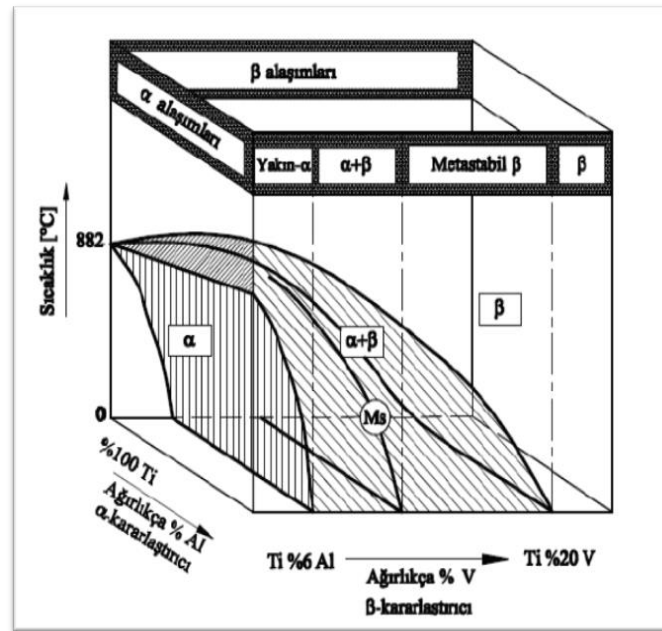
### 2.2.3. Titanyum alaşımlarının sınıflandırılması

Titanyum alaşımları, saf (%99-100 Ti), alfa alaşımlar (%90-95 Ti), alfa-beta alaşımlar (%80-90 Ti) ve beta alaşımlar (%80<Ti) olmak üzere dört ana grup altında sınıflandırılabilir. Saf titanyum 882 °C 'ye kadar alfa ( $\alpha$ ) olarak bilinen HSP (Hekzogonal Sıkı Paket) kristal kafes yapısına sahiptir. Bu sıcaklığın üstünde metal, allotropik dönüşüm sonucu beta ( $\beta$ ) olarak adlandırılan HMK (Hacim Merkezli Kübik) kristal yapısına dönüşür. Şekil 2.3'te HSP kristal kafes yapısına sahip  $\alpha$  ve HMK kristal yapısına sahip  $\beta$  alaşımlarının en yoğun paket düzlemleri ve yönleri belirtilmiştir. Bazen beta geçiş sıcaklığı olarak adlandırılan dönüşüm sıcaklığı, impüriteler varlığı ya da özelliklerini iyileştirmek için yapılan alaşımlamanın sonucu olarak etkilenir (Kıvak, 2012).

Şekil 2.4'te  $\alpha$  ve  $\beta$  kararlaştırıcı elementlerine ait iki faz diyagramının birleşiminden oluşan üç boyutlu faz diyagramı, şematik olarak gösterilmiştir. Faz diyagramına göre  $\alpha$  alaşımları, ticari saflıktaki titanyum ile yalnızca  $\alpha$  kararlaştırıcı ve/veya doğal elementlerle alaşımlanmış alaşımları içermektedir.  $\alpha+\beta$  alaşımları çok geniş kullanım alanına sahip alaşım grubu olup, bu alaşımlar oda sıcaklığında yaklaşık %5–40 arasında  $\beta$  içermektedir (Kıvak, 2012).



Şekil 2.3. HSP  $\alpha$  ve HMK  $\beta$  fazlarının kristal yapısı (Çakar, 2006)



Şekil 2.4. Titanyum alaşımlarının sınıflandırılmasında üç boyutlu faz diyagramı (Leyens ve Peters, 2003)

Bir düzeye kadar  $\beta$  kararlaştırışı elementlerinin miktarı artırıldığında, hızlı soğutma ile daha fazla  $\beta$  martensite dönüşmektedir. Bir  $\alpha$  alaşımı, yalnızca çok az miktarda  $\beta$  fazı içerebilir. Bir  $\alpha+\beta$  alaşımı,  $\alpha$  ve dönüşmüş  $\beta$  'dan meydana gelir. Metastabil bir  $\beta$  alaşımı ise oda sıcaklığına soğutulduğunda kalıntı  $\beta$  fazı oluşumuna yönlenecek, fakat ısı ile işlemle ince  $\alpha$  fazı çökelecektir (Kıvak, 2012).

### 2.2.3.1. Saf titanyum

Titanyum, alüminyum (Al) ile çelik arasında bir yoğunluğa (4,51 gr/cm<sup>3</sup>) sahiptir ve nispeten hafif bir metaldir. Titanyum demirden daha yüksek bir ergime noktasına (1668 °C) ve alüminyum ile demir arasında orta bir elastikiyet modülüne (16,8x160 inç<sup>2</sup>) sahiptir. Titanyum iki allotropik kristal yapıda bulunur. Bunlar, hegzagonal sıkı paket(HSP) yapıya sahip N ve hacim merkezli kübik(HMK) yapıya sahip O'dur. 883 °C'ye kadar kararlı N fazı, 883 °C'nin üzerinde HSP-N fazından HMK-O fazına dönüşür (Çakar, 2006). Saf titanyum mükemmel korozyon direncine sahip olması nedeniyle tercih edilmekte ve özellikle yüksek dayanım gerektirmeyen yerlerde kullanılmaktadır.

### 2.2.3.2. Alfa titanyum alaşımları

Alüminyum, kalay veya zirkonyum içeren  $\alpha$  alaşımları daha çok yüksek sıcaklık ya da çok soğuk ortamlarda tercih edilmektedir,  $\alpha$  fazı zengin olan alaşımlar,  $\beta$  alaşımlarına göre yüksek sıcaklıklarda sürünmeye karşı genellikle daha dayanıklıdır. Çok düşük miktarda ara yer atomu içeren  $\alpha$  alaşımları, sünekliğini ve tokluğunu çok düşük sıcaklıklarda dahi sürdürmektedir (Akagündüz, 2008).

$\alpha$  alaşımları,  $\alpha+\beta$  alaşımları ve  $\beta$  alaşımlarının aksine kararlı  $\alpha$  fazına sahip olduklarından ısı ile sertleştirilememektedir. Fakat soğuk işlem sonrası oluşan kalıntı gerilmeleri yok etmek için yeniden kristalleşme tavlama veya sadece tavlama işlemi yapılabilmektedir. Dövülebilme kabiliyeti çok düşüktür ve dövme sıcaklığı aralığı  $\alpha+\beta$  alaşımları veya  $\beta$  alaşımlarından daha dardır. Dövme sırasında oluşan yüzey ve/veya göbek çatlakları bunu açıkça göstermektedir. Böyle bir oluşumu önlemek için dövme işleminde deformasyon miktarının daha küçük seçilmesi ve malzemenin sık sık tavlama işlemi gerekmektedir. Tek fazlı yapıya sahip  $\alpha$  alaşımına Ti-5Al-2.5Sn alaşımı örnek olarak gösterilebilir (Akagündüz, 2008).

$\alpha$  alaşımları en çok kimya sanayi ve proses mhendisliğince kullanılır. Bu uygulamalarda gerekli olan çok yüksek korozyon dayanımı ve deformasyon kabiliyetine sahiptirler. CP-Titanyumun mukavemet gereksinimini karşılayamadığı yerlerde, en eski titanyum alaşımı olan ve uzun zaman önce kabul görmüş Ti-5Al-2.5Sn alaşımı tercih edilir. Düşük sıcaklıklı uygulamalar olan hidrojen depolama ve basıncılı araçlarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Akagündüz, 2008).

### **2.2.3.3. Alfa-Beta titanyum alaşımları**

Bu alaşımlar, bileşimlerinde  $\alpha$  ve  $\beta$  fazlarının kararlılığını artıran bir ya da daha fazla kararlaştırıcı alaşım elementleri içerirler.  $\alpha$  ve  $\beta$  fazını kararlaştırıcı elementlerin uygun bir şekilde ayarlanmasıyla oda sıcaklığında  $\alpha$  ve  $\beta$  fazlarının karışımı olan bir mikro yapı elde edilebilmektedir. Tavlama sonrasında da yüksek süneklik, homojenlik ve yüksek dayanım sağlanmaktadır. En yaygın kullanılan  $\alpha+\beta$  alaşımı Ti-6Al-4V'dir. Diğer yaygın kullanıma sahip  $\alpha+\beta$  alaşımları; yüksek mukavemet amaçlı geliştirilmiş Ti-6Al-6V-2Sn, yüksek mukavemet ve yüksek tokluğa sahip Ti-6Al-2Sn-4Zr-6Mo, gaz trbın motorlarında 400 °C'ye kadar olan sıcaklıklarda kullanılmak için geliştirilmiş Ti-6Al-2Sn-2Zr ve 2Mo-2Cr alaşımlarıdır.  $\alpha+\beta$  alaşımları 350–400 °C arasındaki sıcaklıklarda ve özellikle yüksek mukavemet gerektiren uygulamalarda kullanılabilir. Mukavemet artışı için, alaşım ilk olarak yarı kararlı doymuş hale getirilmek üzere zeltiye alma sıcaklığından hızla soğutulmakta ve daha sonra yaklaşık 500 °C'de yaşlandırılmaktadır. Bu sırada mikro yapıdaki aşırı doymuş  $\alpha$  ve  $\beta$  fazları znerek yapıya homojen bir şekilde dağılmakta ve sertlik artmaktadır (Akagündüz, 2008).

### **2.2.3.4. Beta titanyum alaşımları**

Vanadyum ve molibdenin büyük miktarda ilavesi oda sıcaklığında tamamen  $\beta$  yapısı üretmekle birlikte  $\beta$  olarak adlandırılan alaşımların hiçbiri gerçekten bu miktarlarda alaşımlanmaz. Bunun yerine, bu alaşımlar  $\beta$  dengeleyicilerle zenginleştirilir. Bu nedenle de hızlı soğutma işlemi, hepsi  $\beta$ 'dan oluşan dengesiz faz oluştururlar. Beta alaşımlarının dayanımını, katı eriyik mukavemetleşmesinden kaynaklanır. zndrme işlemine tabi tutulmuş  $\beta$  alaşımları yüksek süneklik, tokluk ve mkemmellle şekillendirilebilirliğe sahiptirler. Ayrıca, yüksek dayanım sağlamak için

yaşlandırılabilirler.  $\beta$  alaşımları,  $\alpha+\beta$  alaşımlarından daha az  $\alpha$ -kararlaştırıcıları ve daha çok  $\beta$ -kararlaştırıcıları içermektedir. Bu alaşımlar,  $\beta$  fazı içerisinde ince ince dağılmış  $\alpha$  parçacıklarının bir sonucu olarak  $\alpha+\beta$  alaşımlarından daha yüksek dayanıma sahiptir. Ayrıca bu alaşımlar  $\alpha+\beta$  alaşımlarından nispeten daha yüksek yoğunluğa sahip olup sürünme dayanımları daha düşüktür.  $\beta$  titanyum alaşımlarının sahip olduğu özelliklerin sağladığı avantajlar yüksek dayanım/ağırlık oranı, yüksek dayanım/yüksek tokluk olması, yüksek yorulma dayanımı, iyi derin sertleştirilebilirlik, düşük dövme sıcaklıkları, soğuk şekillendirilebilme, kolay ısıl işlem uygulayabilme dezavantajları ise yüksek yoğunluk, düşük sıcaklık özelliklerinin zayıf, yüksek formülasyon maliyeti, mikro yapısal kararsızlık, düşük korozyon direncidir (Kıvak, 2012).

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

Titanyum ve alaşımlarının; kimyasal, endüstriyel, denizcilik ve uzay ile ilgili uygulamaların geniş bir yelpazesinde üstün, oldukça güvenilir ve ekonomik olduğu teknik açıdan kanıtlanmıştır. Titanyum ve alaşımlarının kuvvetli ve rijit yapısı, düşük özgül ağırlığı ve hafif oluşu, yüksek sıcaklıklara dayanıklılığı ve korozyona karşı dirençli oluşu özel alanlarda yaygınlaşmasına neden olmuştur. Çizelge 2.3’de Titanyum alaşımlarının özelliklerine bağlı kullanım alanları verilmiştir.

##### **2.2.4.1. Titanyum ve alaşımlarının biyomedikal uygulamaları**

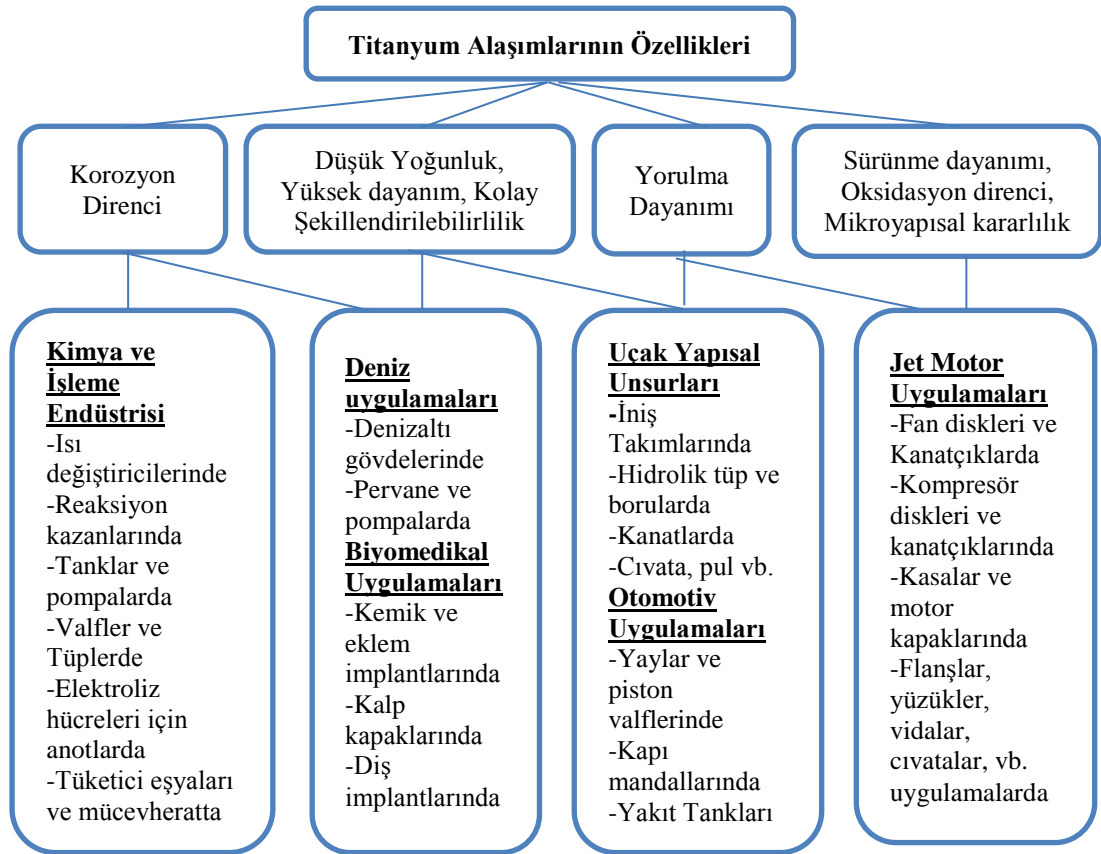
Biomalzemeler, insan vücudundaki organ ya da dokuların işlevlerini yerine getirmek veya desteklemek amacıyla kullanılan malzemeler olup, metaller, seramikler, polimerler ve kompozitler olmak üzere 4 gruba ayrılırlar. Biomalzemelerde en önemli özellik biouyumluluk olup, kendisini çevreleyen dokuların normal değişimlerine engel olmayan ve dokuda iltihaplanma, pıhtı vb. istenmeyen tepkiler oluşturmayan malzemelerdir. Metalik biomalzemelerden olan titanyum ve titanyum alaşımları, kemikle bağlanması iyi olan ve doku tarafından kabul edilirliliği yüksek olan biomalzemelerdir. Titanyum ve alaşımlarının biomedikal alanda kullanımlarını sağlayan faktörler:

- Mekanik dayanıklılığın uygun olması,
- Titanyum ve alaşımlarının havada okside olmasıyla meydana gelen oksit tabakasının, materyalin fizyolojik çevrede kararlı kalmasını sağlaması,

- Bu oksit tabakasının vücut içinde titanyumu korozyona karşı dirençli kılması,
- Titanyumun diğer benzeri olan pasif olmayan metallerle kaplanabilir olması ve vücutta galvanik akıma neden olmaması,
- Titanyum alaşımının elastiklik modülünün diğer tüm implant materyallerine nazaran kemiğe daha yakın olması,
- Biyolojik olarak uyumlu olmasıdır.

Sonuç olarak titanyum esaslı alaşımların biyolojik olarak uyumlu oldukları histolojik deneylerle kanıtlanmıştır (Akagündüz, 2008).

**Çizelge 2.3.** Titanyum alaşımlarının bazı özelliklerine bağlı olarak değişen uygulama alanları (Kıvık, 2012)



#### 2.2.4.2. Titanyum ve alaşımlarının havacılık uygulamaları

Titanyum kullanımı ilk olarak uçak ve uzay endüstrisiyle başlarken zamanla, söz konusu üstün özellikleri nedeniyle birçok alana yayılmaya başlamıştır. Titanyumun havacılık sanayinde yaygın kullanımının önemli sebepleri;

- Hafiflik

- Çalışma sıcaklığı,
- Korozyon direnci,
- Polimer matrisli kompozitlerle galvanik uyumluluk,
- Hacim kısıtlamasıdır.

