

**Ti6Al4V TİTANYUM ALAŞIMININ  
DELİNEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

**2015  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ**

**Nuri BIÇAKCI**

**Ti6Al4V TİTANYUM ALAŞIMININ DELİNEBİLİRLİĞİNİN  
ARAŞTIRILMASI**

**Nuri BIÇAKCI**

**Karabük Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında  
Yüksek Lisans Tezi  
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK**

**Haziran 2015**

Nuri BIÇAKCI tarafından hazırlanan “Ti6Al4V TİTANYUM ALAŞIMININ DELİNEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ .....

Tez Danışmanı, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 16/ 06/ 2015

<u>Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)</u>	<u>İmzası</u>
Başkan : Prof. Dr. Mustafa BOZ (KBÜ)	.....
Üye : Prof. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ (KBÜ)	.....
Üye : Yrd. Doç. Dr. Yakup TURGUT (GÜ)	.....

...../...../2015

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nevin AYTEMİZ .....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

*“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”*

Nuri BIÇAKCI

## **ÖZET**

**Yüksek Lisans Tezi**

### **Ti6Al4V TİTANYUM ALAŞIMININ DELİNEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Nuri BIÇAKCI**

**Karabük Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Prof. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ**

**Haziran 2015, 78 sayfa**

Bu çalışmanın amacı, titanyum alaşımlarından en çok kullanılan Ti6Al4V alaşımının, farklı özellikteki 4 tür matkapla delinerek, bu matkaplar için en uygun kesme parametrelerinin belirlenmesidir. Bu amaçla, 8 mm çapında kaplamalı HSS matkap, kaplamalı karbür matkap ile kaplamalı kısa ve uzun HSS matkap seçilmiştir. Kaplamalı HSS matkap için 3, kaplamalı karbür matkap için 4, kısa HSS matkap için 5 ve uzun HSS matkap için 4 delme operasyonu, en uygun kesme parametreleri ve delik sayıları belirlenerek, CNC takım tezgahında delme işlemi uygulanmıştır. Delik çapları ile eş eksenlilikten, diklikten ve dairesellikten sapma değerleri ölçülmüştür. Takımlardaki takım aşınma görüntüleri dijital mikroskop ile elde edilmiş, elde edilen bu bilgiler ışığında her tip takım için en uygun kesme parametreleri belirlenmiştir. Deneysel bulguların değerlendirilmesi sonucunda Ti6Al4V titanyum alaşımının delinmesinde kaplamalı karbür matkabın en iyi sonuç verdiği sonucuna varılmıştır. Ayrıca aynı kesme parametresinde kısa ve uzun HSS matkaplardaki takım aşınması,

delik çapı ve geometrik tolerans lem sonuçları ile termal kamera görüntüleri değerlendirildiğinde; takım aşınması ve takım ucunda oluşan sıcaklık değerinin uzun HSS matkapta daha düşük olduğu; delik çapı hassasiyetinin ise kısa matkapta daha iyi olduğu görülmüştür.

**Anahtar Sözcükler :** Ti6Al4V, delme, takım aşınması, delik çapı, geometrik tolerans.

**Bilim Kodu :** 708.3.028

## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **INVESTIGATION OF THE DRILLABILITY OF Ti6Al4V TITANIUM ALLOY**

**Nuri BIÇAKCI**

**Karabük University**

**Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**Department of Manufacturing Engineering**

**Thesis Advisor:**

**Prof Dr. İbrahim ÇİFTÇİ**

**June 2015, 78 pages**

The aim of this study is to determine the most appropriate cutting parameters for the most widely used Titanium alloy, which is Ti6Al4V, by drilling with four different types of drills. Coated carbide drill, coated short and long HSS drill and 8 mm diameter coated HSS drill have been chosen for this purpose. Determining the most appropriate cutting parameters and the number of holes, drilling process was conducted at a CNC machine tool. For the coated HSS drill 3, for coated carbide drill and long HSS drill 4 and for the short HSS drill 5 drilling operations were done. By the help of the hole diameters and concentricity; perpendicularity and cyclicity, the offset values have been obtained. The images of the wears on tools have been obtained with a digital microscope and considering all these information the most appropriate cutting parameters for all types of tool have been identified. Taking into account the results of the experiments, it is concluded that coated carbide drill gives the best results to drill Ti6Al4V titanium alloy. Moreover, considering the tool wear

on the short and long HSS drills, hole diameter and geometric tolerance measurement results and the thermal camera footages; it can be seen that the long HSS drill has less tool wear and tool tip temperature for the same cutting parameters and short drill has better precision for hole diameter.

**Key Words** : Ti6Al4V, drilling, tool wear, hole diameter, geometric tolerance.

**Scientific Code** : 708.3.028



## TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütölmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle alıőmamı bilimsel temeller ışığında őekillendiren sayın hocam Prof. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ'ye sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Araőtırmanın deneysel çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen TÜBİTAK-SAGE Mekanik Üretim Altyapısı alıőanlarından Mehmet AYTASŐ, Boyutsal Ölçüm ve Kontrol Altyapı Sorumlusu Uğur IŞIK ile değerli arkadaşlarım Mustafa BAŐALTIN ve Yunus AYDIN'a teőekkürü bir borç bilirim.

Son olarak maddi-manevi her konuda bana destek olan sevgili eőime sevgi ve őükranlarımı sunarım.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL .....	ii
ÖZET .....	iv
ABSTRACT .....	vi
TEŞEKKÜR .....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xv
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2 .....	3
TİTANYUMUN GENEL ÖZELLİKLERİ .....	3
2.1. TİTANYUM ALAŞIMLARININ YAPISI VE FAZ YAPILARINA GÖRE TÜRLERİ .....	4
2.1.1. $\alpha$ -Alaşımları .....	4
2.1.2. $\beta$ -Alaşımları .....	5
2.1.3. $\alpha$ - $\beta$ Alaşımları .....	5
2.2. TİTANYUM VE TİTANYUM ALAŞIMLARININ KULLANIM ALANLARI.....	6
2.2.1. Havacılık Uygulamaları .....	7
2.2.2. Biyomedikal Uygulamaları.....	7
2.2.3. Otomotiv Uygulamaları.....	8
BÖLÜM 3 .....	9
DELİK DELME .....	9
3.1. DELİK DELME İŞLEMİ.....	9
3.2. TEMEL TANIMLAR .....	11

	<b><u>Sayfa</u></b>
3.3. DELME İŞLEMİNDE KESME KUVVETLERİ VE GÜÇ .....	12
3.4. DELİK DELME TAKIMLARI VE SINIFLANDIRILMASI .....	13
3.4.1. Matkapta Uç Açıları .....	16
3.4.2. Değiştirilebilir Uçlu Matkaplar .....	17
3.5. TALAŞ OLUŞUMU .....	18
3.6. DELME İŞLEMİNDE TAKIM AŞINMASI .....	21
BÖLÜM 4 .....	24
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI .....	24
4.1. LİTERATÜR ARAŞTIRMASININ DEĞERLENDİRİLMESİ .....	29
BÖLÜM 5 .....	30
MALZEME VE METOT .....	30
5.1. DENEYLERDE KULLANILAN MALZEME .....	30
5.2. DENEYLERDE KULLANILAN TAKIM TEZGAHI VE ÖLÇÜ CİHAZLARI .....	31
5.3. DENEYLERDE KULLANILAN KESİCİ TAKIMLAR .....	33
5.4. DENEYLERDE KULLANILAN KESME PARAMETRELERİ .....	35
5.5. DELİK ÇAPLARI VE GEOMETRİK TOLERANS KONTROLÜ .....	37
5.6. DENEYLERDE KULLANILAN KESME SIVISI .....	38
BÖLÜM 6 .....	39
DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ .....	39
6.1. DELİK ÇAPI, GEOMETRİK TOLERANS VE TAKIM AŞINMASININ DEĞERLENDİRİLMESİ .....	39
6.1.1. Kaplamalı HSS Takımın Değerlendirilmesi .....	39
6.1.2. Kaplamalı Karbür Takımın Değerlendirilmesi .....	41
6.1.3. Kaplamasız Kısa HSS Takımın Değerlendirilmesi .....	45
6.1.4. Kaplamasız Uzun HSS Takımın Değerlendirilmesi .....	48
6.2. KISA VE UZUN HSS MATKAPLARIN AYNI KESME PARAMETRELERİNDE DEĞERLENDİRİLMESİ .....	50

	<b><u>Sayfa</u></b>
BÖLÜM 7 .....	55
SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	55
7.1. SONUÇLAR .....	55
7.2. ÖNERİLER.....	56
KAYNAKLAR.....	58
EK AÇIKLAMALAR A. KAPLAMALI HSS MATKAP DELİK DELME DENEY SONUÇLARI .....	62
EK AÇIKLAMALAR B. KAPLAMALI KARBÜR MATKAP DELİK DELME DENEY SONUÇLARI .....	65
EK AÇIKLAMALAR C. KAPLAMASIZ KISA HSS MATKAP DELİK DELME DENEY SONUÇLARI .....	70
EK AÇIKLAMALAR D. KAPLAMASIZ UZUN HSS MATKAP DELİK DELME DENEY SONUÇLARI .....	74
ÖZGEÇMİŞ.....	78

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 1.1. Bazı popüler malzemelerin işlenebilirlik değerlendirmesinin karşılaştırılması.....	1
Şekil 2.1. Titanyumun belirli sıcaklıkta allotropik dönüşüm şeması.....	4
Şekil 3.1. Delik delme işlemi .....	9
Şekil 3.2. Delik delme işlemleri .....	10
Şekil 3.3. Kesme hızı, matkabın dönme hızı ve devir başına ilerleme hızı faktörleri.....	11
Şekil 3.4. Matkabın ilerleme kuvveti ve tork .....	13
Şekil 3.5. Çeşitli matkap tipleri .....	14
Şekil 3.6. Matkabın uç yapısı ile uç ve uç kenar açısı .....	16
Şekil 3.7. Matkapta boşluk ve talaş açısı .....	17
Şekil 3.8. Değiştirilebilir karbür uçlu matkaplar .....	18
Şekil 3.9. Matkabın çevresinde aşırı kesme hızı .....	19
Şekil 3.10. Talaş oluşumuna etki eden faktörler .....	20
Şekil 3.11. Kesici kenarın talaş kaldırması .....	20
Şekil 3.12. Matkapta meydana gelen aşınma tipleri .....	22
Şekil 3.13. Serbest yüzeyde oluşan aşınmanın şematik olarak gösterilmesi.....	23
Şekil 5.1. Malzeme ölçüleri.....	30
Şekil 5.2. Dino-lite digital mikroskop .....	32
Şekil 5.3. Fluke Ti25 termal kamera.....	33
Şekil 5.4. MTE marka kaplamasız HSS matkaplar .....	34
Şekil 5.5. Nachi marka kaplamalı HSS matkap.....	34
Şekil 5.6. KennaMetal marka kaplamalı karbür matkap.....	35
Şekil 5.7. Delik grupları .....	36
Şekil 5.8. İş parçası üzerinde deliklerin konumu ve ölçüleri .....	37
Şekil 5.9. Alt ve üst çap ile dairesellikten sapma kontrolü .....	38
Şekil 6.1. Kaplamalı HSS ile delinen deliklerin ortalama üst ve alt delik çapları....	41
Şekil 6.2. Kaplamalı HSS ile delinen deliklerin ortalama aksenal sapma, diklikten sapma ve dairesellikten sapma değerleri.....	41

Şekil 6.3. Kaplamalı karbür ile delinen deliklerin ortalama üst ve alt delik çapları.....	44
Şekil 6.4. Kaplamalı karbür ile delinen deliklerin ortalama aksenal sapma, diklikten sapma ve dairesellikten sapma değerleri .....	44
Şekil 6.5. Kaplamasız kısa HSS ile delinen deliklerin ortalama üst ve alt delik çapları.....	47
Şekil 6.6. Kaplamasız kısa HSS ile delinen deliklerin ortalama aksenal sapma, diklikten sapma ve dairesellikten sapma değerleri .....	47
Şekil 6.7. Kaplamasız kısa HSS ile delinen deliklerin ortalama üst ve alt delik çapları.....	49
Şekil 6.8. Kaplamasız kısa HSS ile delinen deliklerin ortalama aksenal sapma, diklikten sapma ve dairesellikten sapma değerleri .....	50
Şekil 6.9. 9 ve 14 numaralı deneylerde kullanılan kaplamasız kısa ve uzun HSS matkapların aşınma görüntüleri.....	51
Şekil 6.11. 9 ve 14 numaralı deneylerde kullanılan kaplamasız kısa ve uzun HSS matkaplarda delme işlemi sonrası oluşan sıcaklık değerleri .....	51
Şekil 6.13. 9 ve 14 numaralı deneylerde kullanılan kaplamasız kısa ve uzun HSS matkaplarda kesme sıvısız delme işlemi sonrası oluşan sıcaklık değerleri .....	52
Şekil 6.10. 10 ve 15 numaralı deneylerde kullanılan kaplamasız kısa ve uzun HSS matkapların aşınma görüntüleri.....	53
Şekil 6.12. 10 ve 15 numaralı deneylerde kullanılan kaplamasız kısa ve uzun HSS matkaplarda delme işlemi sonrası oluşan sıcaklık değerleri .....	53
Şekil 6.14. 10 ve 15 numaralı deneylerde kullanılan kaplamasız kısa ve uzun HSS matkaplarda kesme sıvısız delme işlemi sonrası oluşan sıcaklık değerleri .....	54
Şekil EK A.1. Kaplamasız HSS matkap takım aşınması görüntüleri .....	64
Şekil EK B.1. Kaplamalı karbür matkap takım aşınması görüntüleri .....	69
Şekil EK C.1. Kaplamasız kısa HSS matkap takım aşınması görüntüleri .....	73
Şekil EK D.1. Kaplamasız uzun HSS matkap takım aşınması görüntüleri.....	77

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

Çizelge 2.1. Seçilen bazı metallerle titanyumun fiziksel özelliklerinin karşılaştırılması .....	3
Çizelge 2.2. Titanyum $\beta$ -alaşımlarının avantaj ve dezavantajları .....	5
Çizelge 3.1. Helis adımlarına göre matkap çeşitleri ve kullanıldığı yerler .....	15
Çizelge 5.1. Deney numunesinin (Ti6Al4V) kimyasal.....	31
Çizelge 5.2. Deney numunesinin (Ti6Al4V) mekanik özellikleri.....	31
Çizelge 5.3. Deneylerde kullanılan tezgahın teknik özellikleri.....	32
Çizelge 5.4. Ölçümlerde kullanılan CMM cihazının teknik özellikleri.....	32
Çizelge 5.5. Dino-lite dijital mikroskobun genel özellikleri.....	33
Çizelge 5.6. Fluke Ti25 termal kamera genel özellikleri.....	33
Çizelge 5.7. Deneylerde kullanılan kesme parametreleri .....	36
Çizelge EK A.1. Kaplamalı HSS matkap ölçüm sonuçları.....	63
Çizelge EK B.1. Kaplamalı karbür matkap ölçüm sonuçları.....	66
Çizelge EK C.1. Kaplamasız kısa HSS matkap ölçüm sonuçları.....	71
Çizelge EK D.1. Kaplamasız uzun HSS matkap ölçüm sonuçları.....	75

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

- d : takım çapı  
€ : avro  
fn : bir ağza karşılık gelen ilerleme  
Ft : ilerleme kuvveti  
h1 : verilen talaş kalınlığı  
h2 : deformasyona uğramış talaş kalınlığı  
kc : özgül kesme kuvveti  
n : devir sayısı  
P : çevresel kesme hızı  
Vc : kesme hızı  
Vf : ilerleme hızı  
Vb : serbest yüzey aşınma genişliği  
z : ağız sayısı  
φ : matkap uç açısı  
α : matkap boşluk açısı  
W : dış köşe aşınması  
Vb : serbest yüzey aşınması  
Mw : kenar aşınması  
Km : krater aşınması  
Ct : kesici kenar aşınması  
Pt : kesme-talaş kırığı