Günümüzde otomobil sanayi ürettiği bir aracın ağırlığındaki bir kilogramlık hafifletme için 15\$ maliyeti tolere edebilirken, havacılıkta bu rakam atılan her bir kilogram fazladan ağırlık için 1500\$'a çıkmaktadır. Eğer üretim çok daha ileri teknoloji gerektiren uzay faaliyetleri ile ilgili ise bu rakam 15000\$ civarına yükselmektedir. Bu durum titanyumun diğer üstün özellikleri dışında sadece düşük yoğunluğu sayesinde kendisine havacılık sanayinde önemli bir pazar yakaladığını açıklayan güzel bir örnektir. Büyük ticari uçaklara bakıldığında, gövde yapısında ortalama %5-9 arasında titanyum kullanılmaktadır. Ancak çalışma sıcaklığının, çok dikkate alındığı motorlarda ise titanyum kullanımı %33-38 civarındadır. Uçak motorlarında hacimsel oranlara bakıldığında titanyum alaşımları en çok kullanılan malzemeler arasındadır. Havacılık sanayinde, mekanik özellikler kadar üretilen parçaların kullanım ömürleride önemlidir. Titanyum alaşımlarının kullanıldığı parçaların uzun kullanım ömürleri, o parçaların fiyat-kullanım ömrü kıyaslamasında öne geçirmektedir. Uçak gövdelerinde yapısal eleman olarak titanyum kullanılmasındaki maksat, yorulma çatlakları ilerleyişini durdurmaktır. Uçakların yüksek korozyon direnci ve kısmi mukavemet gerektiren yerleri ile yaşam alanına sahip iç kısımlarında özellikle ticari saflığa sahip titanyum kullanılır. Yüksek üretim maliyetlerine rağmen uçakların ana iniş takımları için dövme titanyum alaşımlarının kullanımı gittikçe yaygınlaşmaktadır. Yüksek mukavemet çeliklerinden imal edilen ana iniş takımlarının kullanım ömürleri dolmadan sıkça gerilmeli korozyon şüphesi ile değiştirilmeleri bu malzeme yerine, yeterli mukavemete sahip dövme titanyum alaşımları tercih edilmektedir. Bu tercih aynı zamanda büyük bir ticari yolcu uçağın 270-300 kg civarında bir ağırlık azaltılması da sağlamaktadır. Ticari uçaklarda kullanımı ile kıyaslandığında askeri uçaklardaki titanyum kullanımının daha fazla olduğu görülmektedir. Askeri uçaklardaki yapısal parçaların maruz kaldığı termal ve mekanik yükler daha yüksek sürat ve zorlayıcı manevralar nedeniyle artmaktadır. Askeri uçaklarda gövde imalatında kullanılan titanyum oranı %50'lere varmaktadır. Askeri uçaklarda kullanılan titanyum parçalar arasında en büyük olan ve kritik parça, kanatlardan maruz kaldığı tekrarlı ve yüksek yükleri taşıma görevindeki kanat kutusudur (Akagündüz, 2008).

### 2.2.4.3. Titanyum ve alaşımlarının otomotiv uygulamaları

Yakıt tasarrufu sağlayan ve çevreye daha az zarar veren araçlara olan talebin artması araçların ağırlığının hafiflemesi ve performansın arttırılmasını gerektirmiştir. Bu noktada yüksek korozyon direnci ve güce sahip titanyum alaşımları başlıca tercih maddesi olmuştur. Ancak, titanyumun maliyeti arttırması otomotiv endüstrisinde daha yaygın olarak kullanılmasının önündeki en büyük engeldir ve kullanımını yarış otomobilleri, motorları ve Formula 1 araçları gibi yüksek performans ve dayanıklılık gerektiren araçlarla sınırlamıştır. Süspansiyon yayları çelik yerine titanyumun kullanımının oldukça ekonomik olduğu bir otomotiv elemanıdır (Akagündüz, 2008).

## 2.3. Delik Delme

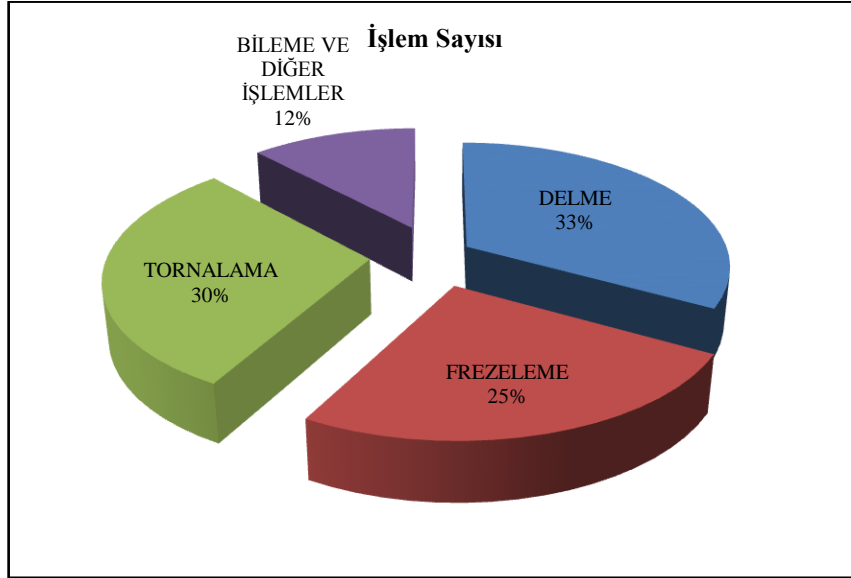
Delme işlemi en önemli talaş kaldırma işlemlerinden biridir ve talaş kaldırma işlemlerinin %33'ünü içermektedir (Çaydaş ve ark., 2011). Tornalama ve frezeleme işlemleri ile delme işlemleri karşılaştırıldığında, işlemlerin kinematik ve dinamik yapısının benzer olup talaş akısı ve kesme sıcaklığı dağılımının aynı şekilde olduğu görülür. Diğer taraftan delme işleminde olumsuz durumlar da oluşmaktadır. Talaş oluşumu kapalı alanda oluşur ve görülemez. Talaş akışını sınırlandıran sadece matkapta oluşan talaş kalınlığıdır. Takım ve iş parçası arasındaki sürtünme de önemlidir. Bu yüzden matkap ve işlem spesifik olarak tezgâha ve iş parçasına adapte edilmeli, delik kalitesi sağlanmalı ve gerekli yöntem doğruluğu oluşturulmalıdır. Bu nedenlerden dolayı birçok takım geometrisi ve takım malzemesi geliştirilmiştir. Bütün talaş kaldırma metotları kesici ağızla tanımlanır (Kıvak, 2012). Şekil 2.5'de farklı takım tezgahlarıyla yapılan talaş kaldırma oranları verilmiştir. Kesici takımlarla yapılan talaş kaldırma işlemlerinde harcanan zamanın %25'i delme işlemi olarak tezgâhta geçirilmektedir (Şekil 2.5).

### 2.3.1. Delik delme işlemi

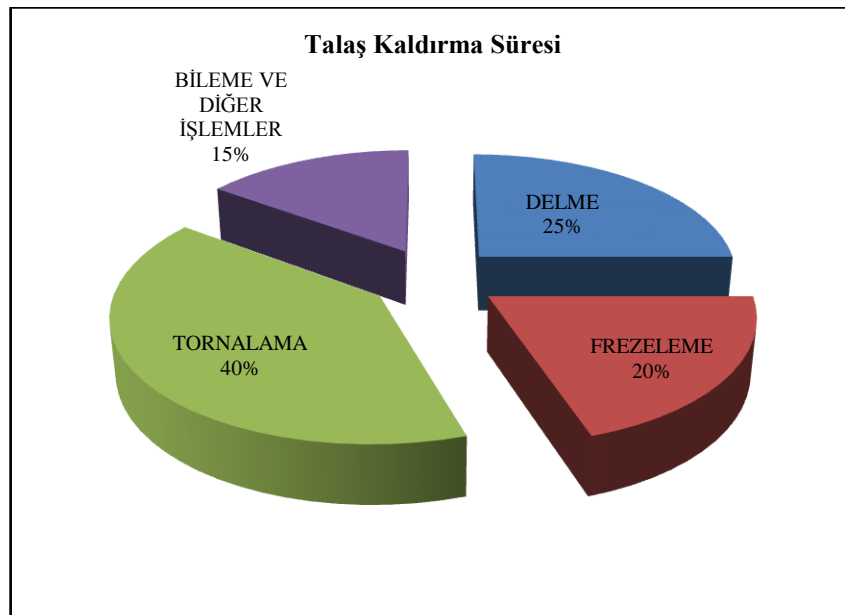
Takım tezgâhına bağlanan, belli bir geometriye sahip kesici takım aracılığıyla istenilen boyut ve biçimde parça üretilmesi veya iş parçasından fazla malzemelerin talaş şeklinde kaldırılma işlemi "Talaş Kaldırma" olarak adlandırılır. Bütün delik delme işlemlerinin ortak noktası, takımın kendi eksenini etrafında dönerek ve hareket eksenini yönünde ilerleyerek yapılan bir talaş kaldırma operasyonu olmasıdır. Delik delme,



metal kesme takımlarıyla bir iş parçasında silindirik delik açma yöntemlerini içerir. Delik delme, delik büyütme, fatura açma (kademeli delik işleme) ve raybalama gibi birbirini takip eden talaş kaldırma işlemlerini kapsar.



Şekil 2.5. Delme işleminde işlem sayısına bağlı talaş kaldırma oranı (Tonshoff ve ark., 1994)



Şekil 2.6. Delme işleminin talaş kaldırma süresine oranı (Tonshoff ve ark., 1994)

Bütün bu işlemlerde ortak olan, doğrusal bir ilerleme hareketi ile birlikte ana bir dönme hareketinin olmasıdır. Kısa delik açma ve derin delik açma işlemleri birbirinden farklıdır. Derin delik açma, çapın birçok katı derinliğe sahip deliklerin açıldığı, uzmanlık gerektiren bir yöntemdir ve derinlik, çapın 150 katına kadar çıkabilir. Delik

derinleştikçe, işlemin kontrolü ve talaşın boşaltılması zorlaşır. Derin delik delme işleminde yüzey ve delik kalitesi daha büyük bir öneme sahip iken, kısa deliklerde daha ekonomik bir işlem için daha yüksek talaş debilerinde çalışma önem kazanmaktadır. Kısa delik delme işlemi ile derin delik delme işlemi arasındaki fark, sadece çap ve delik derinliği ilişkisiyle sınırlandırılmamıştır. Talaş boşaltma, kalite ve talaş debisi ile ilgili parametreler de derin delik delme ile kısa delik delme işlemlerini ayıran temel özelliklerdir. Delik boyu, delik çapının 10 katından daha büyük ise bu delikler uzun delik olarak adlandırılır. Delik boyu çap oranı 4–10 arasında olan deliklere normal delik, delik boyu çap oranı 3 ve daha düşük olan delikler ise kısa delik olarak adlandırılır. En yaygın delik delme metodu, dolu bir malzemenin yekpare bir takım kullanılarak belirli bir çapta, tek operasyonda delinmesidir (Yağmur, 2011)

Delik delme işleminin gerçekleştirilmesinde etkili olan ilerleme ve kesme hızı en önemli kesme parametreleridir. Kesme hızı:  $V$  çevresel hızdan yararlanılarak belirlenir, bu hız dakikadaki devir sayısı bilindiği takdirde kolaylıkla hesaplanabilir. Takım çapı:  $d$  olmak kaydıyla matkap bir dönüşte, kendi çapı kadar bir daire çizer. Eğer çap mm cinsinden verilmişse, kesme hızının m/dak cinsinden aşağıda eşitlikle hesaplanır (Usta, 2010).

$$V = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \quad (2.1)$$

İlerleme hızı veya parçaya nüfuziyet hızı ( $u$ - mm/dak) birim zamanda alınan yol olarak tanımlanır ve takımın iş parçasına göre veya alternatif olarak iş parçasının takıma göre ilerlemesidir. Bu aynı zamanda tezgâhın veya tablanın ilerleme hızı olarak da bilinir. Devir başına ilerleme ( $s$  - mm/dev) ilerleme hızını hesaplamak için kullanılan bir büyüklük olup, takım veya işparçasının bir devirdeki ilerlemesidir (Yağmur, 2011).

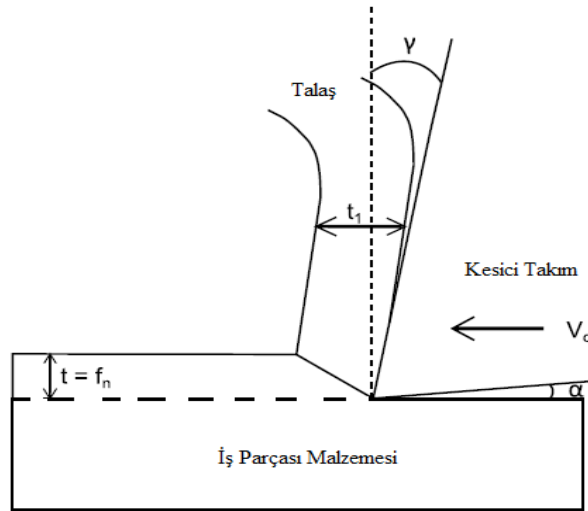
$$s = \frac{u}{n} \quad (2.2)$$

### 2.3.2. Talaş oluşumu ve kesme sıvısı

Normal delik delme işleminde kullanılan matkapların birçoğunda iki talaş kanalı ve iki kesici kenar vardır. Talaşlar, delik içerisinden helis kanalları yardımıyla boşaltılırlar. Bu, modern tezgâhlarda ve matkaplarda kesme sıvısının takım içerisinde bulunan kanallar vasıtasıyla kesme bölgesine aktarılması sonucunda gerçekleştirilir.

Talaş oluşumu iş parçası malzemesi, takım geometrisi, kesme hızı, ilerleme ve kesme sıvısı seçiminden etkilenir. Genellikle artan ilerleme veya azalan kesme hızı değerleri kısa talaş oluşumuna neden olurlar. Talaşların matkabın kesici kenarlarından problemsiz uzaklaştırılması, elde edilen talaşın kabul edilebilir bir uzunlukta olduğunu gösterir. Talaş sıkışması matkabın yanal hareketine sebep olabilir ve delik kalitesini, matkap ömrünü ve emniyetini ya da matkap uç kırılmalarını etkiler (Kıvık, 2007).

Kesme hızı, matkabın çevresinden merkeze yaklaştıkça azalır. Bu nedenle kesme hızının azalması sonucunda ortaya çıkabilecek yığılma kenar oluşumu riskinin göze alınması gerekir. Matkabın merkezine yakın bir yerde oluşacak belirli bir miktar yığılma kenar çoğu işlem için kabul edilebilir bir durumdur. Ancak, kesme hızının düşürülmesi yığılma kenarın çevreye daha yakın bir bölgede oluşmasına neden olacağı için sakıncalıdır. Talaş kaldırma işlemi esnasında talaşın plastik deformasyona uğraması nedeniyle deformasyona uğramış talaş kalınlığı ( $t$ ) teorik talaş kalınlığından ( $t_1$ ) farklıdır. Delme işleminde teorik talaş kalınlığı artan kenar basına ilerleme ve uç açısı  $\alpha$  ile artar (Şekil 3.3) (Kıvık, 2007).



Şekil 2.7. Talaş oluşumuna etki eden faktörler (Odelros, 2012)

Artan ilerleme değeri ile helis açısı artar ve boşluk açısı azalır. Azalma merkeze en yakın noktada en yüksek seviyeye ulaşır. Bu da takım ile delik yüzeyleri arasındaki aşınmanın önlenmesi için boşluk açısının çevreden merkeze doğru artırılmasını zorunlu kılar. Talaş açısı, kesici kenar boyunca değişir ve matkabın çevresinden merkeze doğru azalır. Matkabın hızının da çevreden merkeze doğru azalması nedeniyle kesme hızının sıfır olduğu merkez noktasında matkabın ucu son derece verimsiz

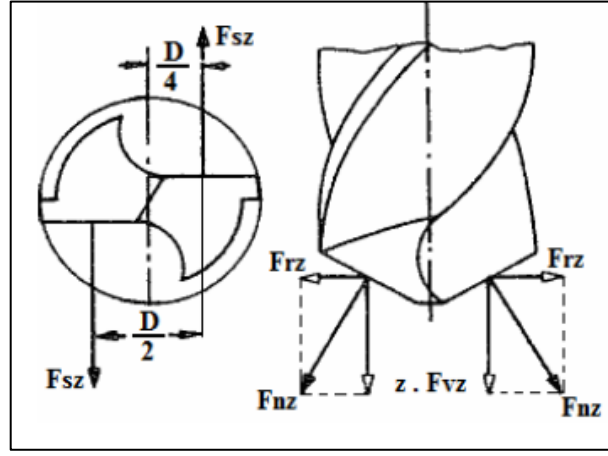
çalışacaktır. Matkap merkezdeki malzemeyi kesmek yerine bastırıp ezerken talaş açısının negatif olduğu ve kesme hızının sıfıra yaklaştığı noktada bir plâstik deformasyon oluşur. Bu basınç oldukça yüksek bir eksenle kuvvet bileşeninin ortaya çıkmasına neden olur. Tezgâhın gücü delinecek deliğin boyutlarına göre düşükse, ilerleme kuvvetinin büyük olmasından dolayı tezgâh ana milinin esnemesi söz konusu olacak ve bunun sonucunda oval delikler elde edilecektir. Radyal ağız nedeniyle ortaya çıkan elverişsiz çalışma koşullarının giderilmesi için takımlarda önemli değişiklikler gerçekleştirilmiştir. Radyal ağız çok inceltilmiş veya tamamen ortadan kaldırılmış ve kesici kenara matkap merkezine doğru bir yarıçap verilmiştir. Klasik helisel matkaplarda çekirdek kısmının inceltilmesi işlemi, matkabın ucundaki helis kanalın taşlanması ile gerçekleştirilir. Bu sayede çapraz kesici kenarın uzunluğu azaltılır ve ana kesici kenar kırık bir hat oluşturur. Çekirdeğin inceltilmesini takiben kesici kenarlara doğrusal bir profil kazandırabilmek amacıyla bir son taşlama işlemi uygulanır. Son taşlama ana kesici kenarın tamamına veya bir kısmına uygulanır ve böylelikle işlem süresince sabit bir talaş açısının elde edilmesi sağlanır. Örneğin, kırılğan malzemelerin delinmesi işleminde, tüm kesici kenar boyunca küçük bir talaş açısına sahip bir matkabın kullanılması tavsiye edilir (Kıvak, 2007).

Modern sinterlenmiş karbür matkaplar ile yapılan delik delme işleminde yüksek talaş debileri elde edilir ve oluşan büyük miktarlardaki talaşlar matkabın içinden veya dışından kesme bölgesine gönderilen yüksek basınçlı kesme sıvısı yardımıyla delik dışına atılırlar. Kesme sıvısının matkap içinden kesme bölgesine gönderilmesi halinde döner matkaplar, santrifüj kuvvetinin etkisiyle oluşan basınç düşüşü nedeniyle, sabit matkaplara göre daha yüksek kesme sıvısı basıncına gereksinim gösterirler. Ancak kesme sıvısının matkap dışından kesme bölgesine gönderildiği sabit matkaplarda, sevk sisteminde oluşan belirli bir basınç düşüşünün de dikkate alınması zorunludur. Bu nedenle depoda bir miktar fazla sıvı bulundurulması ve basıncın en azından matkap için tavsiye edilen düzeyde olup olmadığının kontrol edilmesi son derece önemlidir (Kıvak, 2007).

### **2.3.3. Delme işlemlerinde kesme kuvvetleri ve güç**

Delme sırasında bir ağza karşılık gelen talaş kaldırma kuvvetlerinin bileşenleri, yani kesme kuvveti ( $F_{sz}$ ), ilerleme kuvveti ( $F_{vz}$ ) ve radyal kuvvet ( $F_{rz}$ ) Şekil 2.8'de gösterilmiştir. Ağızların konumu itibarıyla her ağızda oluşan radyal kuvvetler birbirini

dengelemektedir. Dolayısıyla delme işleminde sadece  $F_s$  ve  $F_v$  kuvvetleri etki göstermektedir (Akkurt, 1998).



Şekil 2.8. Matkapla delmede kesme kuvvetleri (Akkurt, 1998)

Bir ağza karşılık gelen kesme kuvveti;

$$F_Z = A_{sz} \cdot k_s = \left(\frac{d \cdot s_z}{2}\right) \cdot k_s = \left(\frac{d \cdot s}{4}\right) \cdot k_s \quad (2.3)$$

ve toplam kesme kuvveti,

$$F_s = z \cdot F_{sz} = 2 \cdot F_{sz} = d \cdot s_z \cdot k_s = \frac{d \cdot s}{2} \cdot k_s \quad (2.4)$$

şeklinde ifade edilir. Burada özgül kesme kuvveti,

$$k_s = 1,2 \cdot k_{s11} \cdot h^{-z} \quad (2.5)$$

veya;

$$k_s = k_{s11} \cdot h^{-z} \quad (2.6)$$

$$k_s = 1,2 \cdot k_{sh} \quad (2.7)$$

bağıntısı ile hesaplanır. Burada; 1,2 matkapla talaş kaldırma işleminin özelliklerini yansıtan düzeltme faktörüdür. Kesme kuvvetine bağlı bir ağza tekabül eden kesme momenti;

$$M_{sz} = F_{sz} \cdot \left(\frac{d}{4}\right) \quad (2.8)$$

ve iki ağza karşılık gelen toplam kesme momenti,  $F_s = 2 \cdot F_{sz}$  ile

$$M_s = z \cdot F_{sz} \cdot \frac{d}{4} = 2 \cdot F_{sz} \cdot \frac{d}{4} = F_s \cdot \frac{d}{4} \quad (2.9)$$

veya;

$$M_s = \frac{d^2 \cdot s \cdot k_s}{8 \cdot 10^3} [N \cdot m] \quad (2.10)$$

bulunur. İlerleme  $s = z \cdot s_z$  bağıntısı ile tayin edilir. Toplam ilerleme kuvveti;

$$F_v = z \cdot F_{vz} = 2 \cdot F_{sz} \cdot \sin x = F_s \cdot \sin x \quad (2.11)$$

bağıntısı ile tayin edilir. İlerleme kuvveti  $F_v$ , eksenel kuvvet niteliğindedir. Delik açmada, ana kesme ağızlarında meydana gelen bu kuvvetin yanı sıra, radyal kesme ağızında da, eksenel nitelikte  $F_z$  ilerleme kuvveti oluşmaktadır. Şöyle ki, delik açma sırasında matkabı etkileyen ve yenilmesi gereken eksenel kuvvet;

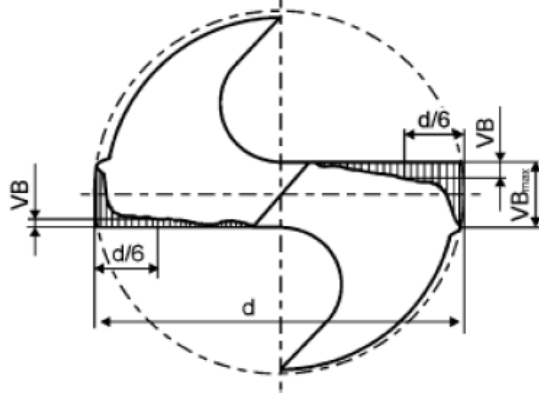
$$F_a = 2 \cdot F_{vz} + F_1 = F_v + F_1 \quad (2.12)$$

dir. Yapılan deneylere göre eksenel kuvvetinin %40'ı  $F_v$  ; %57'si  $F_1$  ve geri kalanı (%3) sürtünme kuvvetidir. Eksenel kuvvet  $F_a$ , ilerlemeyi sağlayan elemanları ve özellikle yatakları (rulmanları) zorlamaktadır. Tezgâhın konstrüksiyonu sırasında bu elemanlar, belirli bir eksenel kuvvete ( $F_{a_{max}}$ ) göre hesaplanır. Çalışma sırasında  $F_a > F_{a_{max}}$  olursa, ilerlemeyi sağlayan elemanlar ve özellikle rulmanlar çabuk bozular. Ayrıca,  $F_a$  kuvveti takımını burkulmaya zorlar.  $F_{a_{max}}$ 'ın değeri tezgâh kataloğunda verilir (Akkurt, 1998).

#### 2.3.4. Kesici uç aşınması

Delik delme işlemlerinde, kesme parametrelerinin optimize edilmesi oldukça önemlidir. Çünkü delme parametreleri efektif takım açılarını doğrudan etkilemektedir. Örneğin, ilerlemenin artması, helis açısını arttıracak ve boşluk açısını azaltacaktır. Boşluk açısının azalması, takımın ana serbest yüzeyinin, işlenen yüzeyle sürtünmesini arttırarak, serbest yüzey aşınmasını (flank wear) hızlandıracaktır. Genelde aşınma, kesici kenarın zırh (fesata) ile birleştiği noktada başlar, kesici ağızlar ve serbest yüzeylerde gelişir (Şekil 2.9). Kesici ağızlarda aşınmanın artması, serbest yüzeylerde boşluk açısı kaybolmuş konik yüzey meydana getirir. Oluşan bu konik yüzey, serbest

yüzeylerde aşınma şeritlerini (VB) temsil eder. Serbest yüzeylerdeki aşınma, kesme işleminin yerini sürtünme ve zorlamalara bırakarak, ısı oluşumunu arttırır ve aşınma hızlanarak takım köreltir (Kıvık, 2012).



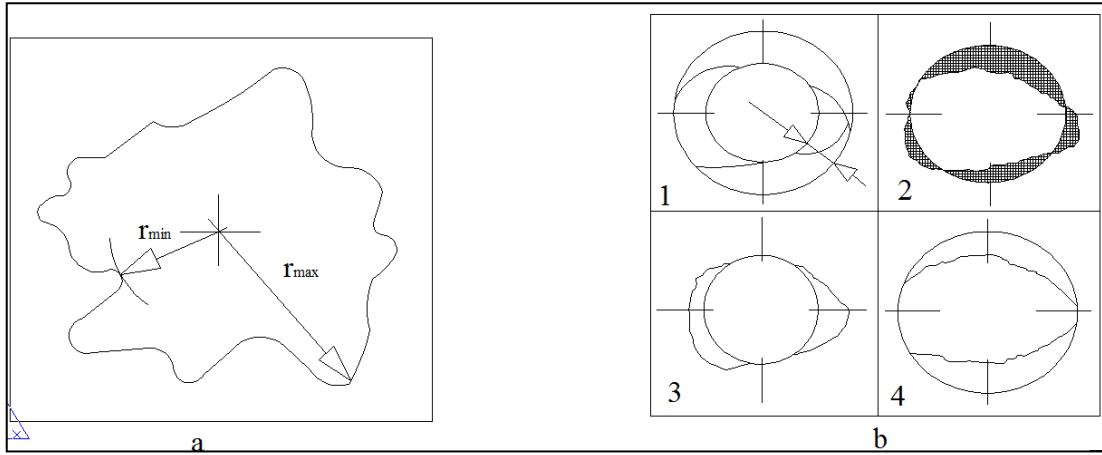
**Şekil 2.9.** Serbest yüzeyde oluşan aşınmanın gösterimi (Sharif ve ark., 2012)  
**VB:** Serbest yüzey aşınma şerit derinliği, **VB<sub>max</sub>:** Maksimum aşınma, **d:** Matkap çapı

Oluşan aşınma değerleri kabul edilir sınırı aştığında, delme işlemlerinde oldukça önemli olan delik geometrisi (dairesellik), boyut ve yüzey kalitesinin bozulmasına neden olur. Delme işlemlerinde kullanılan matkaplar, kesme işlemi sırasında oluşan mekanik (tork, kesme kuvvetleri), ısı, kimyasal ve abrazyon yükleri karşılayabilmesi için bazı özelliklere sahip olması gerekir. İlk olarak, yeterli mukavemet ve kırılma direncine sahip olmalıdır. İkinci olarak, delme sırasında oluşan talaşın ve ısının transferinin daha kolay sağlanabilmesinin yanı sıra abrazyon aşınmaya karşı direncinin yüksek ve kimyasal olarak kararlı olması gerekir. Bu özelliklerinin tümünün mevcut olduğu kesici takım malzemesi mevcut değildir. Ancak, kaplama tekniklerinin gelişmesiyle, aşınma ve ısı direnci yüksek ve kimyasal olarak kararlı kesici takım malzemesi kombinasyonu elde edilebilmektedir (Kıvık, 2012).

### 2.3.5. Dairesellik

Delğin dairesellikten sapması genellikle sehim, titreşim, yetersiz yağlama, aşınma gibi etkilerin bir sonucudur. Dairesellikten sapma yüzeyde dalgalanmaların olması demektir. Dairesellikten sapma belirli bir merkez noktadan ölçülen en büyük ve en küçük yarıçap arasındaki fark olarak tanımlanır (Şekil 2.10.a). Ancak, bir delğin merkezinin belirlenmesinin çeşitli yolları vardır (Şekil 2.10.b).

- En çok kullanılan metot en küçük radyal sapmanın elde edildiği noktayı merkez olarak tanımlamaktır (Şekil 2.10.b (1)). Bu metot MRS (Minimum Radyal Sapma) veya TIR (Toplam İbre Okuma) olarak da bilinir.
- En küçük merkez daire (LSC) metodu (Şekil 2.10.b (2)). Bu metotta merkez nokta, radyal koordinatlarının kareleri toplamı en küçük olan dairenin merkezidir.
- İçeri çizilebilecek en büyük çember (MIC) (Şekil 2.10.b (3)).
- Dışarı çizilebilecek en küçük çember (MLC) (Şekil 2.10.b (4)).



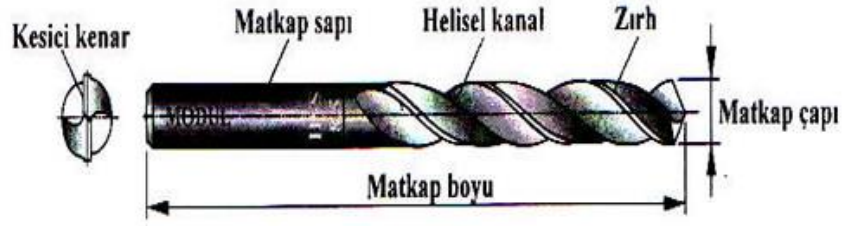
Şekil 2.10. Dairesellik, a) Dairesellikten sapma, b) Delik merkezinin belirlenmesi (Çakır, 2000)

### 2.3.6. Delik delme takımları (Matkaplar)

Delme işlemlerinde kullanılan kesici takımlara genel olarak matkap denir. Matkaplar talaşlı üretimde en çok kullanılan kesici takım gruplarından biridir. Bir matkap kendi eksenini etrafında dönerek ve aynı zamanda eksenini doğrultusunda ilerleyerek genelde iki kesici ağız ile kesme yapar. Her matkap türü bir ihtiyaçtan ortaya çıkmıştır. İmalat sanayinde yaygın olarak kullanılan matkaplar genel olarak uç, gövde ve sap olmak üzere üç kısımdan meydana gelir (Şekil 2.11).

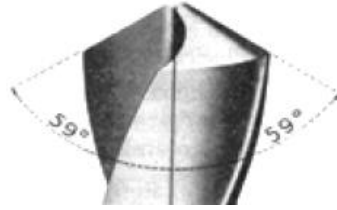
**Uç:** Matkabın kesici kenarlarının (ağızlarının) bulunduğu kısımdır, malzemeden keserek talaş kaldırılmasını ve deliklerin açılmasını sağlar. Matkaplar; genelde 2 kesici ağızlı olarak imal edilmektedir. Fakat 3 ağızlı matkaplar da bulunmaktadır. Matkapların uç geometrisi taşlanarak elde edilir.



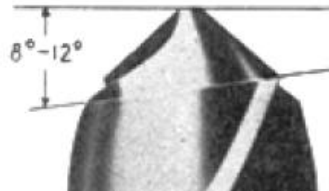


Şekil 2.11. Bir matkabın kısımları (Akkurt, 1998)

Uç kısmın taşlanması; kesici ağız kenarların oluşturulması şeklinde gerçekleşir. Kesici uç geometrisi oluşturulması, kesici uç açısının ve kesici kenarın arka boşluk açısının verilmesi şeklinde yapılmaktadır. Matkaplar, normal işleme şartları için  $118^\circ$  (Şekil 2.12) uç açısında ve  $8^\circ$ - $12^\circ$  kesici kenar arka boşluk açısı (Şekil 2.13) ile taşlanmaktadır (Usta, 2010).



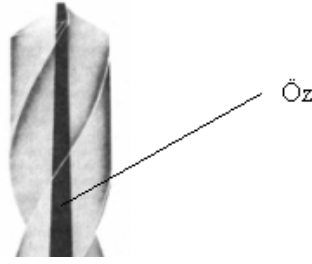
Şekil 2.12. Matkap ucunun  $118^\circ$  taşlanarak bilenmesi (Usta, 2010)



Şekil 2.13. Matkabın bilenmesinde kesici kenarın arka tarafına verilen boşluk açısı (Usta, 2010)

**Gövde:** Matkapların helisel olukların bulunduğu kısmıdır, kesicinin ucundan başlayıp kesicinin sapına kadar devam eder. Helisel oluklar; delik delinmesi sırasında matkabın ucundaki kesici kenarlarla kesilen talaşların dışarı atılması görevini yerine getirmektedir. Helisel oluk sayısı kesici ağız (kenar) sayısı kadardır. Olukların helis açısı farklı derecelerde imal edilmektedir. Helisel oluklar, kesici kenarların talaş açılarını oluşturmaktadır. Gövde üzerinde, helisel olukların arka kısımları belli bir set oluşturacak şekilde taşlanmaktadır. Bu setler kesicinin zırh kısımlarını meydana getirmektedir. Matkaplar dönerek talaş kaldırma esnasında gövdenin tamamının delik

yüzeylerine sürtünmesini engeller. Matkapların gövdeleri, belli bir açıda konik olacak şekilde imal edilirler. Bu oran çok küçüktür. Amaç kesicinin parça içine dalarak ilerlemesi sırasında sıkışmasını önlemektir. Helisel olukların arasında kalan kısım kesicinin özü olarak adlandırılır. Kesicinin özü, kesici ucundan kesici sapına doğru koniktir (Şekil 2.14). Helisel oluklar, kesici ucundan kesici sapına doğru konik olarak açılmaktadır. Koniklik; kesicinin dönerek talaş kaldırması sırasında kesme kuvvetlerinin oluşturacağı Moment'e (Mz) kesicinin kırılmadan dayanabilmesini sağlar (Usta, 2010).