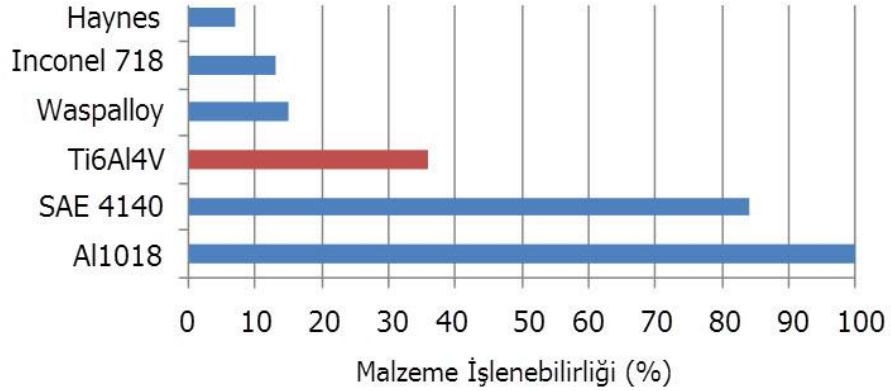
## **KISALTMALAR**

- CBN : Kübik Bor Nitrür
- CMM : Coordinate Measuring Macnines (Koordinat lme Cihazı)
- CNC : Computer Numerical Control (Bilgisayarlı Sayısal Kontrol)
- HSS : High Speed Stell (Yüksek Hız eliği)
- MTE : Makine Takım Endüstrisi
- SEM : Scanning Electron Microscope (Tarama Elektron Mikroskopu)
- TiAlN : Titanyum Alüminyum Nitrit
- TiN : Titanyum Nitrit
- PVD : Physical Vapour Deposition (Fiziksel Buhar keltme)

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Titanyum alaşımları havacılık ve biyomedikal endüstrisinde olağanüstü güç-ağırlık oranı ve üstün korozyon direnci nedeniyle kullanılmaktadır. Titanyum miktarının gelecek nesil uçakların yapısında kullanımının %7'den %15'e artacağı öngörülmektedir. Bu nedenle işlenmiş titanyum parçalar, büyüyen bir pazar olarak algılanmaktadır. İşleme, maliyeti etkileyen önemli bir faktördür. Havacılık sektöründe son yıllarda ana odak alüminyum alaşımlarının yüksek performanslı işlenmesi olmuştur. Titanyum ile alüminyum alaşımlarının işlenebilirlikleri arasında anlamlı bir fark vardır. Şekil 1.1'de titanyum alaşımı (Ti6Al4V) ile diğer bazı malzemelerin işlenebilirlikleri görülmektedir. Titanyum alaşımları çoğunlukla işlenebilirliği zor malzemeler olarak bilinmektedir [1].



Şekil 1.1. Bazı popüler malzemelerin işlenebilirlik değerlendirmesinin karşılaştırılması [1].

Bugün bilinen periyodik sistemin tüm 112 kimyasal elementleri arasında %85'i metal veya metale benzer cisimlerden (metaloidler) oluşmaktadır. Bu tür demir veya demir dışı metalleri külçe veya sinterlenmiş metaller, hafif veya ağır metaller gibi sınıflandırmak mümkündür. Titanyum bir demir dışı ve hafif metal olarak

sınıflandırılır [2]. 1950'li yılların başında geliştirilen Ti6Al4V ve Ti5Al2.5Sn piyasada en çok kullanılan titanyum alaşımlarıdır. Bu iki alaşım kullanılan tüm titanyum alaşımlarının yarısından daha fazla kullanılır [3].  $\alpha+\beta$  alaşım grubu içerisinde yer alan Ti6Al4V yüksek özgül mukavemeti, yüksek biyouyumluluğu ve iyi korozyon özelliğinden dolayı uygulamalarda en çok kullanılan titanyum alaşımıdır [2].

Bunca üstün özelliğine rağmen Ti6Al4V işlenebilirliği en zor titanyum alaşımlarından biridir. Ti6Al4V titanyum alaşımının savunma, havacılık ve sağlık sektörlerinde giderek artan kullanım alanlarından dolayı üretim ve takım maliyetlerinin minimize edilmesi giderek önem kazanmaktadır. Bu çalışmada Ti6Al4V malzemesinin yüksek hız çeliği ve kaplamalı karbür matkaplarla delinmesinde uygun kesme parametrelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

## BÖLÜM 2

### TİTANYUMUN GENEL ÖZELLİKLERİ

Titanyum yeryüzünün yapısında en çok rastlanan metallere biridir. Kuzey Amerika'da çok miktarda titanyum filizi ticari işletmelerde mevcuttur. Saf titanyum yaklaşık olarak 1670 °C'de eriyen ve 3260 °C'de kaynayan gümüş renkli bir metaldir. Titanyumun düşük özgül ağırlığı (4,51 g/cm<sup>3</sup>), mükemmel korozyon dayanımı ve yüksek kuvvet/kütle oranı onun kimyasal, uzay, denizcilik ve tıbbi alanlarda çok geniş kullanım alanı bulmasına neden olur. Titanyum, petrokimya endüstrisinde ve spor aletlerinin imalatında da son yıllarda kullanılmaktadır. Dünyada birçok ülke bu malzemenin önemini farkında olduğu için araştırma, geliştirme ve uygulamaya yönelik çalışmaları desteklemektedir. Titanyum, hem mühendislik uygulamalarında hem de diş ve medikal uygulamalarında ilgi duyulan özel bir malzemedir [2,4].

Çizelge 2.1. Seçilen bazı metallere titanyumun fiziksel özelliklerinin karşılaştırılması [5].

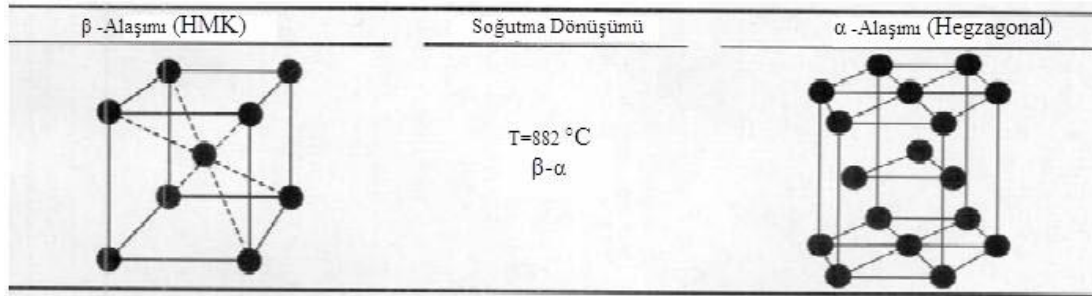
	Ti	Al	Fe	Ni
Yoğunluk [g/cm <sup>3</sup> ]	4.5	2.7	7.9	8.9
Erime Noktası [°C]	1670	660	1538	1455
Termal İletkenlik [W/mK]	15-22	221-247	68-80	72-92
Elastik Modül [Gpa]	115	72	215	200
Oksijen İle Reaktiflik	çok yüksek	yüksek	düşük	düşük
Korozyon Direnci	çok yüksek	yüksek	düşük	orta
Malzeme Fiyatı	çok yüksek	orta	düşük	yüksek

Titanyum ilk olarak maden bilimci ve kimyacı olan William Gregor tarafından 1791 yılında keşfedilmiştir. Dört yıl sonra, Martin Klaproth, Yunan çocuk mitolojisindeki Titans'ların hikayesine dayanarak bulunan bu elemente Titanyum adını vermiştir.

Titanyum oksitten titanyum metalini elde etmek için yüzyıldan daha fazla bir süre kullanılmıştır. Titanyumun ilk alaşımları 1940'ların sonunda geliştirilmiştir. Ti6Al4V alaşımı piyasada bulunan titanyum alaşımları arasında en yaygın kullanılanıdır. Bundan dolayı son altmış yıldır Ti6Al4V alaşımının özelliklerinin geliştirilmesi için çok fazla çalışma yapılmıştır [1].

## 2.1. TİTANYUM ALAŞIMLARININ YAPISI VE FAZ YAPILARINA GÖRE TÜRLERİ

Saf titanyum, düşük sıcaklıklarda altıgen yapılı  $\alpha$ -fazında iken  $882\pm 2$  °C'nin üstünde hacim merkezli kübik yapılı  $\beta$ -fazına dönüşen allotropik bir elementtir. Bu sıcaklık  $\beta$ -fazına dönüşüm sıcaklığı adını almaktadır. Oksijen, azot ve karbon gibi  $\alpha$  fazını kararlı kılan elementlerin etkisiyle bu sıcaklık yükselirken, metal kalıntıları veya alaşım elementlerinin etkisiyle düşmekte veya yükselebilmektedir [5,6].



Şekil 2.1. Titanyumun belirli sıcaklıkta allotropik dönüşüm şeması [5].

Titanyum alaşımları,  $\alpha$ ,  $\alpha+\beta$  alaşımları ve  $\beta$  alaşımları olmak üzere başlıca üç grupta toplanmaktadır.  $\alpha$  alaşımlarının tüm yapısını  $\alpha$  fazı oluştururken,  $\beta$  alaşımlarının yapısında büyük ölçüde  $\beta$  fazı bulunmaktadır ve bu yapıya çözünme sıcaklığından itibaren soğutulmuş olarak ulaşılabilir.  $\alpha+\beta$  alaşımları ise oda sıcaklığında hem  $\alpha$  hem de  $\beta$  fazını içermektedir [7].

### 2.1.1. $\alpha$ -Alaşımları

Alüminyum, kalay ve 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 arayer atomu içeren  $\alpha$  alaşımları, sünekliğini ve tokluğunu çok düşük sıcaklıklarda dahi sürdürmektedir [6].

$\alpha$  alaşımları  $\alpha+\beta$  alaşımları ve  $\beta$  alaşımlarının aksine kararlı  $\alpha$  fazına sahip olduklarından ısıtılma işlemi ile sertleştirilememektedir. Ancak, soğuk bir işlem sonrası oluşan kalıntı gerilmeleri yok etmek için yeniden kristalleşme tavlama veya sadece tavlama işlemi yapılabilmektedir. Dövülme kabiliyetleri çok düşüktür ve dövme sıcaklığı aralığı  $\alpha+\beta$  alaşımları veya  $\beta$  alaşımlarından daha dardır. Dövme sırasında oluşan yüzey çatlakları veya merkezde kırılmalar bunu açıkça göstermektedir. Böyle bir oluşumu önlemek için de dövme işleminde deformasyon miktarının daha küçük seçilmesi ve malzemenin sık sık ısıtılması gerekmektedir [7].

### 2.1.2. $\beta$ -Alaşımları

Bu alaşımlar önemli miktarlarda  $\beta$  fazını kararlaştırıcı alaşım elementleri içeren malzemelerdir ve sertleştirilebilirlik, dövülebilirlik, soğuk şekillendirilebilirlik ve yüksek yoğunluk gibi özellikleriyle diğer titanyum alaşımlarından ayırt edilebilmektedir. Bu alaşımlar oda sıcaklığında  $\alpha+\beta$  alaşımları ile eş mukavemet değerlerine sahip iken yüksek sıcaklıklarda bu değerler  $\alpha+\beta$  alaşımlarından sonra gelmektedir [8].

Yüksek sertlikleri, mukavemetleri, soğuk şekillendirilebilirlikleri ve yüksek korozyon dirençleri bu alaşımların genel özellikleridir.  $\beta$  alaşımlar yüksek dayanım gerektiren uçak parçaları, yaylar, boru ve tüketici ürünlerinde kullanılmaktadır [9].

Çizelge 2.2 Titanyum  $\beta$ -alaşımlarının avantaj ve dezavantajları [2].

#### Avantajları

- Yüksek dayanım/ ağırlık oranı
- Yüksek dayanım/ yüksek tokluk
- Yüksek yorulma dayanımı
- Düşük dövme sıcaklıkları
- Soğuk şekillendirilebilirlik
- Kolay ısıtılma işlemi uygulanabilirlik
- Mükemmel yanma dayanımı

#### Dezavantajları

- Yüksek yoğunluk
- Düşük sıcaklık özelliklerinin zayıf olması
- Yüksek formülasyon maliyeti
- Düşük korozyon direnci
- Mikroyapısal kararsızlık

$\alpha+\beta$  titanyum alaşımları, oda sıcaklığında %10 ve %50 arasında  $\beta$  fazı içeren,  $\alpha$  ve  $\beta$  fazlarının karışımıyla desteklenen kompozisyona sahiptirler. En genel  $\alpha+\beta$  alaşımı Ti6Al4V'dur. Bu özel alaşımı oluşturmak oldukça zor olmasına rağmen (hatta tavlama koşulunda dahi),  $\alpha+\beta$  alaşımları genel olarak iyi işlenebilmektedirler. Bu alaşımın özellikleri mevcut  $\beta$  faz tipi ve miktarını ayarlamak için kullanılan ısıl işlemele kontrol edilebilir. 480 °C'den 650 °C'ye yaşlandırmayla izlenen çözelti işlemi,  $\alpha$ 'yı çökeltir, dönüşmüş  $\beta$  fazı veya kalan matris içinde  $\beta$  ve  $\alpha$ 'nın karışımı olarak sonuçlanır [3].

Ti6Al4V alaşımı toplam titanyum üretiminin %50'inden fazlasını oluşturmaktadır. Bu alaşımlardan yüksek mukavemet değerleri elde etmek için ısıl işlem uygulanabilmektedir. Bu yüzden  $\alpha+\beta$  alaşımları 350-400 °C arasındaki sıcaklıklarda ve özellikle yüksek mukavemet gerektiren uygulamalarda kullanılabilir. Diğer yaygın kullanıma sahip  $\alpha+\beta$  alaşımları ise; yüksek mukavemet amaçlı geliştirilmiş Ti6Al6V2Sn, yüksek mukavemet ve yüksek tokluğa sahip Ti6Al2Sn4Zr6Mo, gaz tirbün motorlarında 400 °C'a kadar olan sıcaklıklarda kullanılmak için geliştirilmiş Ti6Al2Sn2Zr2Mo2Cr alaşımlarıdır [10].

## **2.2. TİTANYUM VE TİTANYUM ALAŞIMLARININ KULLANIM ALANLARI**

Titanyum ve alaşımlarının; kimyasal, endüstriyel, denizcilik ve uzay ile ilgili uygulamaların geniş bir yelpazesinde üstün, oldukça güvenilir ve ekonomik olduğu teknik açıdan kanıtlanmıştır. Geleneksel olarak titanyum kullanımı; uzay, uçak ve deniz sanayisi alanlarında yoğunlaşmıştır. Metalin kuvvetli ve rijit yapısı, düşük özgül ağırlığı ve hafif oluşu, yüksek sıcaklıklarda dayanıklılığı ve korozyona karşı direnci, kullanımın bu özel alanlarda yaygınlaşmasına neden olmuştur. Son otuz yılda metalin yeni işleme yöntemlerinin gelişimine paralel olarak biyomedikal aparatlardaki ve dental implantlardaki kullanımı artmaktadır. Son yıllarda titanyum ve alaşımlarının, medikal ve dental uygulamalarda ciddi bir artış görölmektedir [11].