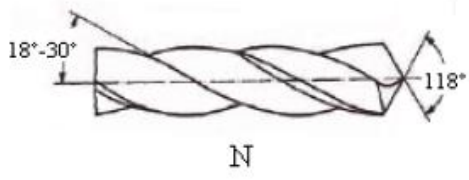
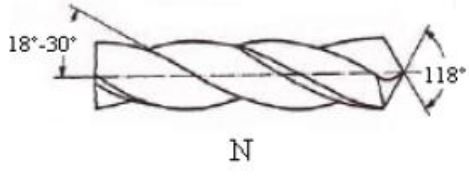
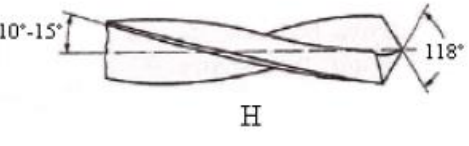
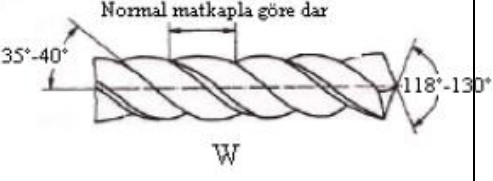
Şekil 2.14. Matkabın helisel olukları arasında kalan öz (Usta, 2010)

**Sap:** Matkabın tezgâha bağlanmasını sağlayan kısmıdır. Sap kısımları; genel de belli bir matkap çapına kadar silindirik yapılmaktadır. Fakat özellikle büyük çaplı matkaplar; bağlanma kolaylığı nedeni ile doğrudan tezgâh miline bağlanabilmesi amacıyla konik yapılmaktadır (Usta, 2010).

### 2.3.6.1. Matkapların sınıflandırılması

İş parçası malzemesine bağlı ve kesme açlarına göre DIN standardında (DIN 1414) N, H ve W ile simgelenen üç çeşit matkap vardır (Yağmur, 2011). Bunlardan N tipi çelik ve dökme demir, H tipi pirinç alaşımları ve W tipi ise alüminyum alaşımları gibi yumuşak malzemeler içindir. Bunlara plâstik malzemeler için geçerli olan değiştirilmiş H tipi de ilâve edilebilir. Bu matkapların her birinin kesme açıları farklı olup her tip için kesme açıları matkabın çapına (d) bağlıdır. Uç açıları 118°'den daha küçük olan matkaplara sivri, daha büyük olanlara ise düz denir. Malzeme sertliği artıkça matkapların uç açıları artar (düzleşir), malzeme sertliği azaldıkça da uç açıları azalır (sivrileşir). Çizelge 2.4'de, matkapların helis ve uç açılarına göre kullandıkları malzemeler verilmiştir (Bağcı, 1960).

**Çizelge 2.4.** Helis adımlarına göre matkap çeşitleri ve kullanıldığı yerler (Bağcı, 1960)

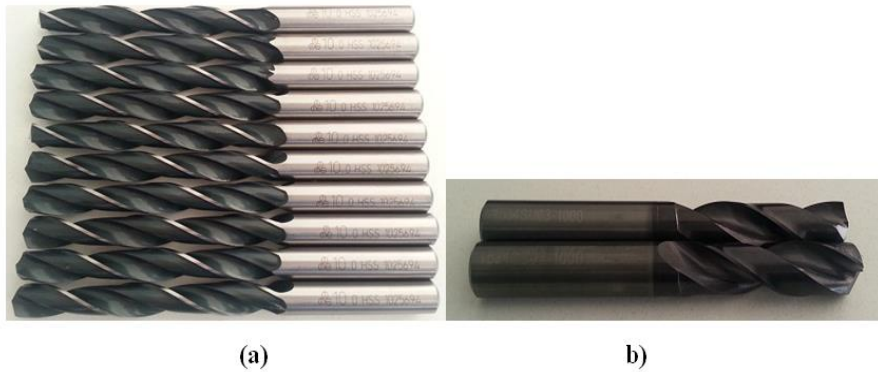
Malzeme Cinsi	Uç Açısı	Matkap Tipi (DIN 1414)
Çelik; çelik döküm; dökme demir; temper döküm; sert bakır ve çinko alaşımı malzemeler için;	118°	 <p>N</p>
700 N/mm <sup>2</sup> çekme dayanımı üzerindeki çelikler ve çelik döküm malzemeler için;	130°	
Saç parçaları ve paket halindeki sac demetleri için;	124° - 130°	 <p>N</p>
Paslanmaz çelikler; bakıra 30 mm çap üzerinde delik delerken, kısa talaş veren Al alaşımlarında;	130°	
Preslenmiş malzemeler, sert bakalit, sert kauçuk, mermer, arduvaz (taş) kömür vs. için;	80°	 <p>H</p>
Pirinç (sarı malzeme), bronz ve çeşitleri, sert çelikler için;	130°	
Magnezyum alaşımları için;	140°	
Çinko alaşımları, kalay ve kurşun alaşımları (beyaz metal) için;	118°	 <p>Normal matkapla göre dar</p> <p>W</p>
Bakır malzemeler için;	120° - 125°	
Alüminyum alaşımları için;	140°	
Bakıra 30mm üzerindeki delik delerken ve uzun talaş veren Al;	140°	

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Ti-6Al-4V alaşımının HSS ve WC kesici takımlarla delinmesinde kesme parametrelerinin delinen yüzeye ve kesici takıma etkilerini belirlemek için öncelikle Timet Metal & Medikal firmasından 2 adet 100\*150\*10 mm boyutlarında Çizelge 3.1'de mekanik ve kimyasal özelliği verilen Ti-6Al-4V alaşımı temin edildi. Toprak İthalat Kesici Takım Ltd. Şti firmasından ise Şekil 3.1'de görüntüleri verilen 54 adet 10 mm çapıda ve 140° uç açısına sahip HSS ve WC kesici takım alındı.

Çizelge 3.1. Ti-6Al-4V alaşımının mekanik ve kimyasal özellikleri

	Kimyasal kompozisyon							Mekanik değerler		
	N	C	H	Fe	O	Al	V	Çekme Mukavemeti (N/mm <sup>2</sup> )	Akma Mukavemeti (N/mm <sup>2</sup> )	% Uzama (%)
<b>Grade5 Ti-6Al-4V</b>	0.05	0.08	0.015	0.40	0.20	5.50	3.50	900-1100	830	10



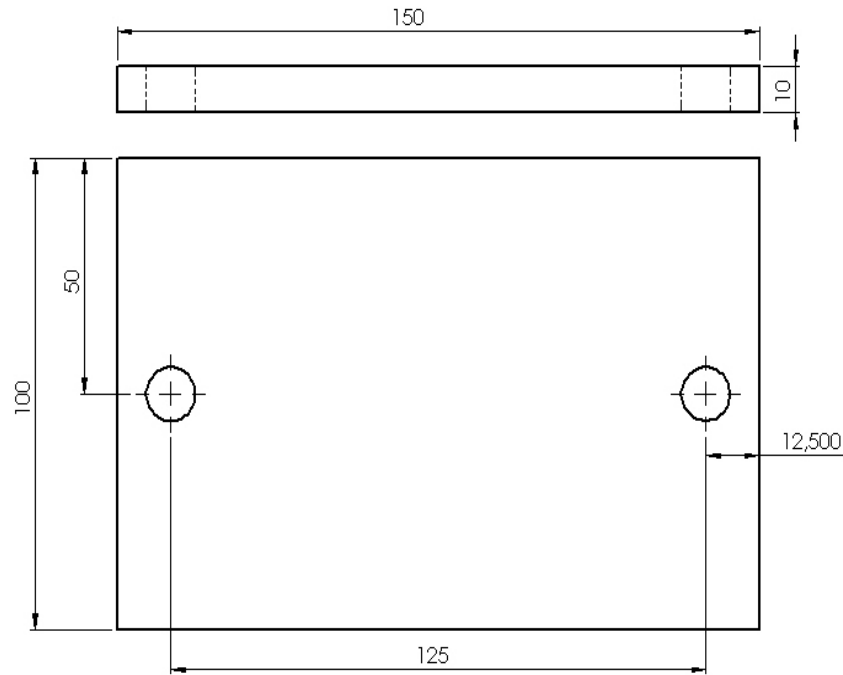
Şekil 3.1. a) HSS kesici takım, b) WC kesici takım

Kesici takımlarla Ti-6Al-4V alaşımını delmek için tabla ölçüleri 700 x 410 mm, iş mili hızı 80-8000 dev/dak ve iş mili motor gücü 7.5 kW olan Topper Tongtai marka, TMV-610A+APC CNC dik işleme merkezi kullanıldı. Ayrıca, deneysel çalışmalarda kesme devri ve ilerleme parametrelerine bağlı olarak işleme kuvvetlerinin tespiti için Kistler 9257B dinamometre CNC dik işleme merkezine bağlandı. Şekil 3.2.'de CNC dik işleme merkezi ve dinamometre bağlantısı verilmiştir.



**Şekil 3.2.** CNC dik işleme merkezi ve dinamometre bağlantısı

İş parçasının dinamometre üzerine bağlanması için Ti-6Al-4V alaşımı Şekil 3.3'de verilen ölçülerde önceden delindi.



**Şekil 3.3.** Delinen Ti-6Al-4V levhası

Delme deneyleri için Ti-6Al-4V alaşımının ve kesici takımın özellikleri ile literatür araştırmaları göz önünde bulundurularak farklı kesme hızları ve ilerlemeler belirlendi. Belirlenen bu değerler Çizelge 3.2.'de verilmiştir.

**Çizelge 3.2.** Kesme parametreleri ve değerleri

Parametreler	Değerleri
Kesme hızı (m/dak)	7.85, 15.7 ve 23.55
İlerleme (mm/dev)	0.03, 0.06 ve 0.09

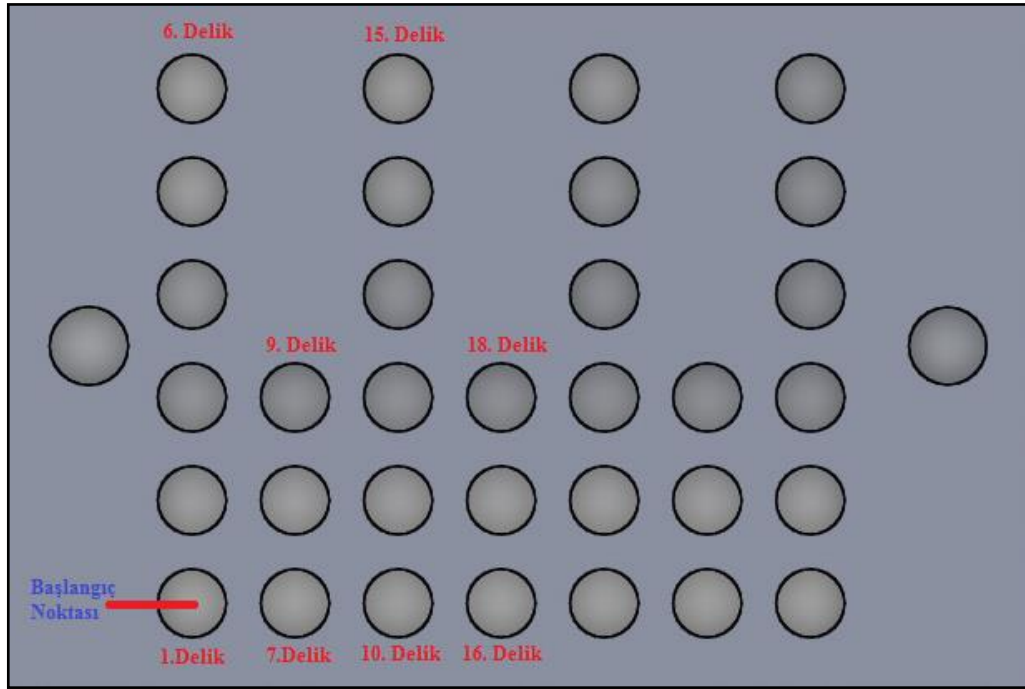
Kesme hızı (V) ve ilerlemelerin (s) CNC programına kesme devri (n) ve dakikadaki ilerleme miktarı (u) olarak girilmesi için denklem 2.1 ve 2.2'den yararlanılmıştır. Denklem 2.1'e göre kesme devirleri (n), 10 mm çapındaki matkap ve 7.85, 15.7 ve 23.55 m/dak kesme hızları için yaklaşık olarak sırasıyla 250, 500 ve 750 dev/dak olduğu hesaplandı. Denklem 2.2'ye göre her bir devir ve ilerleme için kombinasyon yapıldığında, dakikadaki ilerleme değerleri (u); 250 dev/dak için 7.7, 15, 22.5 mm/dak, 500 dev/dak için 15, 30, 45 mm/dak ve 750 dev/dak için 22.5, 45, 67.5 mm/dak bulundu. Devir ve dakikadaki ilerleme miktarlarına bağlı olarak WC ve HSS matkaplarla Ti-6Al-4V alaşımının delinmesi için CNC kodlar çıkartıldı. Çizelge 3.3'de çıkartılan program ve bazı delikler için programa girilen parametreler verilmiştir.

**Çizelge 3.3.** Program ve delikler için programa girilen parametreler

CNC Programı	Delik Sıra Numarası	Devir n (dev/dak)	X eksen (x <sub>1</sub> )	Y eksen (y <sub>1</sub> )	İlerleme u (mm/dak)
	1 (WC)	250	0	0	7.5
	2 (WC)	250	0	15	15
	3 (WC)	250	0	30	22.5
O0001;	4 (WC)	500	0	45	15
G15 G17 G40 G49 G80;	5 (WC)	500	0	60	30
G28 G91 Z0;	6 (WC)	500	0	75	45
M6 T1;	7 (WC)	750	15	0	22.5
M3 S( <u>n</u> );	8 (WC)	750	15	15	45
G0 G90 G54 X( <u>x</u> <sub>1</sub> ) ( <u>y</u> <sub>1</sub> );	9 (WC)	750	15	30	67.5
G43 Z50 H1;	10 (HSS)	250	30	0	7.5
G0 Z5;	11 (HSS)	250	30	15	15
G81 Z-15 R5 F( <u>u</u> );	12 (HSS)	250	30	30	22.5
G80;	13 (HSS)	500	30	45	15
G28 G91 Z0;	14 (HSS)	500	30	60	30
M5 M30;	15 (HSS)	500	30	75	45
	16 (HSS)	750	45	0	22.5
	17 (HSS)	750	45	15	45
	18 (HSS)	750	45	30	67.5

Birinci delik referans noktası (başlangıç) seçilerek farklı parametrelerde 10 mm kalınlıktaki Ti-6Al-4V alaşımına boydan boya kesme sıvısı kullanılmadan 18 delik delinmiştir. Deneysel çalışmanın geçerliliğini arttırmak için delme işlemi her parametre için 3 kez tekrarlanarak toplam 54 deliğe çıkartılmış ve ortalama alınarak analizler

yapılmıştır. Ayrıca, her bir delikte matkap ucu değiştirilmiştir. Deliklerin sıralanışı Şekil 3.4’de görülmektedir.



**Şekil 3.4.** Delinen Ti-6Al-4V levhası üzerindeki deliklerin sıralanışı

Delme deneyleri esnasında, iş parçası ve takım arasındaki etkileşimden dolayı oluşan sıcaklıklar ise Testo 881-2 termal kamera ile ölçüldü. Ayrıca, deneyler esnasında talaş yapılarını incelemek için her parametre için talaş örnekleri alındı.

### 3.1. Yüzey Pürüzlülüğünün Ölçülmesi

Delme deneyleri bittikten sonra farklı kesme parametreleri için delinen malzemenin yüzey pürüzlülüğü ölçümleri, Taylor-Hobson’s Surtonic 3+ yüzey pürüzlülük ölçme cihazı ile yapılmıştır. Ölçümlerde örnekleme uzunluğu (cut-off) 1.25 mm olarak seçilmiştir. Ölçme işlemi delik eksenine paralel olarak yapılmış olup, işlenmiş yüzeylerden 6 adet yüzey pürüzlük değeri (Ra) ölçülerek ortalaması alınmıştır.

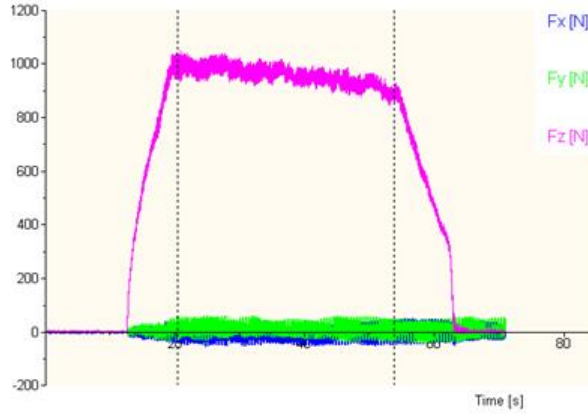
### **3.2. Çapak Yüksekliğinin, Delik Çapındaki Sapmanın ve Takım Aşınmasının Belirlenmesi**

Boyutsal kalite kontrol günümüzde birçok ölçü aleti ile yapılmaktadır. Genellikle her imalat atölyesinde bulunan konvansiyonel ölçü aletlerinin dışında (kumpas, mikrometre, mihengir vs.) 3 boyutlu noktasal ölçüm sistemleri (CMM – Coordinate Measuring Machine) ve 3 boyutlu tarayıcılar ile de yapılmaktadır. 3 boyutlu tarama sistemleri ile elde edilen poligon mesh data ile kalite kontrol uygulamaları, klasik kalite kontrol uygulamalarından çok daha faydalı sonuçlar verebilmektedir. Herhangi bir ölçü aleti ile belirli bir ölçüyü ölçebilirken, 3 boyutlu tarama sistemleri bir parçanın komple verisini elde ettiği için %100 kalite kontrol yapabilmektedir. Bu işlemden önce parça orijinal CAD dosyası veya yine 3 boyutlu tarama sistemleri ile taranan orijinal parçaya ait poligon mesh data ile üst üste karşılaştırılmak suretiyle tamamının kontrolü sağlanmaktadır. Bu doğrultuda, Ti-6Al-4V alaşımının delme deneyleri bittikten sonra delinen numunelerin çapak yükseklikleri ve çap sapmaları ile kullanılan matkapların aşınma analizleri Kocaeli’nde bulunan 3D Model Yap firmasında Breuckman optik (SmartSCAN<sup>3D</sup>) tarama sistemleri ve OptiCAD yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tarama işlemine başlamadan önce parçalar üzerinde oluşacak parlaklıkları ve yansımaları gidermek için tahribatsız muayene spreyi (BT70) kullanılmıştır.