### **2.2.1. Havacılık Uygulamaları**

Titanyum kullanımı ilk olarak uçak ve uzay endüstrileriyle başlarken zamanla, söz konusu üstün özellikleri nedeniyle birçok alana yayılmaya başlamıştır. Hafifliği ve yüksek mukavemeti nedeniyle havacılık uygulamalarında kendine yer bulmuştur. Titanyumun havacılık sanayinde yaygın kullanımının sebepleri:

- Hafiflik
- Çalışma sıcaklığı
- Korozyon direnci
- Hacim sınırlaması
- Polimer matrisli kompozitlerle galvanik uygunluk

Günümüz otomobil sanayi ürettiği bir aracın ağırlığındaki bir kilogramlık hafifletme için 10 € maliyeti tolere edebilirken, havacılıkta bu rakam atılan her bir kilogram fazla ağırlık için 1000 €'a çıkmaktadır. Eğer üretim çok daha ileri teknoloji gerektiren uzay faaliyetleri ile ilgili ise bu rakam 10000 € civarına yükselmektedir. Bu durum titanyumun diğer üstün özellikleri dışında sadece düşük yoğunluğu sayesinde kendisine havacılık sanayinde önemli bir pazar yakaladığını açıklayan önemli bir örnektir [2].

### **2.2.2. Biyomedikal Uygulamaları**

Titanyum oksijenle çok çabuk reaksiyona girdiği için yüzeyinde daima koruyucu bir titanyum dioksit tabakası görülür. Bu sayede korozyona karşı yüksek direnç gösterir, dolayısıyla doku uyumu en iyi olan metaldir. Günümüzde metal alerjisinin korozyon kaynaklı olduğu kanıtlanmıştır. Titanyum korozyona karşı dirençli olduğu için metal alerjisi olan hastalarda kullanılabilir. Titanyum alaşımları mikro cerrahinin hassasiyetine uygundur. Havacılık ve uzay sanayisinin ihtiyaçları ile gelişmiş olan titanyum, mikro cerrahi alanında vazgeçilmez hale gelmiştir. Yine çok önemli bir özellik olarak titanyumun bazı alaşımları aşınmaya dayanıklıdır ve uzun ömürlüdür. Korozyona karşı çok yüksek dayanıma sahiptir. Titanyum alaşımlarının yorulma



dayanımı da diğer metallerin yorulma dayanımlarına göre önemli ölçüde üstündür. Son yıllarda en çok kullanılan metal implant titanyumdur [13].

Titanyum ve alaşımlarının biyomedikal alanda kullanımlarını sağlayan faktörler şunlardır :

- Mekanik dayanıklılığın uygun olması
- Titanyum alaşımlarının yüzeyinde havadaki oksijenden dolayı meydana gelen oksit tabakasının bu malzemenin fizyolojik çevrede kararlı kalmasını sağlaması
- Bu oksit tabakasının vücut içinde titanyumu korozyona karşı dirençli kılması
- Titanyumun diğer benzer pasif olmayan metallerle kaplanabilir olması ve vücutta galvanik akıma neden olmaması
- Titanyum alaşımlarının elastik modülünün diğer implant malzemelerine göre kemiğe daha yakın olması
- Biyolojik olarak uyumlu olması [12].

### **2.2.3. Otomotiv Uygulamaları**

Yakıt tasarrufu sağlayan ve çevreye daha az zarar veren araçlara olan talebin artması, araçların ağırlığının hafiflemesi ve performansın artırılmasını gerektirmiştir. Bu noktada yüksek korozyon direnci ve dayanıma sahip titanyum alaşımları başlıca tercih maddesi olmuştur. Ancak titanyumun maliyeti artırması, 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 sınırlandırmıştır [14].

## BÖLÜM 3

### DELİK DELME

#### 3.1. DELİK DELME İŞLEMİ

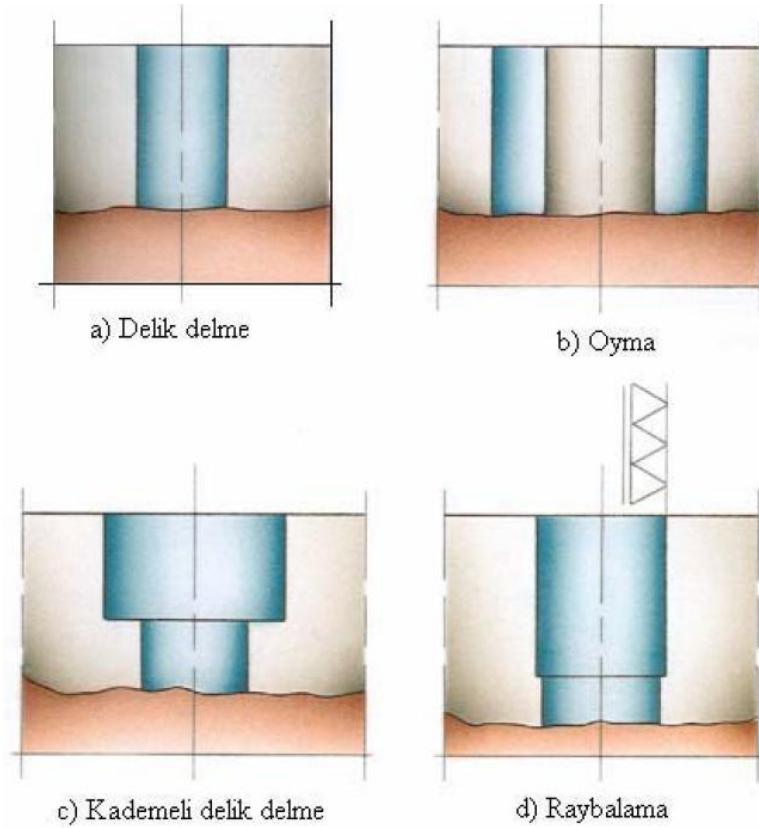
Delik delme, metal kesme takımlarıyla bir iş parçasında silindirik delik açma yöntemlerini içerir (Şekil 3.1). Delik delme, delik büyütme, fatura açma (kademeli delik işleme), raybalama ve delik büyütme gibi birbirini takip eden talaş kaldırma işlemlerini kapsar. Bütün bu işlemlerde ortak olan, doğrusal 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 [15].



Şekil 3.1. Delik delme işlemi [15].

Kısa delik delme işlemlerinde, modern takımların gelişmesiyle beraber, hazırlayıcı ve ilave işleme ihtiyacı büyük oranda değişmiştir. Modern takımlarla, normal olarak merkez ve kılavuz deliklerinin önceden açılmasına ihtiyaç duyulmadan, delmenin tek işlemde yapılmasına imkan sağlamıştır. Bu takımlarla açılan deliklerin kalitesi yüksek olduğu için ölçü hassasiyetini ve yüzey pürüzlüğünü geliştirmek için sonradan işlem yapmaya genellikle ihtiyaç duyulmaz [15].

Delik delme işlemi bazı yönleri ile tornalama ve frezeleme işlemleri ile karşılaştırılabilir de delik delmede talaş kırma ve talaşın boşaltılması kritik öneme sahiptir. İşleme delikle sınırlıdır, yani delik derinliği ne kadar büyükse işlemi kontrol etmek ve talaş kaldırmak o kadar zor olur. Birçok parçada kısa delikler bulunur ve yüksek malzeme kaldırma oranı, kalite ve güvenilirliğe ilaveten önemi artan bir önceliğe sahiptir. Delik delme işlemlerini; doluya delik delme, delik büyütme, fatura açma (kademeli delik delme) ve raybalama olmak üzere 4 başlık altında toplamak mümkündür (Şekil 3.2) [15].



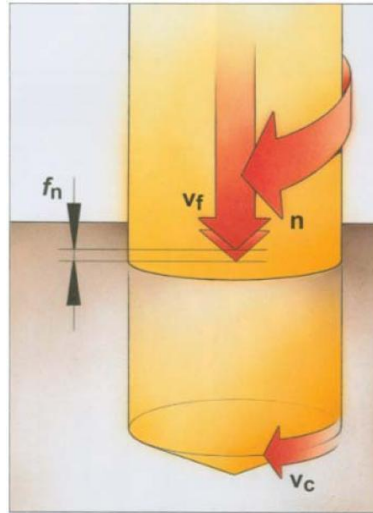
Şekil 3.2. Delik delme işlemleri [15].

### 3.2. TEMEL TANIMLAR

Matkapla talaş kaldırmada kesme hareketi, matkabın dönme hareketine bağlı olduğundan kesme hızı  $V_c = \pi \cdot d \cdot n / 1000$  (m/dk) bağlantısı ile ifade edilir. Burada;  $d$ -takımın çapı (mm) ve  $n$ -devir sayısıdır (dev/dk). Kesici ağzın çapına bağlı olarak, kesme hızı ağız boyunca değişecektir; matkabın çevresinde maksimum, merkezinde sıfır olacaktır. Bu olay, talaş kaldırma olayını zorlaştıran bir etmendir. Kesme hızının değişken olmasına karşın pratikte  $d$ -çapına karşılık gelen hız, kesme hızı olarak kabul edilir [17].

Kesme hızları doğrudan tablolardan seçilir veya teknik koşullara göre tayin edilir. Kesme hızı tayin edildikten sonra  $n = 1000 \cdot V_c / \pi \cdot d$  (dev/dk) bağıntısından matkabın dönme hızı hesaplanır ve tezgahın kademelerinden, bu hıza en yakın değer seçilir [17].

İlerleme  $s$  mm/dev, matkabın bir devirde aksel yönde kat ettiği mesafedir. Matkap genellikle iki ağızlı bir takımdır; genel olarak ağız sayısı  $z$  ile ifade edilirse, bir ağza karşılık gelen ilerleme  $f_n = s/z = s/2$  (mm/dev) ve ilerleme hızı  $V_f = s \cdot n = z \cdot f_n \cdot n = 2 \cdot f_n \cdot n$  (mm/dk) şeklinde yazılır (Şekil 3.3) [17].



Şekil 3.3. Kesme hızı, matkabın dönme hızı ve devir başına ilerleme hızı faktörleri [15].

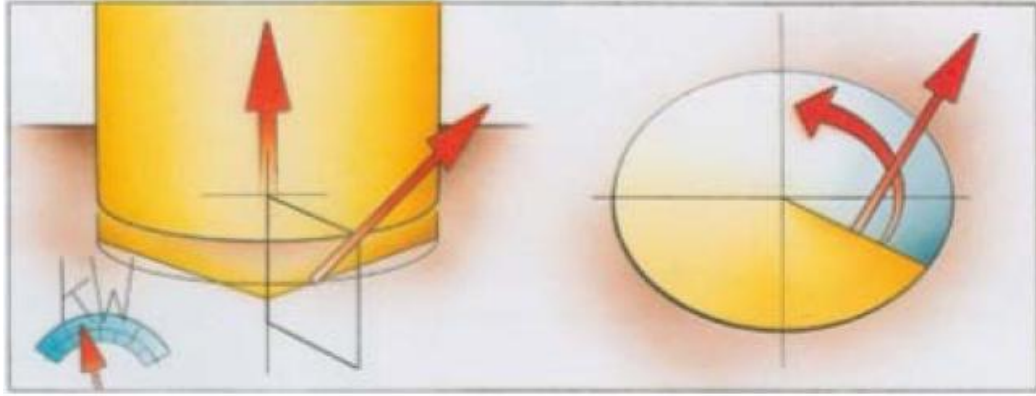
### 3.3. DELME İŞLEMİNDE KESME KUVVETLERİ VE GÜÇ

Delik açmak için belirli bir miktarda enerjiye ihtiyaç duyulur. Matkap, iş parçasının içine girerek talaş kaldırırken kesme kuvvetleri matkaba etki eder ve bu da belirli bir miktarda güç gerektirir [16].

Öncelikle, delik açmak için gerekli olan güç, iş parçası malzemesinin cinsine göre farklılık gösterir ve bu güç hesaplanırken, malzeme için gerekli özgül bir kesme kuvveti göz önüne alınmalıdır [16].

Özgül kesme kuvveti değeri ( $k_c$ ),  $\text{mm}^2$  başına N cinsinden, birçok malzeme için hesaplanmış ve test edilmiştir. Bu değer, takımın etkin kesme açısı ve ortalama talaş kalınlığıyla ilgili tablolarda yer almaktadır ve belirli bir kesit alanı ( $1 \text{ mm}^2$ ) olan bir talaş için gerekli olan teğetsel kesme kuvveti veya etkin kesme kuvvetinin teorik talaş alanına bölümüyle tanımlanır. Değerler, ağız başına ilerleme değeri olarak gösterilir. Normalde, çeliğin özgül kesme kuvveti demir esaslı olmayan alaşımların yaklaşık üç katı kadardır. Yüksek dayanımlı süper alaşımların özgül kesme kuvveti ise çeliğin yaklaşık iki katı kadardır [16].

Nm cinsinden Tork ( $M_c$ ), bazı büyük çaplı delik işlemlerinde, özellikle delik büyütme işlemlerinde, önemli olan diğer bir değerdir. Bu değer işleme sürecinde matkabın maruz kaldığı toplam delik delme momenti dikkate alınarak belirlenir. Tork değerini etkileyen başlıca faktörler; ilerleme, çap ve işlenen malzemelerdir. Tork her bir kesme kenarının momentleri toplamı ve teğetsel kuvvetin merkezden yarıçapla çarpımıdır (Şekil 3.4) [16].



Şekil 3.4. Matkabin ilerleme kuvveti ve tork [15].

N cinsinden ilerleme kuvveti ( $F_t$ ), delme işleminde performans açısından genellikle en önemli parametredir. Bu, matkap malzemeye girerken matkaba uygulanan aksel kuvvettir. Aşırı ilerleme kuvveti kullanımı, delik kalitesini ve takımın güvenilirliğini etkileyerek, tezgahın durmasına yol açabilir. Diğer taraftan yeterli ilerleme kuvvetinin uygulaması ise kesme hareketi ve verim açısından önemlidir (Şekil 3.4) [16].

### 3.4. DELİK DELME TAKIMLARI VE SINIFLANDIRILMASI

Delme işlemlerinde kullanılan kesici takımlara genel olarak matkap denilmektedir. Matkaplar, talaşlı üretimde en çok kullanılan kesici gruplarından birini oluşturmaktadır. Bir matkap kendi eksenini etrafında dönerek ve aynı zamanda eksenini doğrultusunda ilerleyerek, iki kesici ağız ile iş parçası üzerinden kesme işlemi yapar. Metallerin işlenmesinde çok çeşitli matkap türleri kullanılmaktadır. Her matkap türü belirli ihtiyaç sonucu doğmuştur [18].

Kısa delik delme işleminde kullanılan matkaplar iki ana grupta toplanmaktadırlar. Bunlar; bilenebilir matkaplar ve değiştirilebilir uçlu matkaplar olarak adlandırılmaktadırlar. 2,5 mm'den, 17 mm'ye kadar değişen çaplar için yaygın olarak bilenebilir matkaplar kullanılmaktadırlar. Özellikle kısa delik matkapları için tasarlanmış takım geometrisinin, merkezleme deliklerinin ve delme burçlarının kullanımını ortadan kaldıran kendi kendini merkezleme özelliğine sahip oldukları bilinmektedir. Bu durum, oldukça yüksek talaş debilerinin elde edilmesi ve işleme

zamanlarının klasik saplı matkaplara göre 3-4 kat azalması anlamına gelmektedir [19].

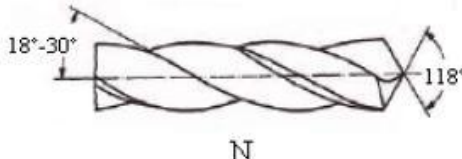
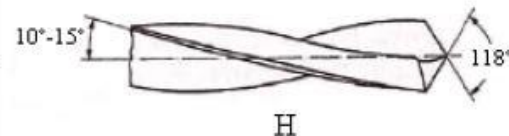
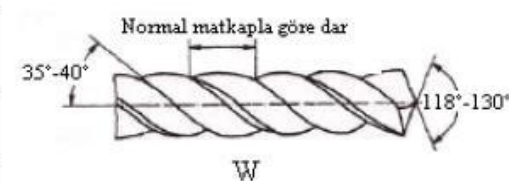


Şekil 3.5. Çeşitli matkap tipleri [20].

İş parçası malzemesine bağlı ve kesme açılarına göre DIN standardında (DIN 1414) N, H ve W ile simgelenen üç çeşit matkap vardır. Bunlar N tipi çelik ve dökme demir, H tipi pirinç alaşımları ve W tipi ise alüminyum alaşımları gibi yumuşak malzemeler içindir. Bu matkapların her birinin kesme açıları farklı olup her tip için kesme açıları matkabin çapına ( $\text{Ød}$ ) bağlıdır [21].

Uç açıları  $118^\circ$ 'den daha küçük olan matkaplara sivri, daha büyük olanlara ise düz matkaplar denir. Malzeme sertliği arttıkça matkapların uç açıları artar (düzleşir), malzeme sertliği azaldıkça da uç açıları azalır (sivrileşir) [21]. Çizelge 3.1'de, matkapların helis ve uç açılarına göre kullanıldıkları malzemeler verilmiştir.

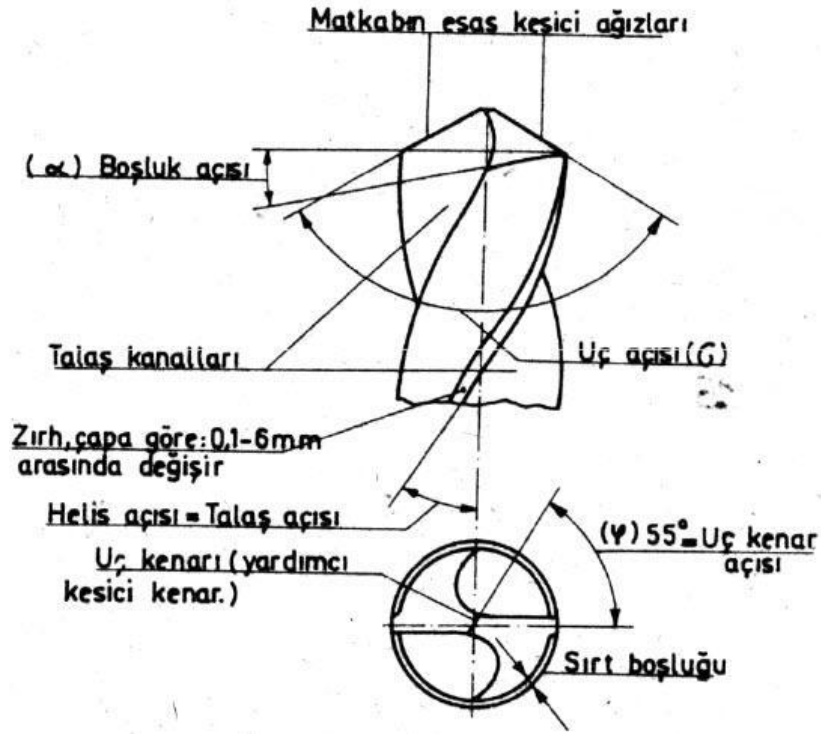
Çizelge 3.1. Helis adımlarına göre matkap çeşitleri ve kullanıldığı yerler [21].

Malzeme Cinsi	Uç Açısı	Matkap Tipi (DIN 1414)
Çelik; çelik döküm; dökme demir; temper döküm; sert bakır ve çinko alaşımı malzemeler için;	118°	 <p style="text-align: center;">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°	
Paslanmaz çelikler; bakıra, 30mm çap üzerinde delik delerken, kısa talaş veren Al alaşımlarında;	130°	
Preslenmiş malzeler, sert bakalit, sert kauçuk, mermer, arduvaz (taş) kömür vs. için;	80°	 <p style="text-align: center;">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 style="text-align: center;">W</p>
Bakır malzemeler için;	120° - 125°	
Alüminyum alaşımları için;	140°	
Bakıra 30mm üzerindeki delik delerken ve uzun talaş veren Al;	140°	



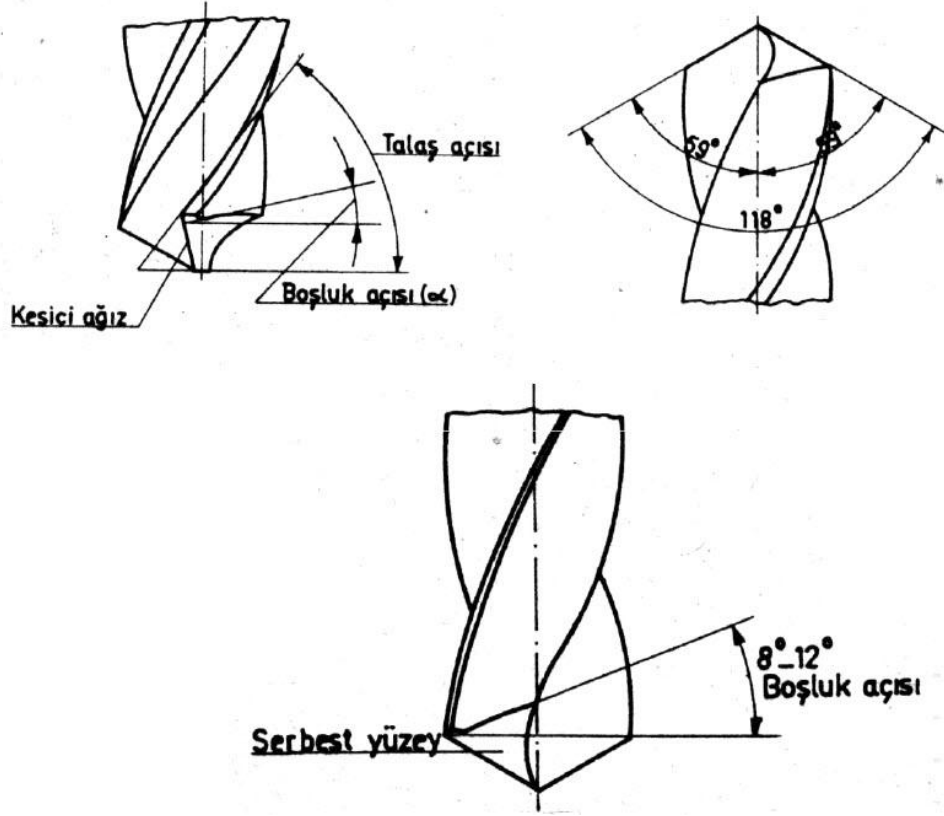
### 3.4.1. Matkapta Uç Açılı

Genel olarak matkapta uç kenar açısı, uç açısı, talaş açısı ve boşluk açısı olmak üzere 4 açı bulunur. Uç kenar açısı; iki serbest yüzey bilenirken verilen boşluk açlarına bağılı olarak oluşan açıdır ve yaklaşık  $55^\circ$ 'dir. Uç açısı; helisel matkapların kesme esnasında iş parçasına dalmalarını sağlayan açıdır. Matkaplarda uç açısı kesilen malzemeye göre  $118^\circ$  ile  $130^\circ$  arasında değişmektedir [22]. Şekil 3.6'da matkabın uç yapısı ile uç ve uç kenar açısı gösterilmektedir.



Şekil 3.6. Matkabın uç yapısı ile uç ve uç kenar açısı [22].

Matkabın helis kanallarını meydana getiren açıya talaş açısı denilmektedir. Normal imalat çeliklerinde  $19^\circ$  ile  $40^\circ$  arasında iken sert ve kırılğan malzemelerde  $10^\circ$  ile  $19^\circ$ , yumuşak malzemelerde ise  $27^\circ$  ile  $45^\circ$  arasındadır. Boşluk açısı; delme esnasında kesici ağızların arka yüzeylerinin kesilme yüzeyini sürtmesini engellemek için verilen açıdır. Yaklaşık  $8^\circ$ - $12^\circ$  arasındadır [22]. Şekil 3.7'de boşluk ve talaş açısı gösterilmektedir.



Şekil 3.7. Matkapta boşluk ve talaş açısı [22].

### 3.4.2. Değiştirilebilir Uçlu Matkaplar

Değiştirilebilir kesici uçlar genellikle pek çok yönden avantaj sağlar ve bu uçların kullanılabilirdiği delikler için sabit ve dönen matkap uygulamalarında ilk tercih olarak düşünülmelidir. Daha dar tolerans ve daha iyi yüzey kalite yaratmadaki artırılmış kapasite ile değiştirilebilir kesici uçlu matkaplar malzeme, tezgâh ve işlem açısından çok kullanışlı bir takımlardır [15].

Değiştirilebilir kesici uçlar, yeniden bileme yerine değiştirilebilir kesici uçlarla, çelik matkap sapının tokluğuyla sinterlenmiş karbür kesici uçların aşınma direncini birleştirir. Matkabin ömrü uzundur ve farklı işleme talepleri için kullanılabilir. Güvenilirlik, hassasiyet ve aynı zamanda ekonomik işleme imkânı en üst seviyededir [15].

Değiştirilebilir uçlu matkapların avantajları;

- HSS helisel matkaplara göre delme süresini büyük ölçüde azaltır
- Kesme hızları ve ilerleme oranları tornalama ve frezelemeye yaklaşır
- Yüksek talaş oranı ve iletkenlik
- Değiştirilebilir uç

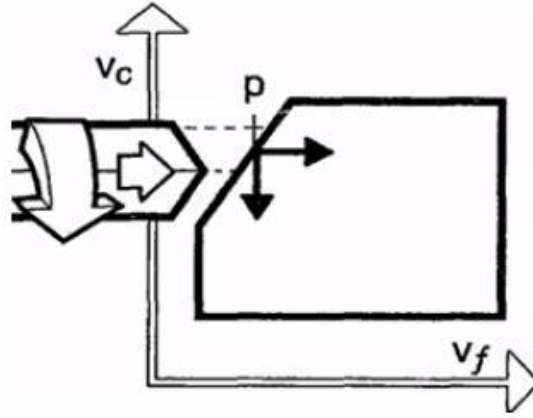


Şekil 3.8. Değiştirilebilir karbür uçlu matkaplar [23].

### 3.5. TALAŞ OLUŞUMU

Normal delik işleminde kullanılan matkapların birçoğunda iki talaş kanalı ve iki kesici kenar vardır. Talaşlar, delik içerisinde helis kanalları yardımıyla boşaltılırlar. Bu, modern tezgahlarda ve matkaplarda kesme sıvısının takım içerisinde bulunan kanalları vasıtasıyla kesme bölgesine aktarılması sonucunda daha da kolay gerçekleşir. Talaş oluşumu iş parçası malzemesi, takım geometrisi, kesme hızı, ilerleme ve kesme sıvısı seçiminden etkilenir. Genellikle artan ilerleme ve/veya azalan kesme hızı değerleri kısa talaş oluşumuna neden olur. Talaşlar matkabın kesici kenarlarından problemsiz uzaklaştırılması, elde edilen talaşın kabul edilebilir bir uzunlukta olduğunu gösterir [19].

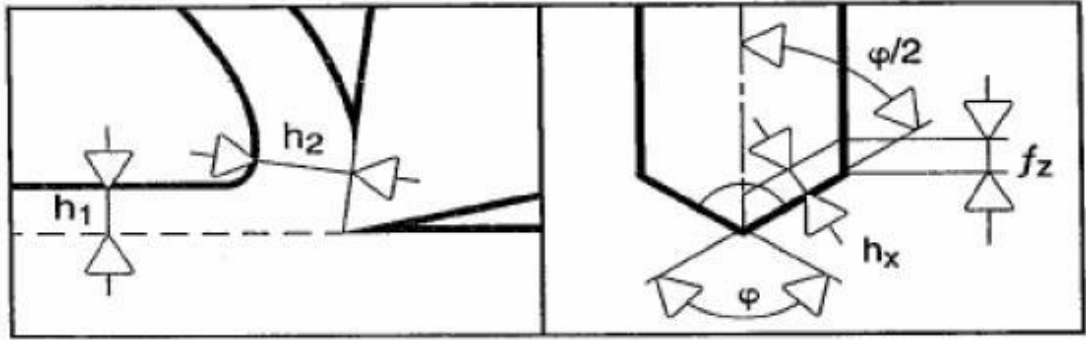
Talaş kırma aralığının etüdü sonrasında doğru kesme verilerinin saptanması mümkündür. Talaş kırma alanı, söz konusu malzeme üzerinde çeşitli kesme hızı-ilerleme değerlerinin denenmesi ve belirlenen değerlerden talaş kırma açısından tatmin edici sonuçlar veren değerlerin seçilmesiyle oluşturulur. Şekil 3.9'daki diyagramda, çevredeki kesme hızının ( $v_c$ ) talaş kırma açısından çok yüksek olduğu görülmektedir. Bu örnekte problem, ilerleme değerinin artırılması ile çözülebilir. Tezgahın gücünün veya rijitliğinin sınırlı olması halinde kesme hızının düşürülmesi daha uygundur [19].



Şekil 3.9. Matkabin çevresinde aşırı kesme hızı [19].

Kesme hızı, matkabin çevresinden merkeze yaklaştıkça azalır. Bu nedenle kesme hızının azalması sonucunda ortaya çıkabilecek yığılma talaş oluşumu riskinin göze alınması gerekir. Matkabin merkezi yakınında 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 olacaktır, dolayısıyla sakıncalıdır [19].

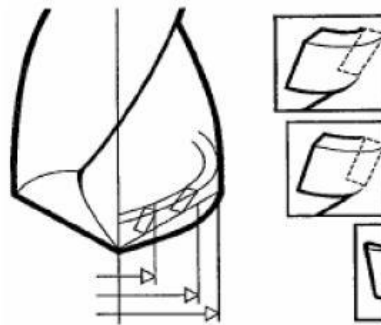
Talaş kaldırma esnasında talaşın plastik deformasyona uğraması nedeniyle, deformasyona uğramış talaş kalınlığı ( $h_2$ ), verilen talaş kalınlığından ( $h_1$ ) farklıdır. Delme işleminde teorik talaş kalınlığı artan kenar başına ilerleme ve uç açısı ( $\phi$ ) ile artar (Şekil 3.10) [19].



Şekil 3.10. Talaş oluşumuna etki eden faktörler [19].

Artan ilerleme değeri ile helis açısı artar ve boşluk açısı azalır. Azalma merkeze en yakın noktada en yüksek seviyeye ulaşır. Bu ise, takım ile delik yüzeyleri arasındaki aşınmanın önlenmesi için boşluk açısının çevreden merkeze doğru artırılmasını zorunlu kılar [19].

Talaş açısı, kesici kenar boyunca değişir ve matkabın çevresinden merkeze doğru azalır. Matkabın hızının da çevreden merkeze doğru azalması nedeniyle kesme hızının sıfıra doğru 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 plastik deformasyon oluşur (Şekil 3.11). Bu basınç oldukça yüksek bir aksel kuvvet bileşeninin ortaya çıkmasına neden olur. Tezgahın gücü delinecek deliğin boyutlarına göre düşükse, ilerleme kuvvetinin büyük olmasından dolayı tezgah ana milinin esnemesi söz konusu olur ve bunun sonucunda oval delikler elde edilir [19].

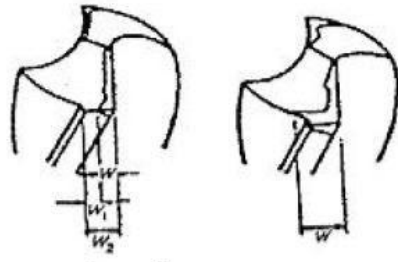


Şekil 3.11. Kesici kenarın talaş kaldırması [19].