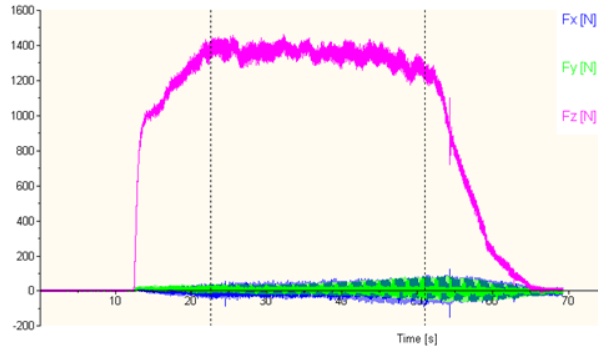


#### 4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Deneysel çalışmalar sırasında CNC dik işleme merkezine bağlanan dinamometre ile kuvvet ölçümleri alınmıştır. Şekil 4.1’de WC matkap ve Şekil 4.2’de ise HSS matkapla 7.85 m/dak, kesme hızı (V) ve 0.06 mm/dev ilerleme (s) değeri için ölçülen kuvvet grafikleri verilmiştir.

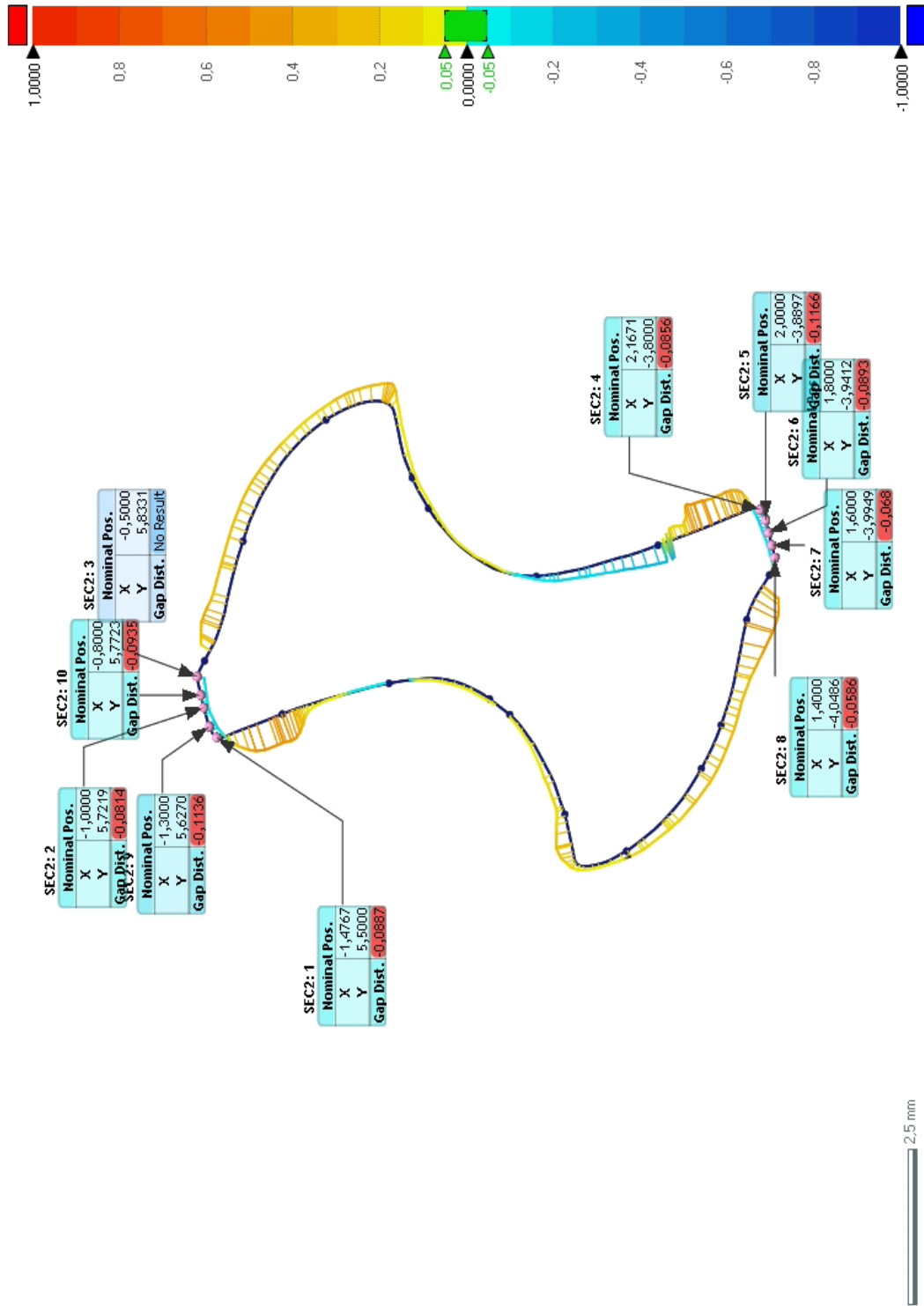


Şekil 4.1. WC matkap için kuvvet ölçümü grafiği

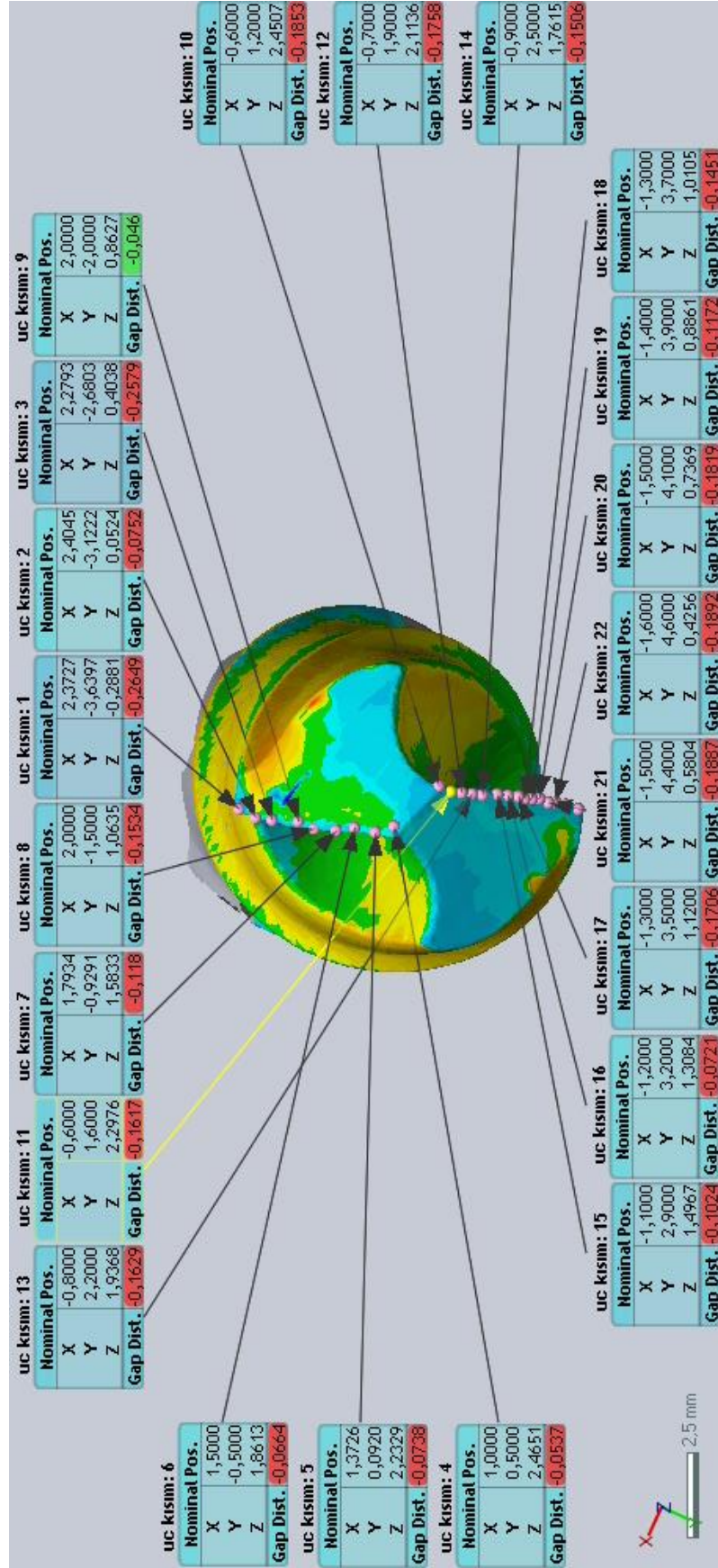


Şekil 4.2. HSS matkap için kuvvet ölçümü grafiği

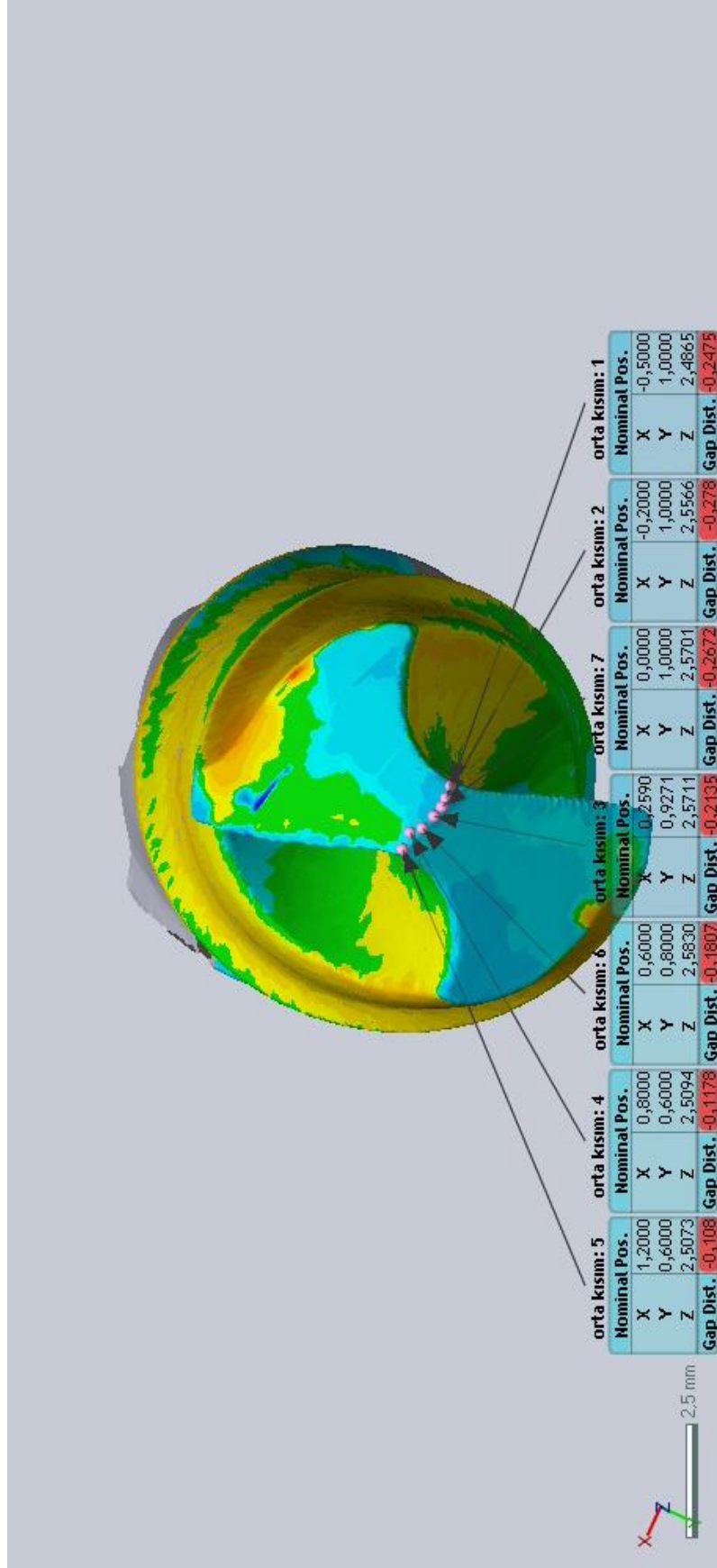
Takım aşınmalarını belirlemek için yapılan boyutsal kalite ölçümleri esnasında önce delme işlemlerinde kullanılmak için alınan sıfır bir matkapın taraması gerçekleştirildi ve ardından delme işlemi gerçekleştirilmiş matkapların taraması yapıldı. OptiCAD yazılımında; sıfır matkapla, delme işlemi yapılan matkaplar üst üste karşılaştırılarak boyutsal kalite analizi yapıldı. Böylelikle takım uç aşınma değerleri belirlenmiş oldu. HSS matkapla 15.7 m/dak kesme hızı ve 0.06 mm/dev ilerleme için takımın boyutsal analizi Şekil 4.3, 4.4 ve 4.5 de gösterildiği gibi her kesici takım için gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.3. Matkabın zırh bölümünde oluşan aşınma



Şekil 4.4. Matkabın kesici kenarlarında oluşan aşınma



Şekil 4.5. Matkabin uç kısmında oluşan aşınma

Delinen numunede ise CAD çizimi OptiCAD yazılımına yüklendi ve ardından delinen numunenin tarama işlemi gerçekleştirildi. Taranan şekil ile CAD çizim üst üste karşılaştırılarak boyutsal kalite yapıldı. Bu işlemle çap sapmaları ve çapak yükseklikleri ölçüldü.

**Çizelge 4.1.** Ti-6Al-4V'nin delinmesi sonucu ölçülen ortalama kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülük değerleri, çapak yükseklikleri ve takım uç aşınma değerleri

Matkap Cinsi	Kesme Hızı V (m/dak)	İlerleme s (mm/dev)	Kesme Kuvveti (N)	Yüzey Pürüzlülüğü Ra ( $\mu\text{m}$ )	Çapak Yüksekliği (mm)	Takım Uc Aşınması (mm)
WC	7.85	0.03	777	1.24	0.48	0.092
WC	7.85	0.06	957	1.28	0.40	0.104
WC	7.85	0.09	1105	1.35	0.37	0.111
WC	15.7	0.03	755	1.18	0.50	0.107
WC	15.7	0.06	905	1.23	0.44	0.112
WC	15.7	0.09	1014	1.29	0.40	0.118
WC	23.55	0.03	704	1.10	0.53	0.110
WC	23.55	0.06	829	1.19	0.47	0.116
WC	23.55	0.09	922	1.21	0.42	0.120
HSS	7.85	0.03	1616	2.31	2.71	0.187
HSS	7.85	0.06	2417	2.42	2.67	0.203
HSS	7.85	0.09	2813	2.48	2.16	0.259
HSS	15.7	0.03	1254	2.24	2.82	0.205
HSS	15.7	0.06	2210	2.36	2.69	0.269
HSS	15.7	0.09	2478	2.41	2.24	0.298
HSS	23.55	0.03	1103	2.09	2.94	0.255
HSS	23.55	0.06	1920	2.22	2.87	0.302
HSS	23.55	0.09	2128	2.33	2.39	0.315

**Çizelge 4.2.** Delik giriş ve çıkışındaki çap sapma değerleri

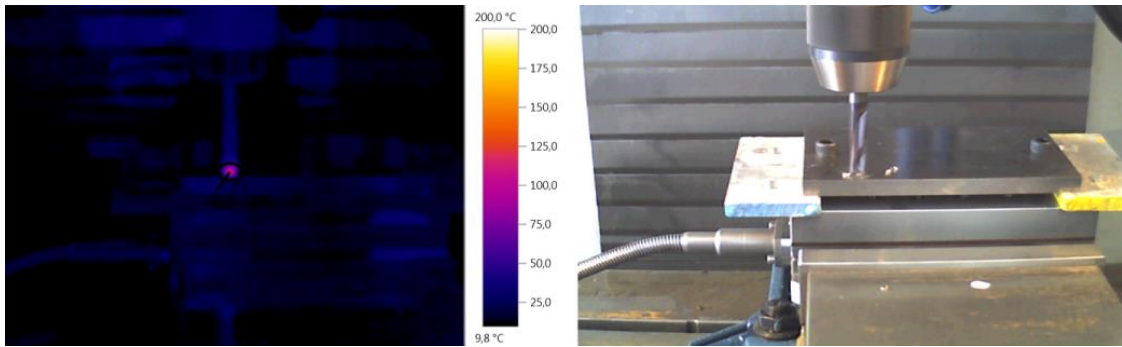
Matkap Cinsi	Kesme Hızı V (m/dak)	İlerleme s (mm/dev)	Delik Girişindeki Çap Sapması (mm)	Delik Çıkışındaki Çap Sapması (mm)
WC	7.85	0.03	10.084	10.109
WC	7.85	0.06	10.110	10.129
WC	7.85	0.09	10.116	10.130
WC	15.7	0.03	10.080	10.099
WC	15.7	0.06	10.107	10.124
WC	15.7	0.09	10.109	10.128
WC	23.55	0.03	10.077	10.090
WC	23.55	0.06	10.100	10.120
WC	23.55	0.09	10.108	10.123
HSS	7.85	0.03	10.211	10.314
HSS	7.85	0.06	10.297	10.371
HSS	7.85	0.09	10.303	10.379
HSS	15.7	0.03	10.198	10.241
HSS	15.7	0.06	10.232	10.261
HSS	15.7	0.09	10.286	10.299
HSS	23.55	0.03	10.167	10.229
HSS	23.55	0.06	10.213	10.250
HSS	23.55	0.09	10.257	10.267

Deneyisel çalışma sonucunda kesme parametrelerine bağlı olarak delinen yüzeylerde ve kesici takımlarda ölçülen ortalama kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlükleri, çapak yükseklikleri ve takım uç aşınma değerleri Çizelge 4.1’de, delik giriş ve çıkışındaki çap sapmaları ise Çizelge 4.2’de verilmiştir.

#### 4.1. Ti-6Al-4V Alaşımının Delinmesinde Oluşan Sıcaklık

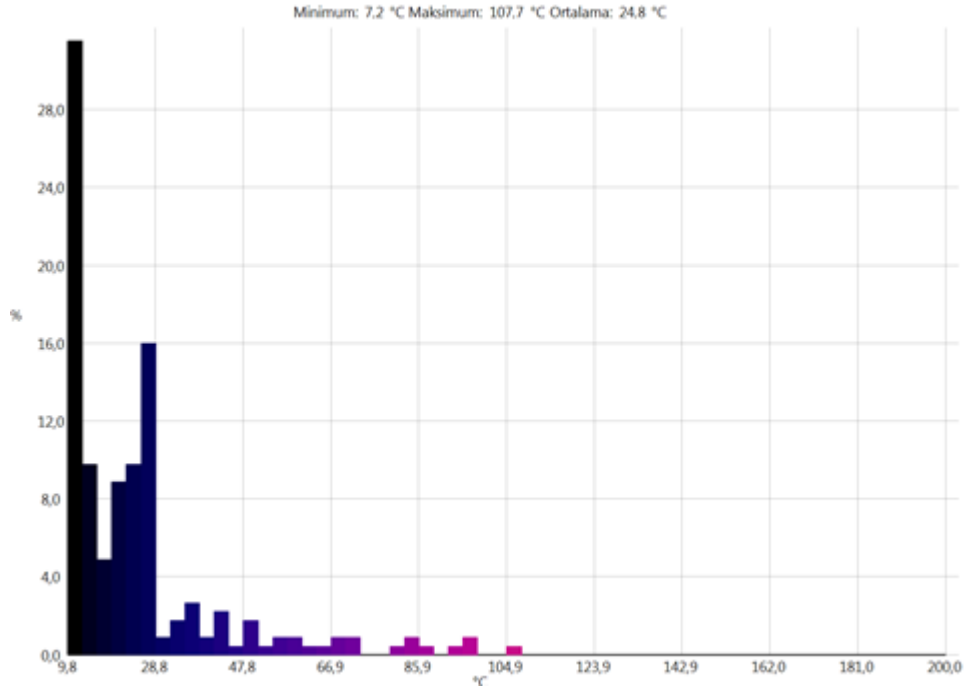
Ti-6Al-4V alaşımı ile matkap arasındaki sürtünmeden dolayı ve plastik deformasyonun sonucu ısı oluşur. Isı talaş, takım ve iş parçasının temas ettiği bölgeyi etkiler (Li, 2007). Takım ve iş parçasının mekanik özelliklerine bağlı olarak ısının büyük bir kısmı talaş ile dışarı atılır, geri kalanı ise ya takıma veya iş parçasına geçer.

Ti-6Al-4V alaşımının delme deneylerinde söz konusu alaşımın düşük termal özelliğine sahip olmasından dolayı ısının bir kısmının talaşla dışarı aktarıldığı ve geri kalan büyük çoğunluğunun ise kesici takıma geçtiği görülmüştür. Şekil 4.6’da WC kesici takımla Ti-6Al-4V alaşımın delinmesinde delik girişinde oluşan sıcaklık verilmiştir.

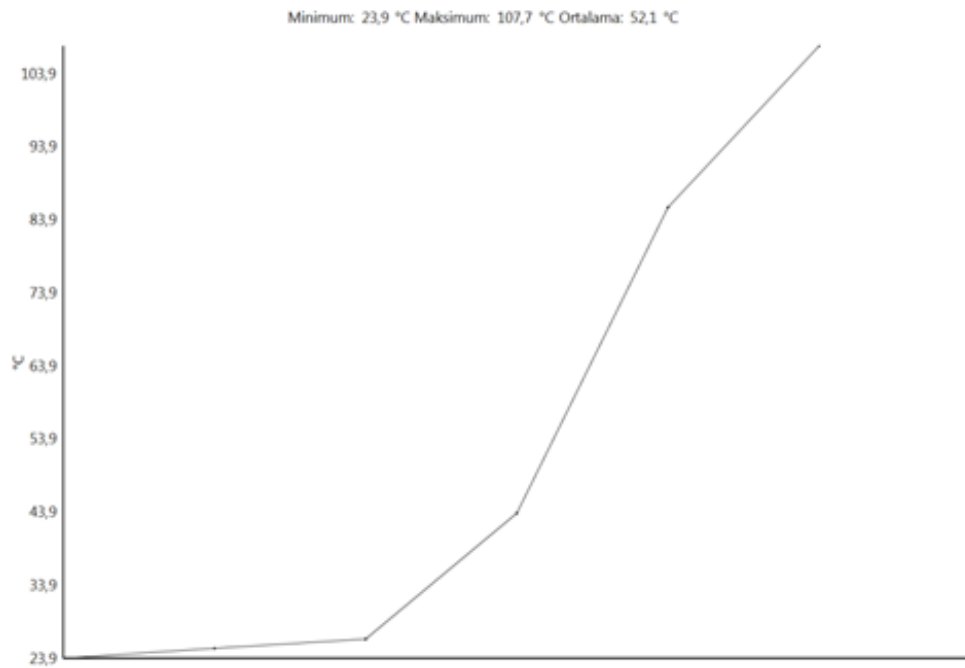


Şekil 4.6. Delik girişinde ısı oluşumu

Başlangıçta sürtünme ve deformasyonun fazla olmamasından dolayı sıcaklığın düşük olduğu görülmüştür. Şekil 4.6’daki ısının olduğu bölge bir daire içine alındığında daire içindeki sıcaklık dağılımı yüzdeler olarak Şekil 4.7’deki gibi, delinen yerin dışından ısı merkezine doğru ölçülen sıcaklık değeri ise şekil 4.8’deki gibi elde edilmiştir.



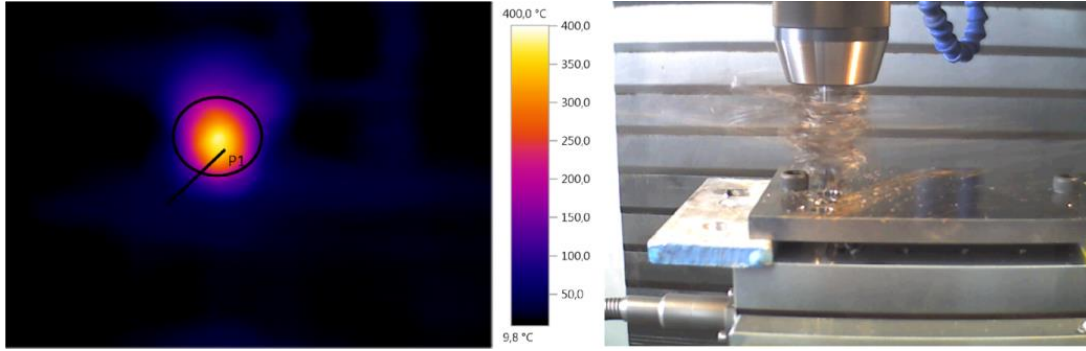
Şekil 4.7. Isı bölgesindeki sıcaklık dağılımı



Şekil 4.8. Delik dışında ısı bölgesine doğru oluşan sıcaklık

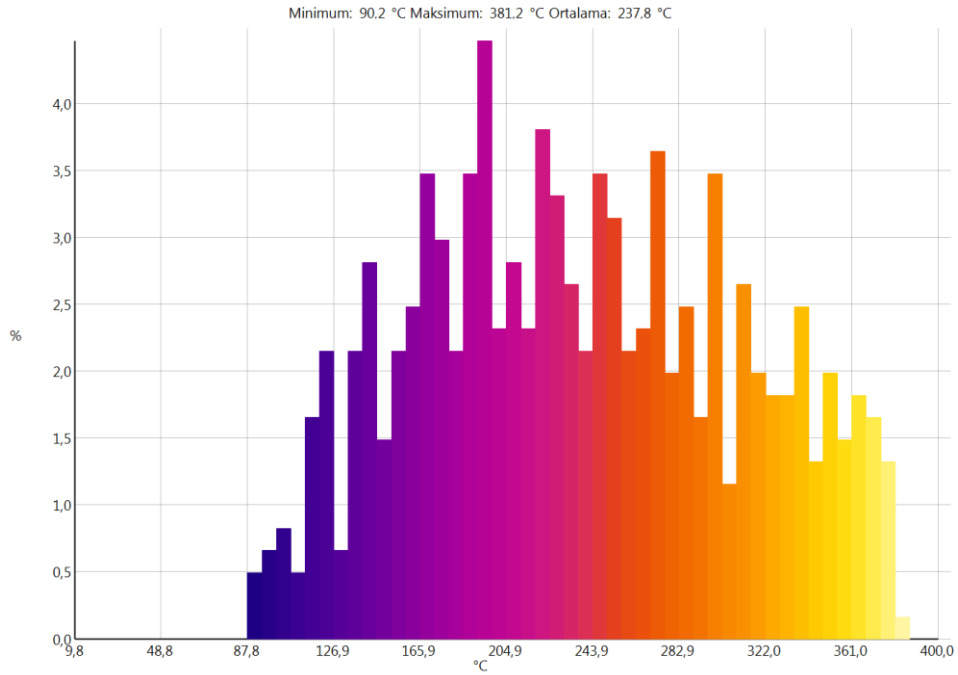
Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'de görüldüğü gibi, sıcaklık matkabın uç kısmında yoğunlaşmıştır. Ancak, matkabın delme işlemini sürdürmesi oluşan sıcaklığın sürekli olarak artmasına neden olduğu görülmüştür. Bunun yanı sıra kesme hızının artması da sürtünmeyi arttırdığından sıcaklık daha yüksek değere ulaşmıştır (Şekil 4.9).





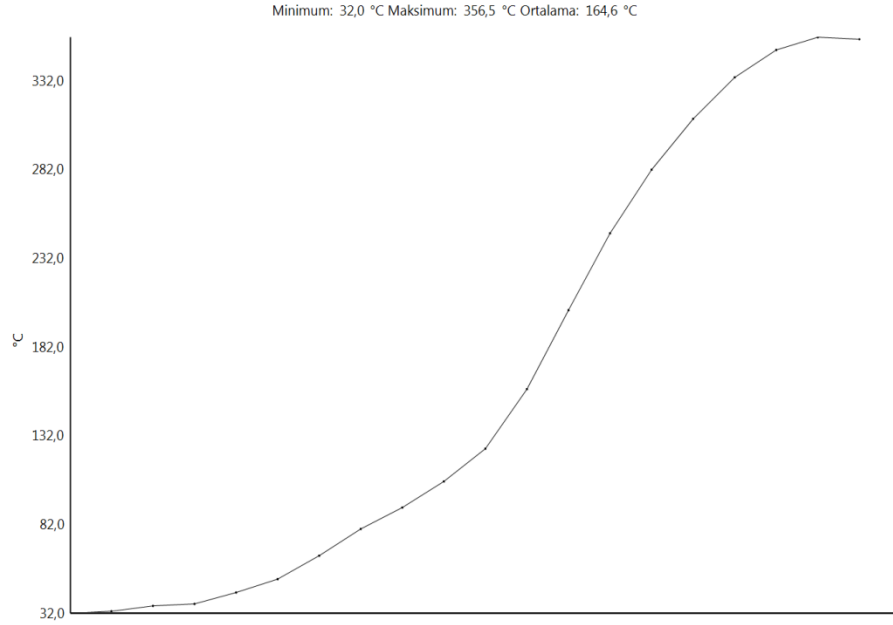
**Şekil 4.9.** Kesme hızı ve delme süresinin artmasıyla ısı oluşumu

Şekil 4.9'daki daire içine alınan bölgedeki sıcaklığın yüzdelik dağılımı Şekil 4.10'da, delinen yerin dışından ısı merkezine doğru ölçülen sıcaklık değeri ise şekil 4.11'de gösterilmiştir.



**Şekil 4.10.** Kesme hızı ve delme süresinin artmasıyla ısı bölgesindeki sıcaklık dağılımı





**Şekil 4.11.** Kesme hızı ve delme süresinin artmasıyla delik dışında ısı bölgesine doğru oluşan sıcaklık

WC matkapla ölçülen bu değerler HSS matkapla delme esnasında da ölçülmüştür. Kesme hızı ve delme süresinin artmasıyla sıcaklık artışının olduğu görülmüştür. Ancak, HSS matkap ile delme esnasında ölçülen sıcaklıkların WC matkap ile delme esnasında ölçülen sıcaklıklardan daha yüksek olduğu görülmüştür. HSS matkapta sıcaklıkların 550°'ye kadar çıktığı gözlemlenmiştir. WC ve HSS matkapla aynı delme parametrelerinde sıcaklık farklılıklarının kesici takımların sertlik değerlerinin farklı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

#### 4.2. Ti-6Al-4V Alaşımının Delinmesinde Oluşan Talaş Tipleri

Talaşlı imalatta; sürekli, kesintili ve yapışık olmak üzere üç tip talaş oluşmaktadır. Sürekli talaş, yüksek kesme hızı ve düşük ilerlemede sünek malzemelerin işlenmesinde; yapışık talaş, orta kesme hızı ve yüksek ilerlemede sünek malzemelerin işlenmesinde; kesintili talaş ise sünek malzemelerin kötü kesme şartlarında ve gevrek malzemelerin işlenmesinde oluştuğu bilinmektedir.

Delmenin kapalı alanda gerçekleşmesi, delinecek yerin matkap ucu tarafından bir basma gerilmesine maruz kalması ve buna bağlı olarak sürtünme direnci ve sıcaklıktan dolayı talaşın kayma gerilmesine maruz kalarak helis kanallarından dışarı çıkması, talaş tipinin farklı olmasına neden olmaktadır. Ti-6Al-4V alaşımının farklı

kesme parametrelerinde delinmesi sonucu elde edilen talaş tipleri Şekil 4.12’de verilmiştir.



Şekil 4.12. Deney parametrelerinden elde edilen talaş örnekleri

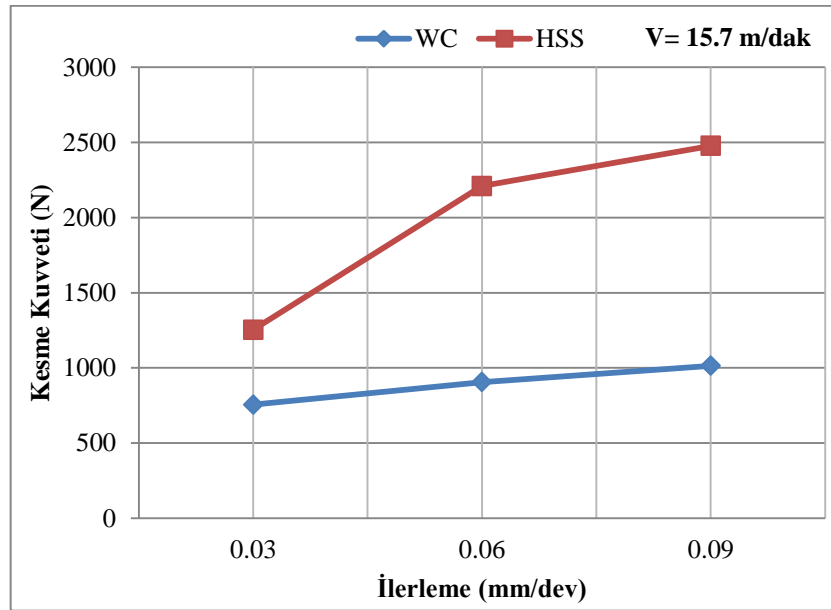
Ti-6Al-4V alaşımının düşük termal özelliğe ve yüksek mukavemet değerine sahip olması ve deneylerde kesme sıvısının kullanılmaması nedeniyle delme sonucu elde edilen talaşların farklılık gösterdiği görülmüştür.

Deneyisel çalışmada kullanılan HSS matkapların Ti-6Al-4V alaşımını yüksek kesme hızı ve ilerlemede delme yeteneğine sahip olmaması nedeniyle kesme hızı ve ilerleme oldukça düşük değerlerde seçilmiştir. Kesme hızı ve ilerlemenin düşük olmasıyla Ti-6Al-4V alaşımından ince kesitli talaşın kaldırıldığı ve oluşan talaşın büzüştüğü,

ilerlemenin artmasıyla talaş kesitinin arttığı ve buna bağlı olarak helisel talaş oluştuğu görülmüştür. Ancak, kesme hızının artması kaldırılacak talaş kesitinin daha ince oluşmasına neden olmuştur. Bunun yanı sıra, kesme hızı ve ilerlemenin artması talaşın gevrekleşmesine neden olduğu gözlemlenmiştir. En yumuşak talaş düşük kesme hızı ve ilerlemede, en sert talaş ise yüksek kesme hızı ve ilerlemede elde edilmiştir.