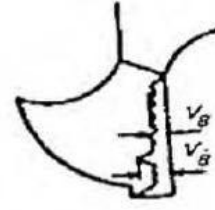
Klasik helisel matkaplarda çekirdek kısmının inceltilmesi işlemi, matkabın ucundaki helis kanalın taşlanması ile gerçekleştirilir. Bu sayede çapraz kesici kenarın uzunluğu azaltılır ve ana kesici kenar kırık bir hat oluşturur. Çekirdeğin inceltilmesini takiben kesici kenarlara doğrusal bir profil kazandırabilmek amacıyla son bir 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 [19].

### **3.6. DELME İŞLEMİNDE TAKIM AŞINMASI**

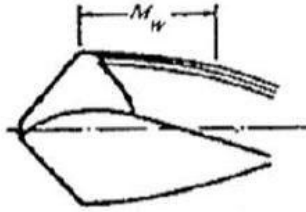
Delik delme işlemlerinde, kesme parametrelerinin optimize edilmesi oldukça önemlidir. Çünkü delme parametreleri efektif takım açılarını doğrudan etkilemektedir. Örneğin, ilerlemenin artırılması; helis açısını artıracak ve boşluk açısını azaltacaktır. Boşluk açısının azalması, takımın ana serbest yüzeyinin, işlenen yüzeye sürtünmesini artırarak, serbest yüzey aşınmasını hızlandıracaktır [19,24]. Matkap takımlarında aşınma Şekil 3.12’de görüldüğü gibi dış köşe aşınması (W), serbest yüzey aşınması (Vb), kenar aşınması (Mw), krater aşınması (Km), kesici kenar aşınması (Ct ve Cm) ve kesme-talaş kırığı (Pt ve Pm) şeklinde olur [25].



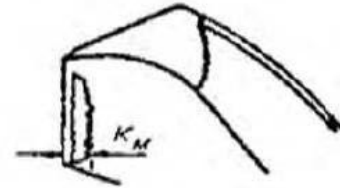
a) Dış köşe aşınması



b) Serbest yüzey aşınması



c) Kenar aşınması



d) Krater aşınması



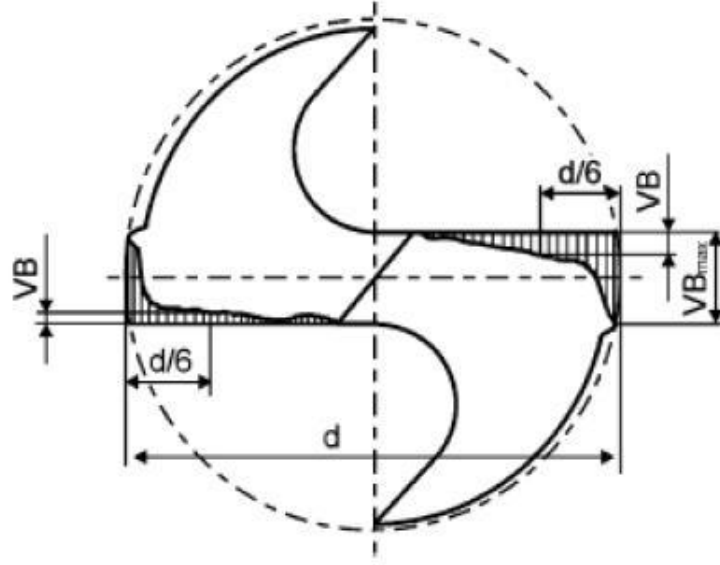
e) Kesici kenar aşınması



f) Kesme-talaş kırığı

Şekil 3.12. Matkapta meydana gelen aşınma tipleri [25].

Genelde aşınma, kesici kenarın zırh ile birleştiği noktada başlar, kesici ağızlar ve serbest yüzeylerde gelişir (Şekil 3.13). Kesici kenarlarda aşınmanın artması, serbest yüzeylerde boşluk açısı kaybolmuş konik yüzey meydana getirir. Oluşan bu konik yüzey, serbest yüzeylerde aşınma şeritlerini ( $V_b$ ) temsil eder (Şekil 3.13). Serbest yüzeylerdeki aşınma, kesme işlemlerinin yerini sürtünme ve zorlamalara bırakarak, ısı oluşumunu artırır ve aşınma hızlanarak takımı köreltir [27].



Şekil 3.13. Serbest yüzeyde oluşan aşınmanın şematik olarak gösterilmesi [26].

Oluşan aşınma değerleri kabul edilebilir sınırı aştığında, delme işleminde oldukça önemli olan delik geometrisi (dairesellik), boyut ve yüzey kalitesinin bozulmasına neden olur. Ayrıca, delme için gerekli olan kuvvetlerin artmasına ve bu da ortaya çıkacak ısının artmasına neden olur. Delme işlemlerinde kullanılan matkaplar, kesme işlemi sırasında oluşan mekanik (tork, kesme kuvvetleri), ısıl, kimyasal ve abrasif yükleri karşılayabilmesi için bazı özelliklere sahip olması gerekir [19]. İlk olarak, yeterli mukavemet ve kırılma direncine sahip olmalıdır. İkinci olarak, delme sırasında oluşan talaşın ve ısının transferinin daha kolay sağlanabilmesinin yanı sıra abrasif aşınma direncinin yüksek ve kimyasal olarak kararlı olması gerekir. Bu özelliklerinin tümünün mevcut olduğu kesici takım malzemesi mevcut değildir. Ancak, kaplama tekniklerinin gelişmesiyle, ana malzemenin tokluk özelliği korunarak, mikron mertebesindeki sert seramik tabakalarla, aşınma ve ısı direnci yüksek ve kimyasal olarak kararlı kesici takım malzemesi kombinasyonu elde edilmektedir [24].



## BÖLÜM 4

### LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Cantero ve arkadaşları, kuru kesme şartlarında Ti6Al4V'nin delinmesinde takım aşınması, delik kalitesi ve yüzey pürüzlülüğünü incelemişlerdir. Deliklerin kalitesi geometrik doğruluk ve çapak oluşumu bakımından yorumlanmıştır. Ölçümler, yüzey pürüzlülüğü ve çapak yüksekliği bakımından değerlendirildiğinde, takım ömrü kriterine yakın bir ana kadar yüksek delik kalitesi olduğu belirtilmiştir. Bununla birlikte, iş parçasının mikro sertlik ölçümleri ve SEM-EDS analizleri sonucunda, mekanik özelliklerin kaybolması ile ilgili önemli mikroyapı değişimlerinin olduğu görülmüştür [28].

Zeilmann ve Weingaertner Ti6Al4V titanyum alaşımının, TiAlN, CrCN veya TiCN sert kaplamalarla kaplanmış ve kaplanmamış K10 kalitesinde karbür matkaplarla delinmesi sırasında oluşan sıcaklıkları analiz etmişlerdir. Çalışmanın temel amacı, minimum kesme sıvısı kullanmak suretiyle farklı kaplamalarla kaplanmış ve kaplanmamış takımlardaki sıcaklığın değerlendirilmesi olmuştur. Delme esnasında harici bir nozulla ve matkap içerisinden uygulanan minimum kesme sıvısı miktarının etkileri incelenmiştir. Takım içerisinden uygulanan minimum kesme sıvısı ile yapılan delme işlemindeki sıcaklık ölçümlerinin, harici bir nozuldan uygulanan minimum kesme sıvısı ile yapılan delme işlemdeki sıcaklık ölçümlerinden %50 daha fazla olduğu tespit edilmiştir [29].

Li ve Shih, çalışmalarında yaygın olarak kullanılan Ti6Al4V alaşımının 9,92 mm çapında, 384 mm<sup>3</sup>/s talaş kaldırma oranıyla delinmesi sırasındaki sıcaklık ve gerilim dağılımlarını araştırmışlardır. Ters ısı transferi metodunu kullanan bir sonlu elemanlar ısıl modeli uygulanarak takım-talaş temas alanındaki ısı dağılımını ve kesme sıvısının konveksiyon ısı iletim katsayısı bulunmaya çalışılmıştır. Deneysel olarak ölçülen matkap sıcaklığı ile sayısal olarak tahmin edilen matkap sıcaklığını

karşılaştırmak suretiyle, oldukça yüksek bir uyumla ısı modelin gerçekliğini ortaya koymuşlardır. Matkapta gerilim dağılımını çözümlmek için termo-mekanik sonlu elemanlar analizi uygulamışlardır. Model sonuçları, kesme sıvısı uygulamanın, matkabın kesici ve kanal kenarları çevresindeki sıcaklığı düşürmede önemli olduğunu göstermiştir. 183 m/dk'lık bir çevresel hızla, 0,05 mm/dev ilerleme hızı ile 10,2 mm derinliğindeki bir deliğin kuru şartlarda delinmesinde 1210 °C'ye çıkan sıcaklık, kesme sıvısı uygulamasıyla 651 °C'ye kadar düşmüş olduğu görülmüştür [30].

Sharif ve Rahim, kaplamasız WC/Co ile TiAlN-PVD kaplamalı karbür matkapların titanyum alaşımlarının delinebilirliği üzerindeki performansını araştırmışlardır. Soğutma sıvısı kullanılarak yapılan delme işleminde, kesme hızının takım aşınması, takım ömrü ve deliğin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisi incelenmiştir. Hem kaplamalı hem de kaplamasız matkaplarda, takımın bozulmasına yol açan düzenli olmayan yanak aşınmasının, baskın aşınma tipi olduğunu tespit etmişlerdir. Takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğü bakımından TiAlN kaplamalı matkaplar, kaplamasız matkaplara göre daha iyi performans sergilemiştir. En düşük kesme hızında (25 m/dk) ve ilerlemede (0,06mm/dev) yirmi beşinci delik delindikten sonra, TiAlN kaplamalı matkap için kaydedilen en yüksek takım ömrü 7,8 dakika olarak bulunmuştur. Kaplamasız karbür matkabın kesici kenarının hızlı aşınmasından dolayı 25 m/dk ve üzeri kesme hızlarında Ti6Al4V delinmesi için kullanımının uygun olmadığı tespit edilmiştir [31].

Heinmann ve diğerleri, helisel matkaplar kullanarak derin ve küçük çaplı deliklerin delinmesinin en zor metal kesme operasyonlarından biri olarak düşünüldüğünü ifade etmişlerdir. Böyle düşünülmesi için birçok neden olmakla beraber bunlardan birisinin de soğutma sıvısının kesme bölgesine dışarıdan uygulanma zorunluluğu olduğunu belirtmişlerdir. Yaptıkları çalışmada, soğutma sıvısı tipi ve uygulama usulünün 1,5 mm çapında kaplanmış ve kaplanmamış HSS matkapların takım ömrü üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Sade karbonlu çelik üzerinde ve matkap çapının 10 katı kadar derinlikte derin delme işlemi gerçekleştirilmiştir. Aynı zamanda soğutma sıvısına uygun bir alternatif olarak kuru işlemin uygulanabilirliği de araştırılmıştır. Yapılan çalışma neticesinde, soğutma sıvısının sürekli uygulanması ile

kesikli uygulaması karşılaştırıldığında, kesikli uygulamanın özellikle ısıya duyarlı matkaplarda takım ömründe önemli bir azalmaya neden olduğu görülmüştür. Yüksek soğutma kapasiteli düşük viskoziteli soğutma sıvısının takım ömrünün artmasında oldukça etkili olduğu tespit edilmiştir. Kuru kesme şartlarında yapılan deneylerde kullanılan matkapların çoğunda, hızlı bir takım aşınması olduğu ve buna bağlı olarak takım ömründe önemli bir azalma olduğu gözlemlenmiştir [32].

Ezugwu ve arkadaşları, kübik bor nitrür (CBN) takımların, genellikle titanyum, nikel alaşımları ve sertleştirilmiş yüksek kromlu çelikler gibi sert alaşımların işlenmesinde kullanıldığını ve bu takımların, sahip oldukları yüksek ergime noktası ve sertliklerinden dolayı yüksek hızda işlemeyle ortaya çıkan ısı ve basınca dayanmaları gerektiğini belirtmişlerdir. Çalışmalarında farklı kalitelere sahip CBN takımların, çeşitli soğutma uygulamaları altında Ti6Al4V alaşımının 150, 200 ve 250 m/dak kesme hızlarında tornalanmasındaki performanslarını araştırmışlardır. Kesici takımların performansını belirlemek için takım aşınması, takım ömrü, kesme ve ilerleme kuvveti ile yüzey pürüzlülüğü dikkate alınmıştır. Ayrıca, 150 m/dk kesme hızında CBN takımlar ile kaplamasız sementit karbür takımlar karşılaştırılmıştır. Takım ömrü açısından, aynı kesme şartlarında kaplamasız sementit karbür takımlar, CBN takımlara göre daha iyi performans sergilemiştir. Difüzyon aşınma mekanizmasıyla ilişkili olarak kesici kenarlarda aşırı dökülmeler ve çentiklenmeler görülmüştür [33].

Ünal ve arkadaşları ticari olarak temin edilmiş Ti6Al4V alaşımını bir CNC dik işlem merkezinde farklı işleme koşulları altında işlemişlerdir. Deneylerde, kesme hızı, ilerleme hızı ve talaş derinliği gibi parametreler değiştirilerek; parametrelerin yüzey pürüzlülüğü, talaş tipi ve yüzey mikrosertliğine olan etkileri incelenmiştir. Deneyler neticesinde, kesme hızı ve ilerleme miktarının artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün de arttığı tespit edilmiştir. İşlem neticesinde, yüzey sertliğinin esas malzemeden daha yüksek, yüzey altı bazı bölgelerde ise aşırı yaşlanma nedeniyle daha yumuşak bölgelerin varlığı gözlemlenmiştir. Genel olarak sürekli sıvanmalı ve testere diş kesitli talaşların oluştuğu belirlenmiştir [34].

Kıvak, çalışmasında süper alaşım Inconel 718'in kaplamalı ve kaplamasız karbür matkaplarla delinmesi esnasında kesme parametrelerinin; kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü, delik kalitesi ve talaş oluşumu üzerindeki etkisini analiz etmiştir. Kaplamasız, TiN ve TiAlN kaplamalı karbür matkaplar kullanılarak kuru kesme şartlarında CNC dik işleme merkezinde talaş kaldırmıştır. Kesme parametreleri olarak dört farklı kesme hızı 10; 12,5; 15; 17,5 m/dk ve üç farklı ilerleme 0,05; 0,075; 0,1 mm/dev kullanmıştır. Sonuç olarak, yüksek kesme hızı ve ilerleme kombinasyonlarında takım performansı ve delik kalitesinin düştüğü belirlenmiştir [35].

Lacalle ve arkadaşları, uzay endüstrisinde sıkça kullanılan iki alaşım; nikel esaslı alaşım ve Ti6Al4V'nin frezelenmesinde işleme verimliliğini arttırmaya yönelik bir çalışma yapmışlardır. Her iki alaşımın da, sahip oldukları yüksek sıcaklık direnci ve mükemmel mekanik özelliklerinden dolayı çeşitli turbo-motor parçalarının imalatında yaygın bir şekilde kullanıldığını vurgulamışlardır. Yapılan çalışmada, bu alaşımların frezelenmesinin zor olmasına etki eden faktörler analiz edilmiştir. Frezeleme işleminin verimliliğini arttırmak için takım geometrisi ve kaplama malzemesi ile işleme parametrelerinin (kesme hızı, ilerleme hızı ve radyal kesme derinliği) etkileri değerlendirilmiştir. Araştırma sonucunda frezeleme işleminin verimliliğini arttırmaya yönelik başarılı sonuçlar elde edilmiştir [36].