#### 4.3. Ti-6Al-4V Alaşımının Delinmesinde Oluşan Kuvvetler

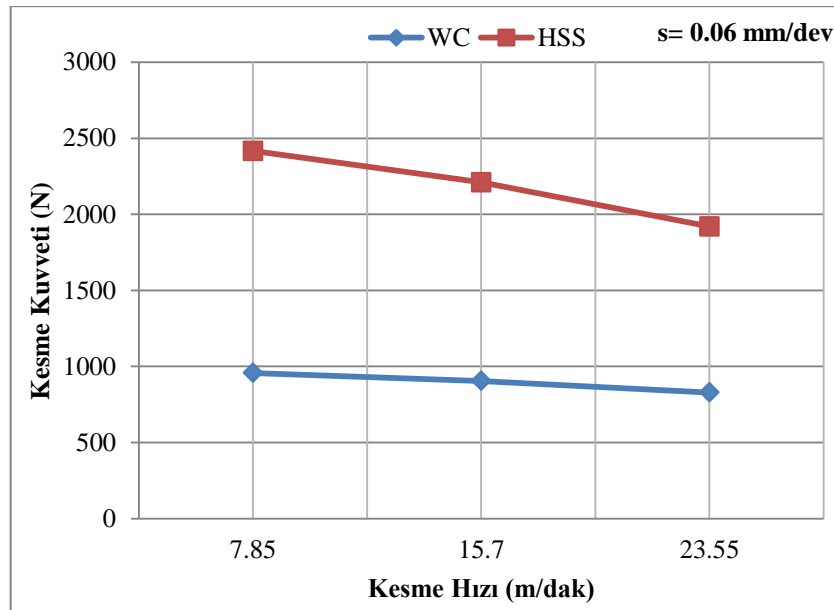
Bütün deneylerde delinen her delik için kesme kuvvetleri ayrı ayrı ölçülmüştür. Şekil 4.13'de ilerlemeye bağlı olarak kesme kuvveti değerleri gösterilmiştir. İlerleme arttıkça her iki takım da kesme kuvveti artmıştır. HSS kesici takımlarında 0.03 mm/dev ve 0.06 mm/dev arasında ilerlemeye bağlı kesme kuvveti değerleri daha belirgin artış göstermiştir.



Şekil 4.13. İlerlemenin kesme kuvveti üzerindeki etkisi

Şekil 4.14'de kesme hızına bağlı olarak kesme kuvveti değerleri gösterilmiştir. Kesme hızı arttıkça kesme kuvveti azalmıştır.

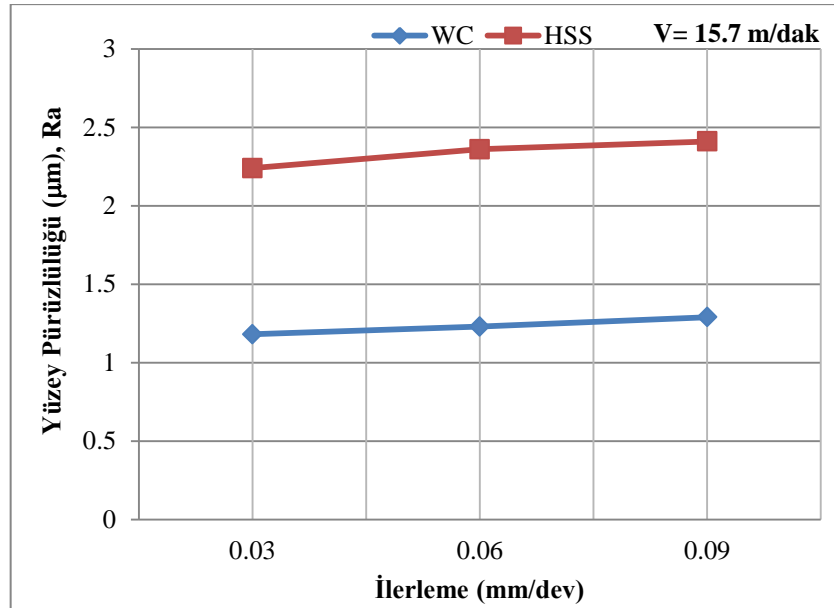
Her iki takım da ilerleme arttığında kesme kuvvetinde artış görülmüş, kesme hızı arttığında ise kesme kuvvetinin azaldığı görülmüştür. En düşük kesme kuvveti değeri, yüksek kesme hızı ve düşük ilerlemede WC kesici takımdan elde edilmiştir. En yüksek kesme kuvveti ise düşük kesme hızı ve yüksek ilerlemede HSS kesici takımdan elde edilmiştir.



Şekil 4.14. Kesme hızının kesme kuvveti üzerindeki etkisi

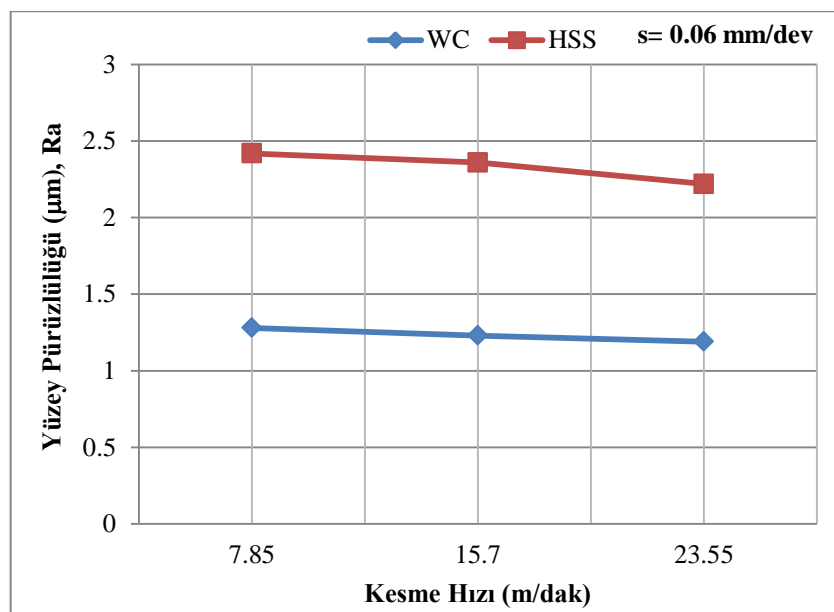
#### 4.4. Ti-6Al-4V Alaşımının Delinmesinde Oluşan Yüzey Pürüzlülüğü

Ti-6Al-4V alaşımının delinmesi sonucu oluşan yüzey pürüzlülükleri, iş parçası ölçü tamlığını ve yüzey kalitesini önemli ölçüde etkilemektedir. Delme işleminde en iyi performansın elde edilmesi amaçlandığında kesme parametrelerinin dikkatli bir şekilde seçilmesi gerekmektedir. Farklı delme şartlarında yapılan deneyler neticesinde elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'da verilmiştir. İlerleme arttıkça ortalama yüzey pürüzlülük değerinin her iki kesici takım için de arttığı görülmektedir (Şekil 4.15). İlerlemenin artmasıyla kaldırılan talaş kesitinin arttığı, delinen yerde talaşın tahliyesinin zorlaştığı ve delik içerisinde sıkışan talaşın yüzey pürüzlülüğünün artmasına sebep olduğu düşünülebilir (Arafat, 2009). Şekil 4.15'den aynı ilerleme miktarında HSS kesici takımla elde edilen yüzey pürüzlülük değerinin WC takımla elde edilen yüzey pürüzlülük değerinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun nedeni HSS ve WC matkapların sertlik değerlerindeki ve sürtünme faktörlerindeki farklılıklardan ve HSS ile yapılan delme deneylerinde talaşın takıma yapışmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 4.15. İlerlemenin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi

HSS kesici takımlarda 0.03 mm/dev ve 0.06 mm/dev arasında ilerlemeye bağlı yüzey pürüzlülüğü daha belirgin artış göstermiştir. WC kesici takımlarında ise her ilerleme değeri için yüzey pürüzlülüğü orantılı şekilde artış görülmüştür. İlerleme arttığında kesici takıma gelen kuvvetler artmaktadır. Bunun da kesici takımda titreşimlerin artmasına yol açtığı düşünülmelidir. Bu yüzden ilerleme arttıkça yüzey pürüzlülüğü artmıştır. Kesme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi Şekil 4.16'da görülmektedir.

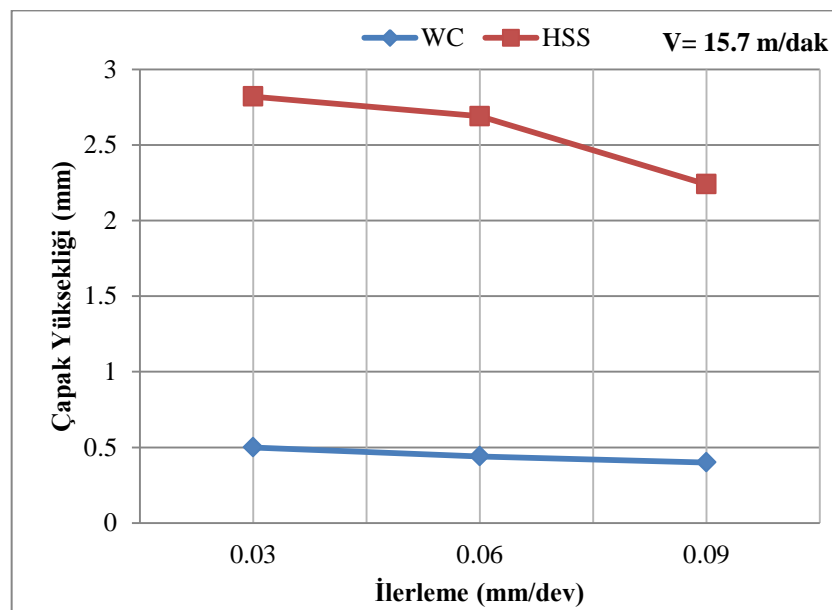


Şekil 4.16. Kesme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi

Kesme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi araştırıldığında, hem HSS hem de WC kesici takımlar için grafiğin azalan bir eğri şeklinde olduğu yani kesme hızının artması durumunda yüzey pürüzlülük değerlerinin azaldığı görülmüştür. Şekil 4.16'daki grafiğe bakıldığında kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülük değerinin hem HSS hem de WC kesici takımları için 15.70 m/dak'ya kadar orantılı bir şekilde azaldığı, 15.70 m/dak'dan sonra HSS kesici takımları için daha belirgin bir şekilde azaldığı görülmektedir. Kesme hızının artmasıyla kesici takıma gelen kuvvetler azalmaktadır. Bu durumun yüzey pürüzlülüğünü iyileşmesine neden olduğu düşünülmektedir.

#### 4.5. Ti-6Al-4V Alaşımının Delinmesinde Oluşan Çapak Yüksekliği

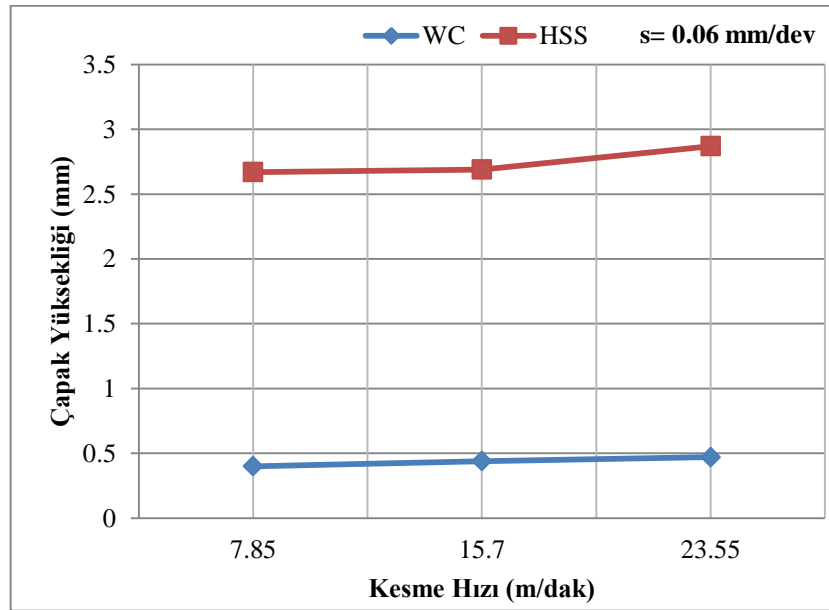
Metalik malzemelerde özellikle plastik deformasyonun sonucu olarak çapaklar meydana gelmektedir (Zhang ve ark., 2008). Kesici takım, işlenecek malzeme, kesme parametreleri ve soğutma sıvısının kullanımı çapak oluşumunu etkilemektedir (Çaydaş ve ark., 2011). Bu yüzden Ti-6Al-4V alaşımının delinmesinde ilerleme ve kesme hızının çapak yüksekliklerine etkisi Şekil 4.17 ve Şekil 4.18'de verilmiştir.



Şekil 4.17. İlerlemenin çapak yüksekliği üzerindeki etkisi

Şekil 4.17'den her iki takım malzemesi için de ilerlemenin artması ile çapak yüksekliğinin düştüğü görülmüştür. İlerlemenin artması ile çapak yüksekliğinin azalmasının nedeni takım ve iş parçası arasındaki lokal etkileşimin azalmasından ve

dolayısıyla söz konusu yerde sürtünmeden dolayı sıcaklığın azalmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

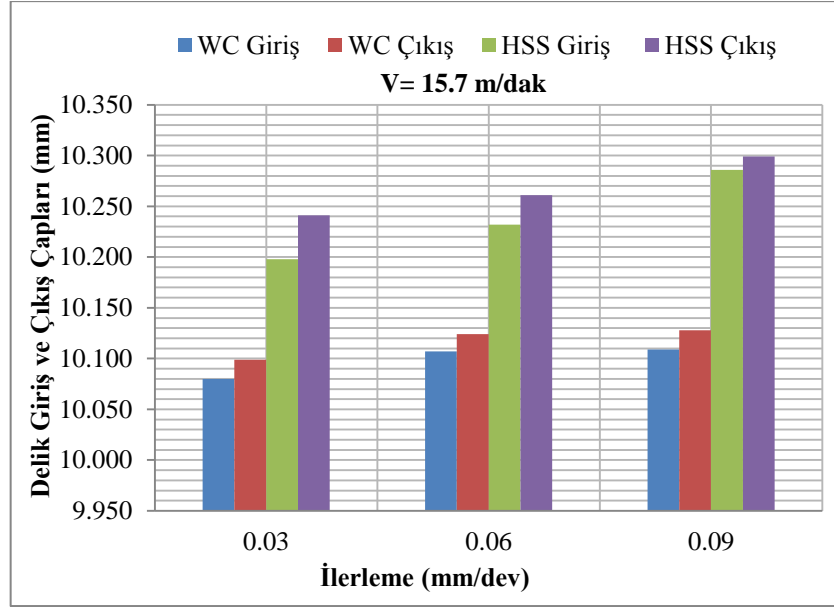


Şekil 4.18. Kesme hızının çapak yüksekliği üzerindeki etkisi

Kesme hızının çapak yüksekliği üzerindeki etkisi araştırıldığında hem HSS hem de WC kesici takımlar için grafiğin artan bir eğri şeklinde olduğu yani kesme hızının artması durumunda çapak yüksekliğinin de arttığı görülmektedir (Şekil 4.18). Kesme hızının artması ile takım ve iş parçası arasındaki etkileşim artmaktadır. Böylelikle sürtünmeden dolayı aşırı ısının oluşması söz konusudur. Aşırı sıcaklıkta delinen malzeme yumuşamaya başladığından delik çıkışında çapağın sıvanması ve buna bağlı olarak çapak yüksekliğinin arttığı düşünülmektedir.

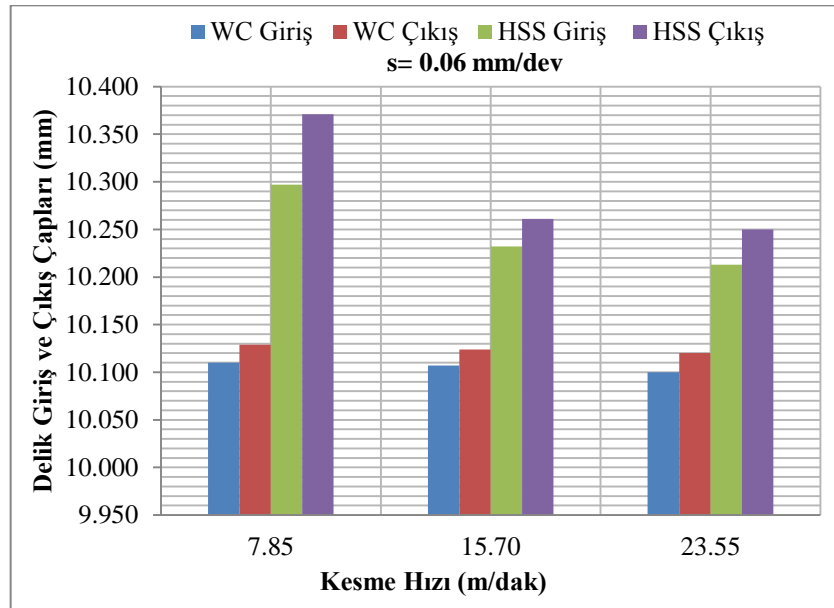
#### 4.6. Ti-6Al-4V Alaşımının Delinmesinde Oluşan Çap Sapmaları

Delik çapındaki sapma genellikle sehim, titreşim, yağlama, soğutma ve aşınma gibi etkilerin bir sonucudur. Ti-6Al-4V alaşımının delinmesinde delme parametrelerine göre ilerlemenin ve kesme hızının delik çapına etkisi incelendi. İlerlemenin delik çapı üzerindeki etkisi Şekil 4.19'da, kesme hızının delik çapı üzerindeki etkisi de Şekil 4.20'de gösterilmiştir. İlerlemenin artmasıyla çap sapması gittikçe artmıştır. Kesme hızının artmasıyla çap sapması azalmıştır. Ayrıca, Delik girişindeki sapma delik çıkışındaki sapmadan daha düşük olduğu görülmüştür.