Su ve arkadaşları, titanyum alaşımlarının yüksek hızda işlenmesi esnasında, kesme bölgesinde oluşan yüksek kesme sıcaklıklarının takım ömrünü hızla azalttığını ifade ederek takım ömrünün arttırılmasını büyük ölçüde kesme bölgesine uygulanan soğutma ve yağlama sıvılarının etkinliğine bağlamışlardır. Bu amaçla çalışmalarında kaplamalı sementit karbür takımlarla Ti6Al4V alaşımının, yüksek hızda frezelenmesi esnasında uygulanan farklı soğutma ve yağlama şartlarının takım ömrü üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Yapılan çalışmada takım ömrünü arttırmak için optimum soğutma-yağlama şartlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla deneyler kuru, normal soğutma, nitrojen-yağ buharı, 0-(-10) °C'de basınçlı soğuk nitrojen gazı gibi soğutma-yağlama koşullarında gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonuçları, basınçlı soğuk nitrojen gazı-yağ buharı kesme koşullarının en iyi takım ömrünü sağlayan kesme koşulları olduğunu göstermiştir. Aşınma mekanizmaları ve takım ömrünü belirlemek

için aşınmış takımların SEM' de analizi yapılmıştır. Bütün kesme koşulları altında serbest yüzey aşınmasının, baskın aşınma tipi olduğu gözlemlenmiştir. Kaplamalı takımlar üzerinde difüzyon ve termal yorulma mekanizmalarının baskın aşınma mekanizmaları olduğu tespit edilmiştir [37].

Xu ve Geng, Tiβ21S titanyum alaşımlarının sahip oldukları yüksek sertlik, yüksek sıcaklıkta yüksek direnç, takım malzemeleri ile reaksiyona girme eğilimleri ve düşük termal iletkenlikleri gibi özelliklerinden dolayı işlenebilirlikleri zor malzemeler olduğunu vurgulamışlardır. Yaptıkları çalışmada, Tiβ21S titanyum alaşımının farklı kesici takımlar kullanarak frezelemede kesme kuvvetleri ve takım aşınması incelenerek işleme parametrelerinin optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak titanyum alaşımlarının işlenmesinde, keskin kenarlı takımların düşük kesme parametrelerinde kullanılması gerektiği ve kesme bölgesinde oluşan yüksek sıcaklıklardan dolayı soğutma sıvısının kullanılması önerilmiştir. Kesici takım malzeme ve geometrisinin, kesme kuvvetleri üzerinde etkili olduğu belirtilmiştir [38].

Hashmi ve Graham, delik delme operasyonları için en uygun kesme şartlarını (kesme hızı, ilerleme, vb.) bulanık mantık (Fuzzy Logic) yöntemini kullanmışlardır. Bu yöntemde; üç tip malzeme (orta karbonlu, düşük karbonlu ve imalat çeliği) değişik çap ve kalitedeki HSS matkaplar kullanılmıştır. Geliştirilen bulanık mantık yöntemi; ile delinecek malzeme sertliği ile kesme hızı arasında kurulan ilişkiye yönelik çıkarımlar yapmaktadır. Sistem bilinenden hareketle bilinmeyeni tahmin etme şeklinde çalışmaktadır. Sistemin kullandığı ilk değerler; imalata yönelik hazırlanmış olan el kitaplarından derlenmiştir. Sistem üç farklı malzeme ve kullanılacak olan kesiciler için en uygun kesme hızı ve ilerleme değerlerini tahmin edebilmektedir. Sistem; sertliği artan malzeme için düşük kesme hızı ve ilerleme önerirken sertliği düşen malzeme için de yüksek kesme hızı ve ilerleme önermektedir [39].

#### 4.1. LİTERATÜR ARAŞTIRMASININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Yapılan literatür araştırmaları sonucunda titanyum alaşımlarının havacılık, uzay, medikal ve otomotiv sanayinde geniş bir kullanım alanına sahip olduğu görülmektedir. Titanyum alaşımları içerisinde %60'lık bir paya sahip olan Ti6Al4V alaşımının delinebilirliği konusunda yeteri kadar çalışmanın olmadığı anlaşılmaktadır. Havacılık ve uzay sanayinde kullanılan titanyum alaşımlarının genellikle talaşlı üretim yöntemi ile üretilmesi ve bağlantı deliklerinin çok olması delinebilirliğin önemli olduğunu göstermektedir. Ayrıca titanyum malzemelerin delme işleminde; operasyonun kapalı bir alanda olması, delme işlemi sırasında oluşan ısının kolay uzaklaştırılamaması ve takım-iş parçası malzemesinin yüksek maliyeti bu alanda çalışmanın önemini göstermektedir.

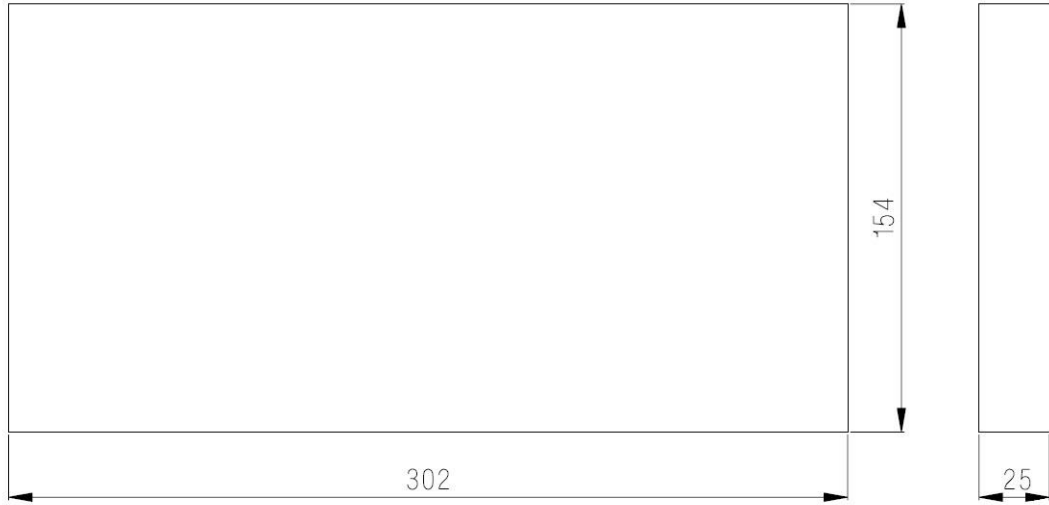
Bu çalışmada literatür dışında; aynı çap ve bağlama boyunda farklı tür 4 çeşit matkap ile farklı kesme parametrelerinde delikler delinmiştir. Delinen delikler ölçülmüş, kullanılan matkaplar incelenmiş ve her matkap için en uygun kesme parametresi belirlenmiştir.

## BÖLÜM 5

### MALZEME VE METOT

#### 5.1. DENEYLERDE KULLANILAN MALZEME

Bu çalışmada, ASTM B265 standardına uygun Ti6Al4V titanyum alaşımı kullanılmıştır. Deney numunesi malzemesinin ölçüleri (Şekil 5.1) 302,5x154x25,4 mm'dir. Deney numunesinin kimyasal bileşimi Çizelge 5.1'de, mekanik özellikleri ise Çizelge 5.2'de gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Malzeme ölçüleri.

Çizelge 5.1. Deney numunesinin (Ti6Al4V) kimyasal bileşimi.

Element	İçerik (%)
Titanyum, Ti	87.6 - 91
Alüminyum, Al	5.5 - 6.75
Vanadyum, V	3.5 - 4.5
Demir, Fe	$\leq 0.40$
Oksijen, O	$\leq 0.20$
Karbon, C	$\leq 0.080$
Nitrojen, N	$\leq 0.050$
Hidrojen, H	$\leq 0.015$

Çizelge 5.2. Deney numunesinin (Ti6Al4V) mekanik özellikleri.

Mekanik Özellikler	Değerler
Çekme Dayanımı	$\geq 895$ Mpa
Akma Dayanımı	$\geq 828$ Mpa
Poisson Oranı	0.31
Elastik Modülü	105-120 Gpa
Kayma Modülü	41-45 Gpa
% Uzama	$\geq \%10$

## 5.2. DENEYLERDE KULLANILAN TAKIM TEZGAHI VE ÖLÇÜM CİHAZLARI

Delme deneyleri TÜBİTAK-SAGE mekanik üretim altyapısında yer alan Mass Tezsan / TMC V 750 dik işleme merkezinde yapılmıştır. Delme işlemi sonucunda yapılan ölçümler ise TÜBİTAK-SAGE boyutsal ve kalite laboratuvarında yer alan DEA PC-DMIS CMM tezgahında yapılmıştır. Deneylerde kullanılan takım tezgahın teknik özellikleri Çizelge 5.3’de, ölçümlerde kullanılan ölçüm cihazının (CMM) teknik özellikleri ise Çizelge 5.4’de verilmiştir.



Çizelge 5.3. Deneylerde kullanılan tezgahın teknik özellikleri.

Tezgah gücü	10 kW
Maksimum devir sayısı	6000 dev/dak
Tezgah kapasitesi (x,y,z)	750, 500, 500 mm
Tezgah hassasiyeti	0.005 mm
Kontrol sistemi	Fanuc

Çizelge 5.4. Ölçümlerde kullanılan CMM cihazının teknik özellikleri.

Tezgahın ölçüm kapasitesi	900, 900, 1600 mm
Ölçüm hassasiyeti	0.003 mm
Kontrol sistemi	PC-DMIS 2013.1

Kullanılan matkaplarda meydana gelen takım aşınması Dino-Lite marka dijital mikroskop ile incelenmiş ve görüntülenmiştir (Şekil 5.2). Kısa ve uzun HSS matkaplarda oluşan sıcaklık değeri ise Fluke Ti25 marka termal kamera ile ölçülmüştür (Şekil 5.3). Dijital mikroskopun teknik özellikleri Çizelge 5.5’de, termal kameranın teknik özellikleri ise Çizelge 5.6’da verilmiştir.



Şekil 5.2. Dino-lite digital mikroskop [40].



Şekil 5.3. Fluke Ti25 termal kamera [41].

Çizelge 5.5. Dino-lite dijital mikroskobun genel özellikleri [40].

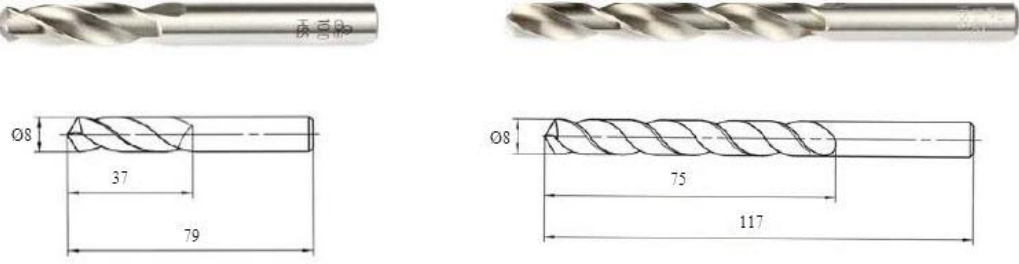
Görüntü çözünürlüğü	5 megapiksel
Büyütme oranı	10x - 140x arası
Çalışma mesafesi	23 cm
Işık rengi	Beyaz

Çizelge 5.6. Fluke Ti25 termal kamera genel özellikleri [41].

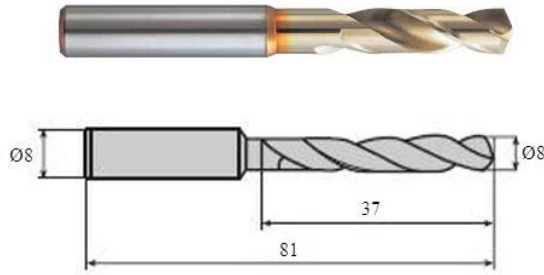
Sıcaklık ölçüm kademesi	20 °C ile +350 °C arası
Doğruluk	±2 °C veya %2
Görüntü alanı	23° x 17°
Minimum odak mesafesi	Termal lens : 15 cm Görüntür ışık lensi : 46 cm

### 5.3. DENEYLERDE KULLANILAN KESİCİ TAKIMLAR

Deneylerde 8 mm çapında 4 çeşit takım kullanılmıştır. HSS olarak MTE marka B000078008000 ürün kodlu kaplamasız 118° uç açılı, kısa takım ve B00007000800 ürün kodlu kaplamasız 118° uç açılı, uzun takım kullanılmıştır (Şekil 5.4). Kaplamalı HSS olarak Nachi marka SGESS LIST7572P ürün kodlu 135° uç açılı takım kullanılmıştır (Şekil 5.5).

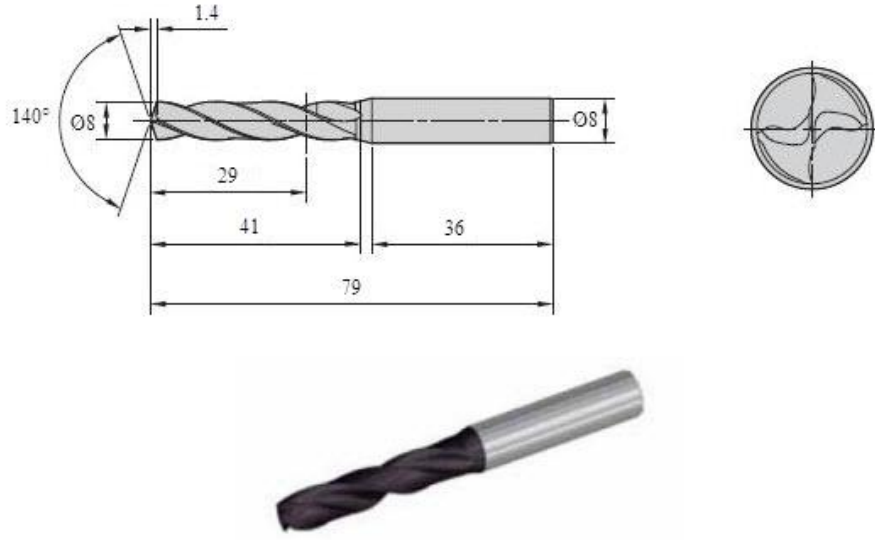


Şekil 5.4. MTE marka kaplamasız HSS matkaplar [42].



Şekil 5.5. Nachi marka kaplamalı HSS matkap [43].

Karbür olarak; Schwegler marka içten soğutmalı FA-0001858-Nr.010 ürün kodlu P20 ve K10 kalite sinterlenmiş takım malzemesinden üretilmiş, çok katmanlı kaplamalı (TiAlN +TiN), 140° uç açılı takım kullanılmıştır. Ayrıca KennaMetal marka B966A08000 ürün kodlu P20 ve K20 kalite sinterlenmiş takım malzemesinden üretilmiş, çok katmanlı kaplamalı (TiAlN +TiN), 140° uç açılı takım (Şekil 5.6) kullanılmıştır. Takımlardan kısa olanlar 43 mm boydan bağlanırken uzun olan takım 76 mm boydan bağlanmıştır.



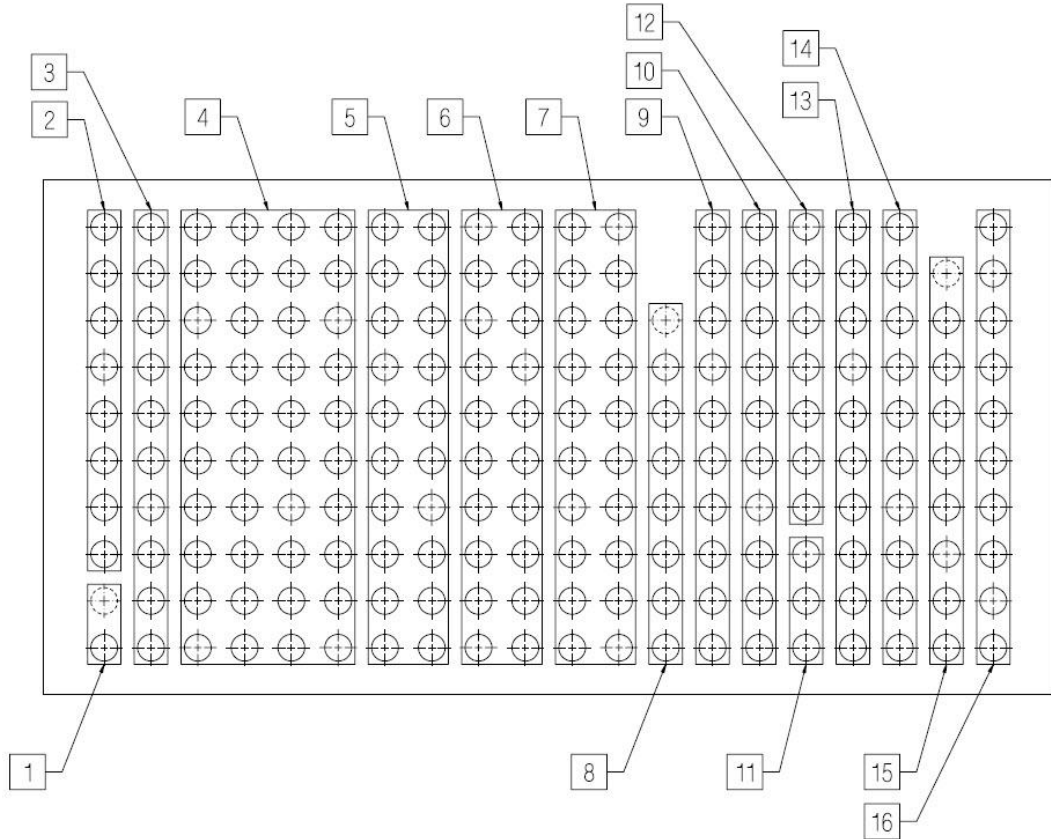
Şekil 5.6. KennaMetal marka kaplamalı karbür matkap [44].

#### 5.4. DENEYLERDE KULLANILAN KESME PARAMETRELERİ

Deneyleerde kullanılan kesme parametreleri matkaplara göre Çizelge 5.7’de gösterilmiştir. Burada uygulanan kesme ve ilerleme hızı değerleri başlangıçta katalogdan alınmış, daha sonra takım aşınması ve delik kalitesine bakılarak en iyi kesme parametresi belirlenmeye çalışılmıştır. Aynı matkap grubunda uygulanan delik sayısı da aynı tutulmuş, sinterlenmiş karbür matkaplarda uygulanan delik sayısı çok tutularak çok delikte matkabın performansı da gözlenmiştir. Matkaplar iş parçası yüzeyinden sıfırlanarak, 28 mm mesafeye 1’er mm gagalama yöntemiyle delme işlemini gerçekleştirmiştir. Şekil 5.7’de ise kesme parametrelerinin uygulandığı delik grupları gösterilmektedir.

Çizelge 5.7. Deneilerde kullanılan kesme parametreleri.

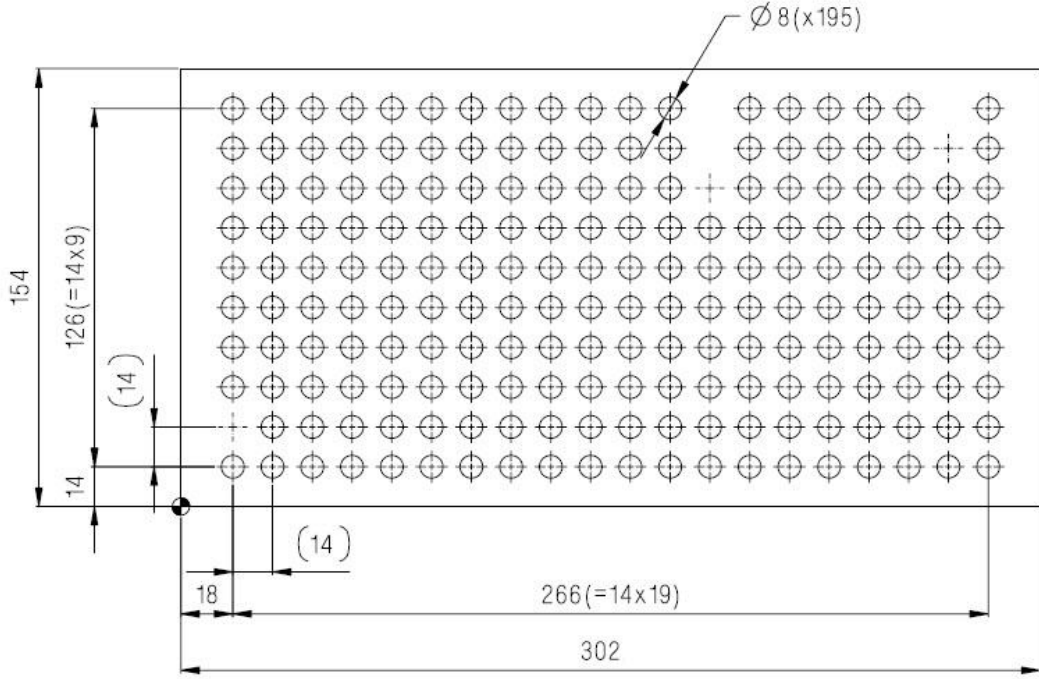
Kesici Takım	Devir Sayısı (dev/dak)	Kesme Hızı (m/dak)	İlerleme Hızı (mm/dev)	Uygulanan Delik Sayısı (Adet)	Grup No
Kaplama HSS	900	22,6	0,04	2	1
	500	12,5	0,04	8	2
	500	12,5	0,06	10	3
Kaplama karbür	700	17,5	0,08	40	4
	600	15,1	0,04	20	5
	600	15,1	0,05	20	6
Kaplama karbür	600	15,1	0,06	20	7
	400	10	0,037	7	8
	300	7,5	0,05	10	9
Kaplama kısa HSS	300	7,5	0,065	10	10
	250	6,3	0,08	3	11
	300	7,5	0,08	7	12
Kaplama uzun HSS	350	8,8	0,04	10	13
	300	7,5	0,05	10	14
	300	7,5	0,065	8	15
	350	8,8	0,07	10	16



Şekil 5.7. Delik grupları.

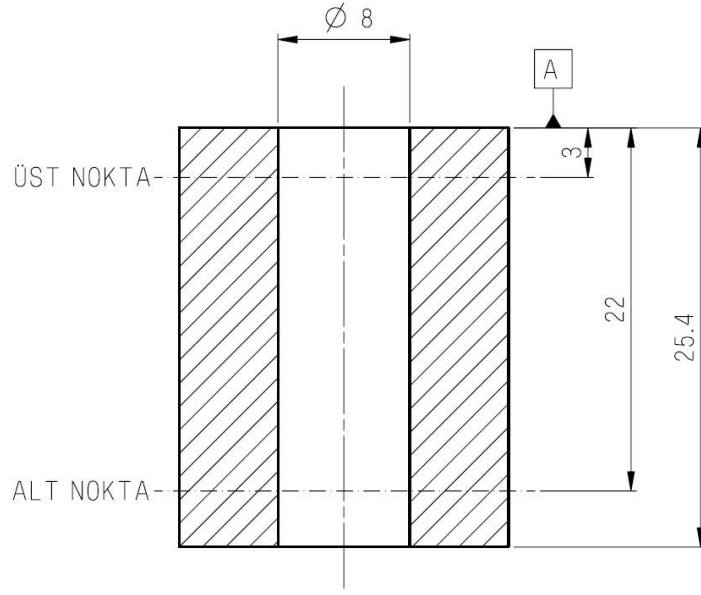
## 5.5. DELİK ÇAPLARI VE GEOMETRİK TOLERANS KONTROLÜ

İş parçası üzerine eşit aralıklı 200 adet delik delinecektir. İş parçası üzerinde deliklerin konumu ve ölçüleri Şekil 5.8’de gösterilmiştir.



Şekil 5.8. İş parçası üzerinde deliklerin konumu ve ölçüleri.

Delik delme işlemi sonucunda CMM tezgahında deliklerin alt ve üst çap kontrolü, eş eksensellikten sapma, diklikten sapma ile alt ve üst dairesellikten sapma kontrolleri yapılmıştır. Şekil 5.9’da alt ve üst çap ile dairesellikten sapma kontrollerinin yeri gösterilmektedir. A datumunun parça üstü olduğu kabul edilirse, A datumuna göre ölçüm mesafeleri verilmiştir.



Şekil 5.9. Alt ve üst çap ile dairesellikten sapma kontrolü.

## 5.6. DENEYLERDE KULLANILAN KESME SIVISI

Delme deneylerinde kesme sıvısı olarak CIMCOOL Cimperial 806 yarı sentetik emülsiyon (%5) kullanılmıştır. Kesme sıvısı seçimi malzemenin cinsi ve takım kataloglarında yazan bilgiler dikkate alınarak seçilmiştir. Delme esnasında kesme sıvısı sürekli ve yaklaşık aynı basınçta uygulanmıştır.

## BÖLÜM 6

### DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu bölümde, titanyum alaşımlarından Ti6Al4V alaşımına uygulanan delme işlemi sonucunda kesme parametrelerindeki değişime bağlı olarak değişen delik çapı, aksenal sapma, diklikten sapma, dairesellik sapma değerleri ile takım aşınmasının değerlendirilmesi yapılacaktır.

#### 6.1. DELİK ÇAPI, GEOMETRİK TOLERANS VE TAKIM AŞINMASININ DEĞERLENDİRİLMESİ

##### 6.1.1. Kaplamalı HSS Takımın Değerlendirilmesi

Kaplamalı HSS takım ile farklı kesme parametrelerinde 3 farklı delik delme deney uygulanmıştır. Deneyler sonucu elde edilen ölçüm sonuçları ve takım aşınması görüntüleri EK-I' de verilmiştir.

1 numaralı deneyde katalogdan alınan değerler kullanılmış, 28 mm'lik delik delme mesafesine 14 mm mesafeyle 2 gagalama yapılarak delinmesi planlanmıştır. 22,6 m/dk kesme hızı, 900 dev/dk devir sayısı ve 0,04 mm/dev ilerleme hızında 10 delik delme planlanmış, fakat 2. delikte malzeme matkaba sarmıştır. Gagalama miktarının az olması ve buna bağlı olarak matkabin uç kısmı yeterince kesme sıvısı alamamıştır. Buna bağlı olarak talaş matkaba sararak kullanılamaz hale gelmesine neden olmuştur.

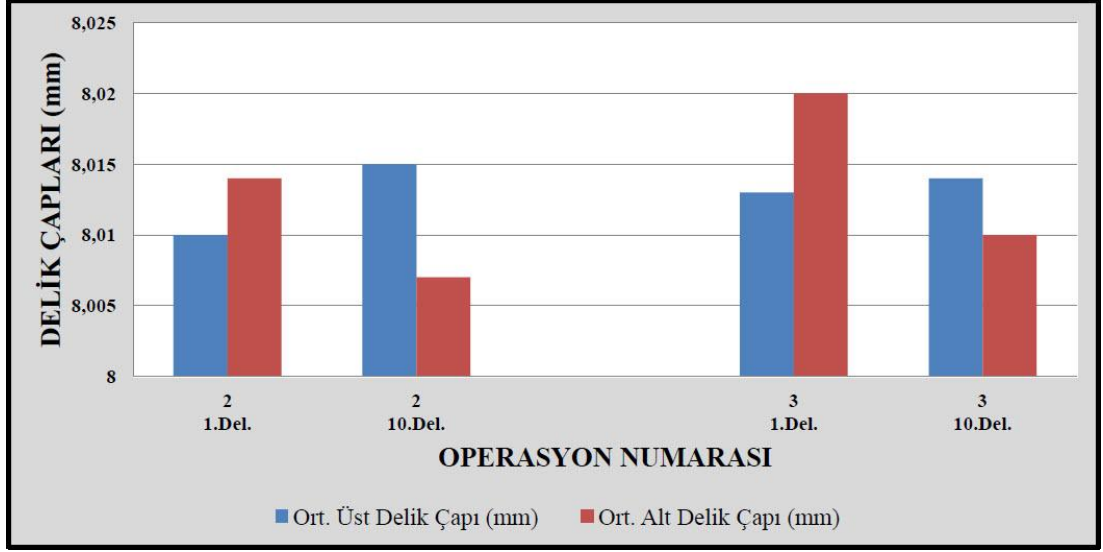
2 numaralı deneyde 1 numaralı deneyde kullanılan ilerleme hızı alınmış fakat kesme hızı ve buna bağlı olarak devir sayısı ile gagalama miktarı düşürülmüştür. 12,5 m/dk kesme hızı, 500 dev/dk devir sayısı ve 0,04 mm/dev ilerleme



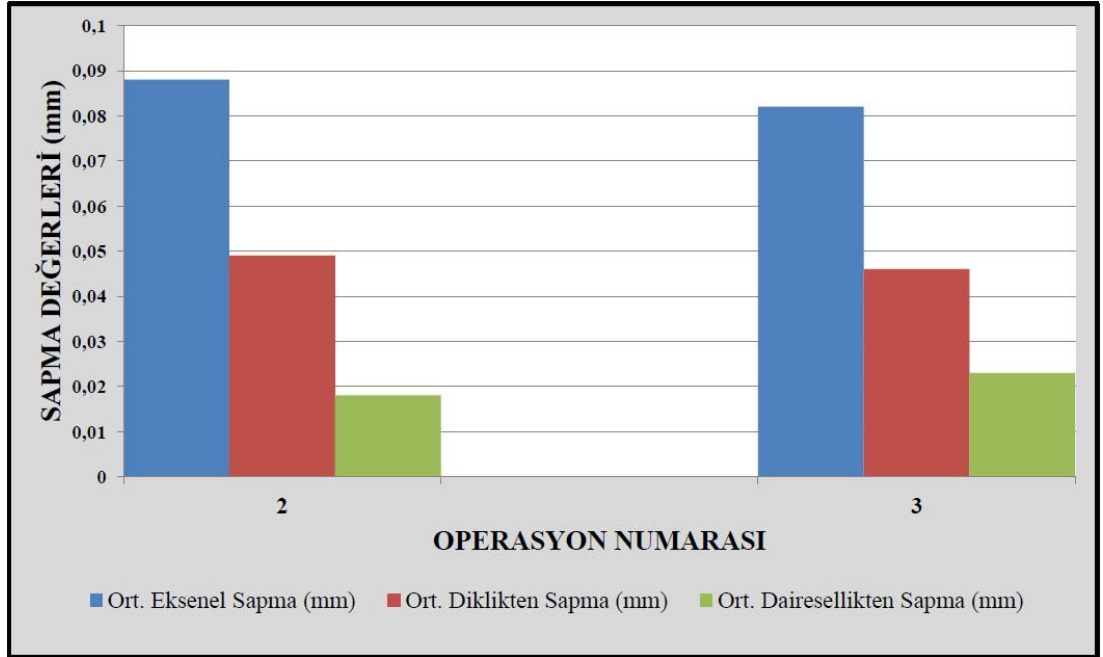
hızında 8 delik delme planlanmıştır. 8 delikte başarıyla delinmiştir. Takım ucunda yanma ve körelme gözlenmemiştir. 1. ve 8. delikte de alt ve üst çap arasındaki çap farkı 0,01 mm'den az ölçülmüştür. Eksenel sapma 0,088 mm ortalamasında, diklikten sapma ise 0,049 mm ortalamasında ölçülmüştür. 1 deliğin üst ve alt kısmında ölçülen dairesellikten sapma farkı 0,022 mm iken 8.delikte 0,013 mm ölçülmüştür. Çıkan sayısal değerler ve takım aşınması görüntüleri değerlendirildiğinde delik çapları  $\text{Ø}8,00 - \text{Ø}8,02$  mm aralığında, eşeksensellik, diklik ve dairesellikten sapma değerleri ise 0,1 mm'nin altında olduğu görülmektedir. Bu değerler bu kesme parametrelerinin bu takım için oldukça iyi olduğunu söylemektedir.