Şekil 4.19. İlerlemenin delik çapı üzerindeki etkisi

İlerlemenin artması kesme kuvvetleri, titreşim ve sehimin artmasına neden olmakta ve bunların da delik çap sapmasının artmasına neden olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4.20. Kesme hızının delik çapı üzerindeki etkisi

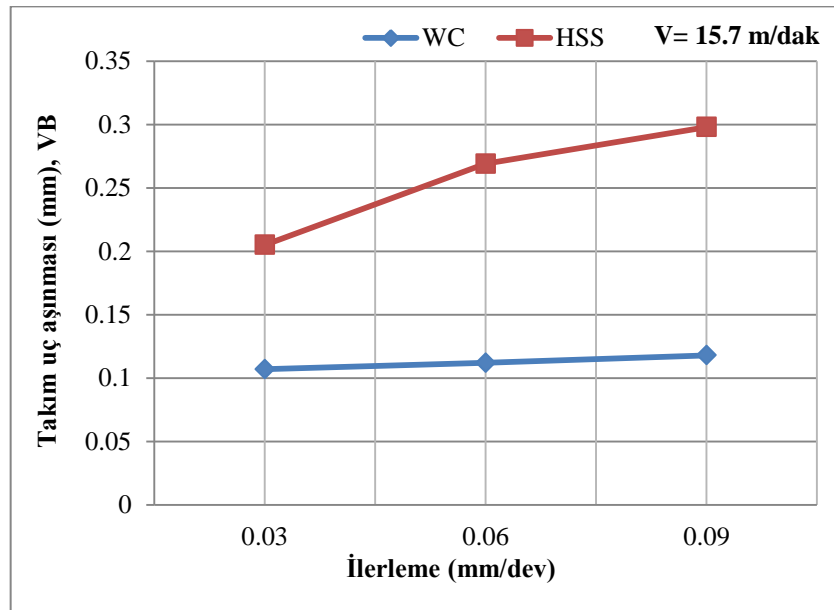
Kesme hızının artmasıyla matkaba gelen kuvvetler azalmakta ve takım daha az titreşim ve sehime maruz kalmaktadır. Bu nedenle kesme hızının artması ile delik çapındaki sapma azalmıştır. Delik girişine göre delik çıkışında daha fazla sapma



olmasının sebebi ise takımındaki aşınma ve sıcaklık artışı ile delinen malzemenin daha fazla takıma yapışmasından kaynaklandığı düşünülebilir. WC matkaplara HSS matkaplardan daha az kuvvet geldiği için WC matkaplarda delik çapındaki sapma HSS matkaplara göre daha az elde edilmiştir.

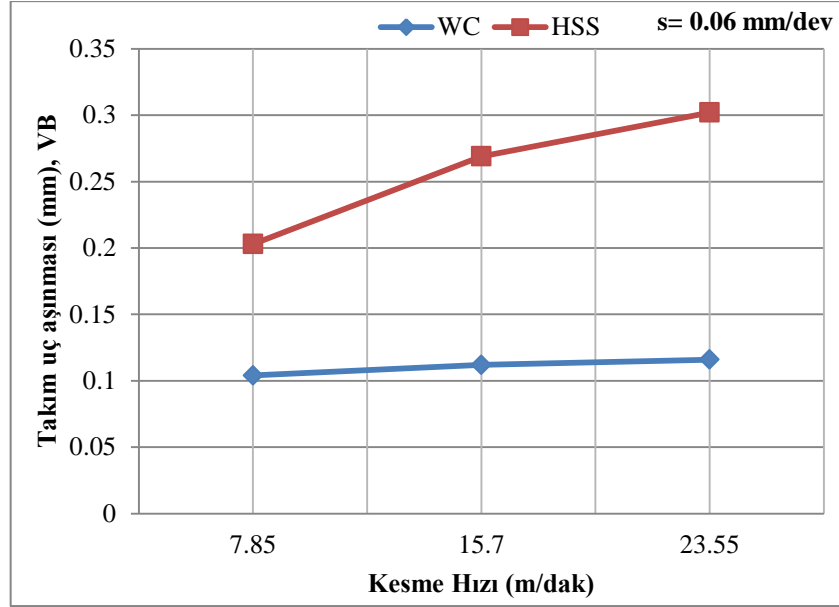
#### 4.7. Ti-6Al-4V Alaşımının Delinmesinde Oluşan Takım Aşınması

Bu bölümde Ti-6Al-4V alaşımının delinmesinde kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak HSS ve WC matkaplarda oluşan aşınma miktarları değerlendirilmiştir. Şekil 4.21’de ilerlemeye bağlı olarak takım aşınması değerleri verilmiştir. İlerleme arttıkça takım aşınmasının arttığı görülmüştür. HSS kesici takımlarında 0.03 mm/dev ve 0.06 mm/dev arasında ilerlemeye bağlı takım aşınması değerleri daha belirgin artış göstermiştir.



Şekil 4.21. İlerlemenin takım uç aşınması üzerindeki etkisi

Şekil 4.22’de kesme hızına bağlı olarak takım aşınması değerleri gösterilmiştir. Kesme hızı arttıkça takım aşınması artmıştır. HSS kesici takımlarında 7.85 m/dak ve 15.70 m/dak arasında kesme hızına bağlı takım aşınması değerleri daha belirgin artış göstermiştir.



Şekil 4.22. Kesme hızının takım uç aşınması üzerindeki etkisi

Her iki takım da ilerleme ve kesme hızı arttığında takım aşınmasında artış görülmüştür. En düşük aşınma değeri, düşük kesme hızı ve ilerleme miktarlarında WC matkapta elde edilmiştir. En yüksek aşınma değerleri ise yüksek kesme hızı ve ilerleme miktarlarında HSS matkapta elde edilmiştir.

## 5. SONUÇLAR

Deneysel çalışmalarda Ti-6Al-4V alaşımının HSS ve WC kesici takımlarla delinmesinde kesme parametrelerinin delinen yüzeye ve kesici takım üzerine etkileri esas alınmıştır. Deneysel çalışmalar neticesinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Kesme hızının artması takım ve iş parçasındaki sürtünmeyi arttırdığından ve Ti-6Al-4V malzemenin düşük termal özelliğe sahip olması, kesici takımların daha fazla ısınmasına neden olmuştur.
- Düşük kesme hızı ve ilerleme miktarında talaş formu daha düzenlidir ve sünektir. Kesme hızının ve ilerlemenin artmasıyla talaş formu sünek yapıdan daha sert ve kırılğan bir yapıya doğru değişim göstermiştir.
- Her iki takımda da ilerleme arttığında kesme kuvvetinde artış görülmüş, kesme hızı arttığında ise kesme kuvvetinin azaldığı görülmüştür. En düşük kesme kuvveti değeri, yüksek kesme hızı ve düşük ilerleme miktarlarında WC kesici takımlarında elde edilmiştir.
- İlerleme arttıkça ortalama yüzey pürüzlülük değeri artmıştır. HSS matkaplardan elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri WC matkaplarla elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinden daha yüksek olduğu görülmüştür. Kesme hızı arttıkça ortalama yüzey pürüzlülük değeri her iki kesici takım için de azalmıştır.
- İlerlemenin artmasına bağlı olarak çapak yüksekliklerinde bir düşüş görülürken kesme hızının artmasına bağlı olarak çapak yüksekliklerinde bir artış görülmüştür.
- İlerlemenin artmasıyla çap sapması gittikçe artarken kesme hızının artmasıyla çap sapması azalmıştır.
- Hem ilerlemenin hem de kesme hızının artması takım aşınmasını arttırmıştır.

## KAYNAKLAR

- Akagündüz, E., 2008, Isıl işlem görmüş Ti-6Al-4V alaşımının yüzey özelliklerinin mikro yapı ve yüzey çizilme dayanımları açısından incelenmesi, *Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*, Gebze.
- Akkurt, M., 1998, Talas kaldırma yöntemleri ve takım tezgahları, *Birsen Yayınevi*, Ankara.
- Arafat, M., 2009, CNC delme işleminde delme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü açısından optimizasyonu, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek lisans Tezi*.
- Bağcı, M., 1960, Tesviyecilik teknolojisi, *Mesleki ve Teknik Öğretim Kitapları, Milli Eğitim Bakanlığı*, Ankara, 170-175.
- Biermann, D., Hartmann, H., 2012, Reduction of burr formation in drilling using cryogenic process cooling, *45<sup>th</sup> CIRP Conference on Manufacturing System 2012*, Procedia CIRP 3: 85–90.
- Buytoz, Ö., 2010, AISI 304 paslanmaz çeliğini matkapla delme işleminde kesme parametrelerinin incelenmesi, *Fırat üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek lisans Tezi*.
- Cantero, J. L., Tardío. M. M., Canteli, J. A., Marcos, M., Miguélez, M. H., 2005, Dry drilling of alloy Ti-6Al-4V, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 45(11): 1246-1255.
- Çakar, Y., 2006, Toz enjeksiyon kalıplama ile üretilmiş Ti-6Al-4V parçalarda işlem, yapı ve özellik ilişkileri, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*.
- Çakır, M. C., 2000, Modern talaşlı imalat yöntemleri, *Vipas A.S, Bursa*, 350-390.
- Çaydaş, U., Hasçalık, A., Buytoz, Ö., Meyveci, A., 2011, Performance Evaluation of Different Twist Drills in Dry Drilling of AISI 304 Austenitic Stainless Steel, *Materials and Manufacturing Processes*, 26: 951–960.
- Feldshtein, E., 2011, The influence of machining condition on burr shapes when drilling reach-through holes in difficult-to-cut materials, *Advanced in Manufacturing Science and Technology*, 35(4): 75-83.
- Froes, F. H, Bomberger, H. B., 1985, The beta titanium alloys, *Journal of Metals*, 36(11): 55-62.
- Guu, Y. H., Deng, S., Ti-KunangHou, M., Hsu, C. H., Tseng, K. S., 2012, Optimization of machining parameters for stress concentration in micro drilling of titanium alloy”, *Materials and Manufacturing Processes*, 27: 207–213.

- İsbilir, Ö., Ghassemieh, E., 2011, Finite element analysis of drilling of titanium alloy, ICM11, *Procedia Engineering*, 10: 1877–1882.
- İçdem, C., 2007, Saf titanyum ve Ti-6Al-4V, Ti-6Al-7Nb alaşımlarının akışkan yatak ortamında termal oksidasyonu, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*.
- Kıvak, T., 2007, Inconel 718’in delinebilirliğinin araştırılması, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*.
- Kıvak, T., Şeker, U., 2012, The effect of coating materials and cutting conditions on the cutting forces in the drilling of Ti-6Al-4V alloy, *International Iron & Steel Symposium*, Karabük-Turkey, April 02–04: 855–860.
- Kıvak, T., 2012, Kesici takımlara uygulanan kriyojenik işlemin Ti-6Al-4V alaşımının delinebilirliği üzerindeki etkilerinin araştırılması, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi*.
- Komanduri, R., Reed, W.R., 1983, Evaluation of carbide grades and a new cutting geometry for machining titanium alloys”, *Wear*, 92: 113-123.
- Leyens, C., Peters, M., 2003, Titanium and titanium alloys-fundamentals and applications”, *WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA*, Almanya, 5-20.
- Li, R., 2007, Experimental and numerical analysis of high-throughout drilling of titanium alloys, PH.D. Dissertation, University of Michigan, Ann Arbor, MI.
- Li, R., Shih. A. J., 2007, Tool temperature in titanium drilling, *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 129: 740-749.
- Machado, A. R., Wallbank, J., 1990, “Machining of titanium and its alloys-a review”, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 204: 53-60.
- Minton, T., Ghani, S., Sammler, F., Bateman, R., Füstmann, P., Roeder, M., 2013, Temperature of internally-cooled diamond-coated tools for dry-cutting titanium”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 75: 27-35.
- Myers, J. R., Bomberger. H. B., Froes. F. H., 1984, Corrosion behavior and use of titanium and its alloys, *Journal of Metals* 36(10):50-60.
- Nouari, M., Makich, H., 2013, Experimental investigation on the effect of the material microstructure on tool wear when machining hard titanium alloys: Ti-6Al-4V and Ti-555, *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 41:259-269.
- Odelros, S., 2012, Tool wear in titanium machining, Uppsala Universitet, Teknisk-naturveten skaplig fakultet UTH-enheten, <http://www.teknat.uu.se/student>.

- Park, K. H., Beal, A., Kim, D., Know, P., Lantrip, J., 2011, Tool wear in drilling of composite/titanium stacks using carbide and polycrystalline diamond tools, *Wear*, 271:2826-2835.
- Pujana, J., Rivero, A., Celaya, A., López de Lacalle, L.N., 2009, Analysis of ultrasonic-assisted drilling of Ti6Al4V, *International Journal of Machine Tools &Manufacture*, 49: 500–508.
- Rahim, E. A., Sasahara, H., 2011, A study of the effect of palm oil as MQL lubricant on high speed drilling of titanium alloys, *Tribology International*, 44: 309–317.
- SenthilKumar, M., Parabukarhi, A., Krishnaraj, V., 2013, Study on tool wear and chip formation during drilling carbon fiber reinforced polymer (CFRP)/titanium alloy (Ti-6Al-4V) stacks, *Procedia Engineering*, 64: 582-592.
- Sharif, S., Abd Rahim, E., Sasahara, H., 2012, Machinability of titanium alloys, Towards Achieving Enhanced Propertiesfor Diversified Applications, ISBN: 978-953-51-0354-7, InTech, Availablefrom: <http://www.intechopen.com/books/titanium-alloystowards-achieving-enhanced-properties-for-diversified-applications/drilling-of-titanium-alloys>.
- Shyha, I. S., Soo, S.L., Aspinwall, D. K., Bradley, S., Perry, R., Harden, P., Dawson, S., 2011, Hole quality assesment following drilling of metallic-composite stacks, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 51: 569–578.
- Subaşı, M., Karataş. Ç., 2012, Titanyum ve titanyum alaşımlarında yapılan implantlar üzerine inceleme, *Politeknik Dergisi*, Cilt 15, Sayı 2: 87-103.
- T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı, *Diğer Endüstri Mineraller Çalışma Grubu Raporu*, 2, 175-186 (1996).
- Tonshoff, H.L., Spintig, W., Konig, W., Neises, A., 1994, Machining of holes developments in drilling techonlogy”, *Annals of the CIRP*, 43: 551-560.
- Usta, M., 2010, Tornalama takım tezgahlarında delik delme operasyonları sırasında ortaya çıkan kesme kuvvetleri ve ısı etkisinin araştırılması, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*.
- Wang, F., Liu, Y., Zhang, Y., Tang, Z., Ji, R., Zheng, C., 2014, Compound machining of titanium alloy by super high speed EDM milling and arc machining, *Journal of Materials Processing Technology*, 214: 531-538.
- Wong, F. R., Sharif, S., Kamdani, K., 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 2008, JohorBahru, Malaysia.
- Yağmur, S., 2011, Delik delme işlemlerinde kesme parametrelerine bağlı olarak oluşan sıcaklığın deneysel olarak incelenmesi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*.

- Yetim, A. F., 2009, Biyomalzeme olarak kullanılan AISI316L paslanmaz çelik ve Ti-6Al-4V alaşımının plazma ile nitrürleme davranışı, Ti-DLC ince film kaplama ile karşılaştırılması, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi*, Erzurum.
- Zhang, P. P., Churi, N. J., Pei, Z. J., Treadwell, C., 2008, Mechanical drilling processes for titanium alloys: A literature review, *Machining Science and Technology*, 12, 417–444.

**ÖZGEÇMİŞ****KİŞİSEL BİLGİLER**

**Adı Soyadı** : Hakan YILDIZ  
**Uyruğu** : T.C.  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : Kızıltepe / 23.03.1987  
**Telefon** : 05052982756  
**Faks** :  
**e-mail** : hakanyildiz@dsi.gov.tr

**EĞİTİM**

<b>Derece</b>	<b>Adı, İlçe, İl</b>	<b>Bitirme Yılı</b>
Lise	: Meram Konya Lisesi(Y.D.A.)	2005
Üniversite	: Mustafa Kemal Üniversitesi	2010
Yüksek Lisans	: Batman Üniversitesi	-
Doktora	: -	-

**İŞ DENEYİMLERİ**

<b>Yıl</b>	<b>Kurum</b>	<b>Görevi</b>
2011-	DSİ İLİSU PROJESİ 16.BÖLGE MÜDÜRLÜĞÜ	Makina Mühendisi

**UZMANLIK ALANI**

Konstrüksiyon ve İmalât

**YABANCI DİLLER**

İngilizce, Arapça