3 numaralı deneyde 2 numaralı deneyde kullanılan kesme hızı ve devir sayısı aynen alınmış, ilerleme hızı performansa bakmak açısından artırılmıştır. 12,5 m/dk kesme hızı, 500 dev/dk devir sayısı ve 0,06 mm/dev ilerleme hızında 10 delik delme planlanmıştır. 10 delikte başarıyla delinmiştir. Takım ucunda hafif aşınma gözlenmiştir. 1. ve 10. delikte de alt ve üst çap arasındaki çap farkı 0,01 mm'den az ölçülmüştür. Takım aşınmasından dolayı bazı deliklerde delik çapının  $\text{Ø}8$  mm'nin altına düştüğü gözlenmiştir. Eksenel sapma 0,082 mm ortalamasında, diklikten sapma ise 0,046 mm ortalamasında ölçülmüştür. 1 deliğin üst ve alt kısmında ölçülen dairesellikten sapma farkı 0,028 mm iken 10. delikte 0,018 mm ölçülmüştür. Bu deneyde, 2 numaralı deneye göre kullanılan yüksek ilerleme hızı delik çaplarının ve dairesellikten sapma değerlerinin kötü çıkmasına neden olmuştur.

Uygulanan deneylerde ortalama ilk ve son delik çaplarının grafiği Şekil 6.1'de, ortalama eksenel sapma, diklikten sapma ve dairesellikten sapma değerlerinin grafiği ise Şekil 6.2'de gösterilmiştir. Sonuç olarak; kaplamalı HSS takımlara Ti6Al4V titanyum alaşımının delinebilmesi için takım ucuna iyi soğutma sıvısının gönderilmesi, talaşın iyi atabilmesi ve gagalama değerinin düşük olması gerektiği anlaşılmıştır. 2 numaralı deneyde kullanılan kesme parametrelerinin bu takım için uygun olduğu söylenebilir.



Şekil 6.1. Kaplamalı HSS ile delinen deliklerin ortalama üst ve alt delik çapları.



Şekil 6.2. Kaplamalı HSS ile delinen deliklerin ortalama eksenel sapma, diklikten sapma ve dairesellikten sapma değerleri.

### 6.1.2. Kaplamalı Karbür Takımın Değerlendirilmesi

Kaplamalı karbür takım ile farklı kesme parametrelerinde 4 farklı delik delme deneyi uygulanmıştır. Deneyler sonucu elde edilen ölçüm sonuçları ve takım aşınması

görüntüleri EK-II'de verilmiştir. Bu deneylerde birbiri ile aynı özellikte 2 farklı karbür takım kullanılmıştır.

4 numaralı deneyde yüksek kesme ve ilerleme hızında çok sayıda delik delme performansına bakılmıştır. Takım içten soğutmalı olmasına rağmen tezgahta içten soğutma özelliği olmadığı için bu özellik kullanılamamıştır. 17,5 m/dk kesme hızı, 700 dev/dk devir sayısı ve 0,08 mm/dev ilerleme hızında 40 delik delme planlanmıştır. 40 delikte delinmiştir. 40. delik sonunda takımda hafif aşınma görülmüştür. 1. delikte alt ve üst arasındaki çap farkı 0,007 mm iken, 40. delikte 0,006 mm ölçülmüştür. Eksenel sapma 0,044 mm ortalamasında, diklikten sapma ise 0,024 mm ortalamasında ölçülmüştür. 1. deliğin üst ve alt kısmında ölçülen dairesellikten sapma farkı 0,017 mm iken 40. delikte 0,012 mm ölçülmüştür. Malzemenin özelliğine göre uygulanan yüksek kesme parametrelerinde Schwegler marka karbür takım 40 deliği de başarıyla delmiştir.

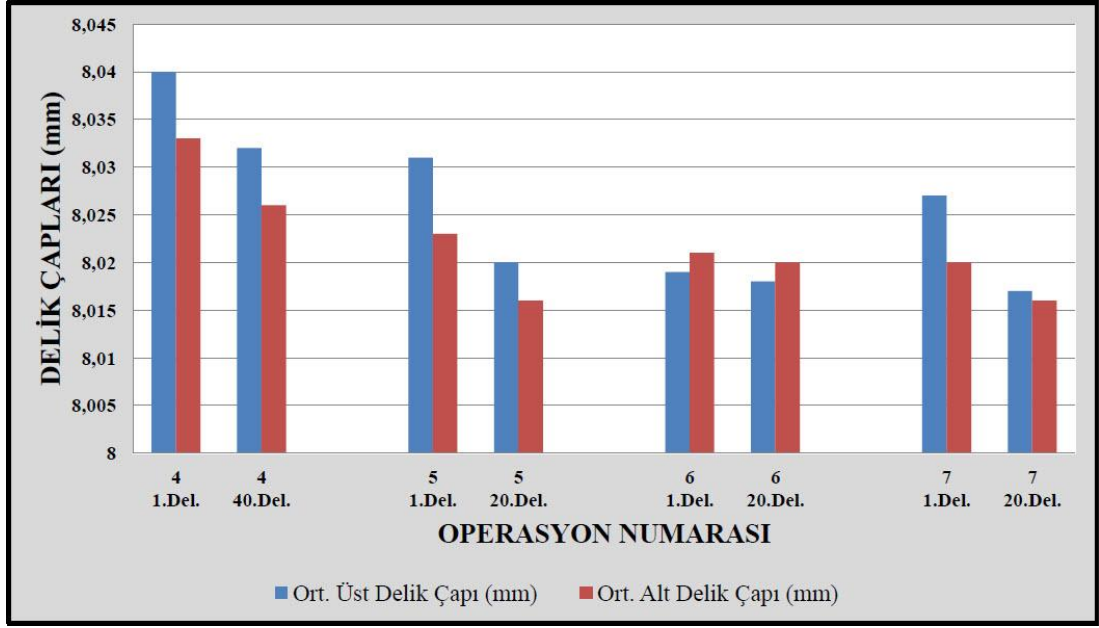
5 numaralı deneyde, 4 numaralı deneyde kullanılan takımdan farklı marka takım kullanılmıştır. 4 numaralı deneyde kullanılan kesme ve ilerleme hızları düşürülerek takım aşınması ve sayısal ölçüm değerlerinin en iyisi aranmıştır. 5, 6 ve 7 numaralı deneylerde aynı kesme hızında farklı ilerleme hızları uygulanmıştır. 15,1 m/dk kesme hızı, 600 dev/dk devir sayısı ve 0,04 mm/dev ilerleme hızında 20 delik delme planlanmıştır. 20 delikte delinmiştir. Takımda aşınma gözlenmemiş, kesici kenarlarda hafif talaş birikmesi gözlenmiştir. 1. delikte alt ve üst çap arasındaki fark 0,008 mm iken 20. delikte bu fark 0,004 mm ölçülmüştür. Eksenel sapma 0,054 mm ortalamasında, diklikten sapma ise 0,023 mm ortalamasında ölçülmüştür. 1. deliğin üst ve alt kısmında ölçülen dairesellikten sapma farkı 0,011 mm iken 20. delikte 0,006 mm ölçülmüştür. Kennametal marka kaplamalı karbür takım bu kesme parametrelerinde iyi performans göstermiştir.

6 numaralı deneyde 5 numaralı deneye göre kesme hızı ve buna bağlı olarak devir sayısı sabit tutulmuş, ilerleme hızı artırılmıştır. 15,1 m/dk kesme hızı, 600 dev/dk devir sayısı ve 0,05 mm/dev ilerleme hızında 20 delik delme planlanmıştır. 20 delikte delinmiştir. Takımda hiç aşınma ve talaş birikmesi gözlenmemiştir. 1. delikte alt ve üst çap arasındaki fark 0,002 mm iken 20. delikte bu fark 0,002 mm ölçülmüştür.

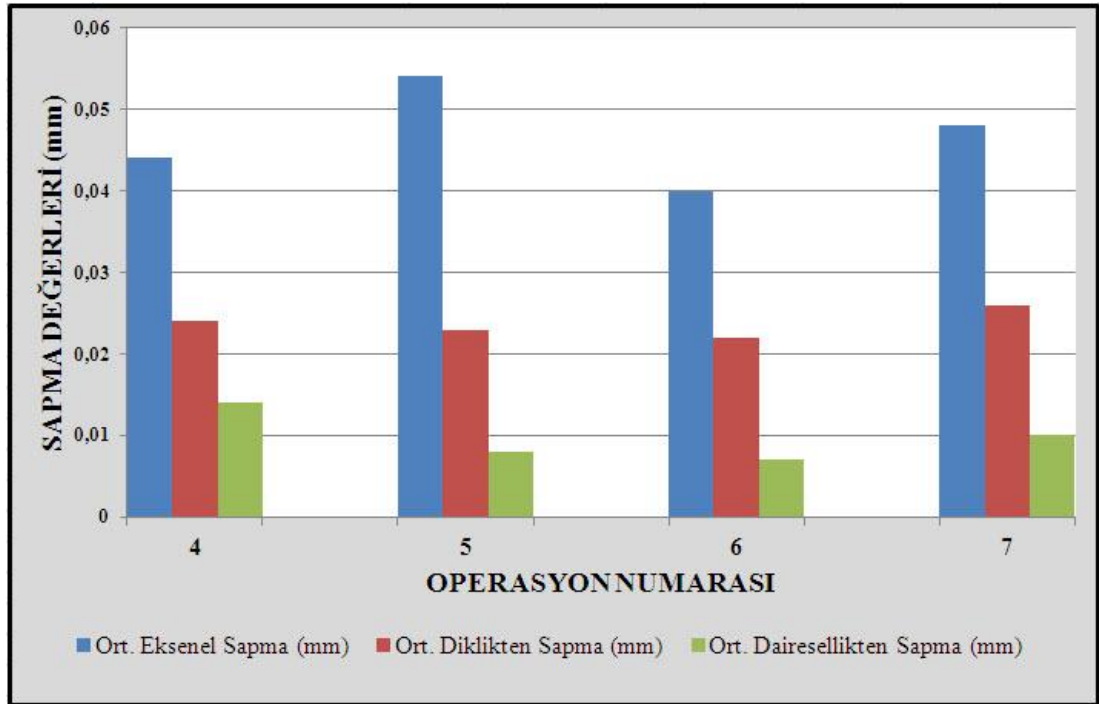
Eksenel sapma 0,04 mm ortalamasında, diklikten sapma ise 0,022 mm ortalamasında ölçülmüştür. 1. deliğin üst ve alt kısmında ölçülen dairesellikten sapma farkı 0,007 mm iken 20. delikte 0,006 mm ölçülmüştür. Sayısal ölçüm değerleri ve takım aşınması görüntülerinden de anlaşılacağı gibi kennametal marka kaplamalı karbür takım, bu kesme parametrelerinde mükemmel sonuç vermiştir.

7 numaralı deneyde 5 ve 6 numaralı deneylerde kullanılan kesme hızı kullanılmış, ilerleme hızı artırılmıştır. 15,1 m/dk kesme hızı, 600 dev/dk devir sayısı ve 0,06 mm/dev ilerleme hızında 20 delik delme planlanmıştır. 20 delikte delinmiştir. Takımda hafif aşınma ve kesici kenarlarda hafif talaş birikmesi gözlenmiştir. 1. delikte alt ve üst çap arasındaki fark 0,007 mm iken 20. delikte bu fark 0,001 mm ölçülmüştür. Eksenel sapma 0,048 mm ortalamasında, diklikten sapma ise 0,026 mm ortalamasında ölçülmüştür. 1. deliğin üst ve alt kısmında ölçülen dairesellikten sapma farkı 0,012 mm iken 20. delikte 0,008 mm ölçülmüştür. Bu kesme parametrelerinde takım iyi performans gösterse de ilerleme hızının yükselmesi takımda hafif aşınmaya sebebiyet vermiştir.

Uygulanan deneylerde ortalama ilk ve son delik çaplarının grafiği Şekil 6.3'de, ortalama eksenel sapma, diklikten sapma ve dairesellikten sapma değerlerinin grafiği ise Şekil 6.4'de gösterilmiştir. Sonuç olarak kaplamalı karbür takım ile 40 deliğin başarıyla delinmesine karşın hafif aşınma gözlenmiştir. Bu aşınmayı giderebilmek için kesme ve ilerleme hızı düşürülerek daha iyi performans hedeflenmiştir. Kaplamalı karbür takımlar Ti6Al4V titanyum alaşımının delinmesinde çok iyi performans göstermiştir. Kullanılan kesme parametreleri bu takımlarda iyi sonuçlar vermiştir. 6 numaralı deneyde uygulanan kesme parametreleri, kullanılan kaplamalı karbür takım ile mükemmel bir sonuç vermiştir.



Şekil 6.3. Kaplamalı karbür ile delinen deliklerin ortalama üst ve alt delik çapları.



Şekil 6.4. Kaplamalı karbür ile delinen deliklerin ortalama eksenel sapma, diklikten sapma ve dairesellikten sapma değerleri.

### 6.1.3. Kaplamasız Kısa HSS Takımın Değerlendirilmesi

Kaplamasız kısa HSS takım ile farklı kesme parametrelerinde 5 farklı delik delme deneyi uygulanmıştır. Deneyler sonucu elde edilen ölçüm sonuçları ve takım aşınması görüntüleri EK-III'de verilmiştir.

8 numaralı deneyde HSS matkaplar için katalogdan kesme parametreleri seçilmiştir. 10 m/dk kesme hızı, 400 dev/dk devir sayısı ve 0,037 mm/dev ilerleme hızında 10 delik delme planlanmıştır. Fakat 7. delikte matkap aşınmış ve körelmiştir. 1. ve 7. delikte de alt ve üstteki çap farkı 0,01 mm çıkmıştır. Eksenel sapma 0,083 mm ortalamasında, diklikten sapma ise 0,046 mm ortalamasında ölçülmüştür. 1. deliğin üst ve alt kısmında ölçülen dairesellikten sapma farkı 0,054 mm iken 7. delikte 0,033 mm ölçülmüştür. Çıkan sayısal değerler ve takım aşınması görüntüleri değerlendirildiğinde kesme parametrelerinin uygun olmadığı görülmüştür.

9 numaralı deneyde 8 numaralı deneydeki olumsuz durumlar değerlendirilerek kesme parametreleri değiştirilmiştir. 7,5 m/dk kesme hızı, 300 dev/dk devir sayısı ve 0,05 mm/dev ilerleme hızında 10 delik delme planlanmıştır. 10 delikte başarıyla delinmiştir. Matkabın ucunda hafif yanmalar gözlenmiştir. 1. ve 10. delikte de alt ve üst çap arasındaki fark 0,01 mm mertebesini geçmemiştir. Eksenel sapma 0,15 mm ortalamasında, diklikten sapma ise 0,083 mm ortalamasında ölçülmüştür. 1. deliğin üst ve alt kısmında ölçülen dairesellikten sapma farkı 0,061 mm iken 10. delikte 0,034 mm ölçülmüştür. Çıkan sayısal değerler ve takım aşınması görüntüleri değerlendirildiğinde kesme parametrelerinin 8 numaralı operasyona göre iyi çıktığı söylenebilir. Fakat daha iyi sonuçlar için kesme parametreleri değerlendirilmelidir.

10 numaralı deneyde 9 numaralı deneydeki uygun kesme hızı ve devir sayısı korunmuş, ilerleme hızındaki artışın sayısal değerler ve takım aşınması üzerindeki etkisine bakılmıştır. 7,5 m/dk kesme hızı, 300 dev/dk devir sayısı ve 0,065 mm/dev ilerleme hızında 10 delik delme planlanmış, 10 delikte başarıyla delinmiştir. Matkabın ucunda hafif yanmalar gözlenmiştir, fakat körelme 9 numaralı operasyona göre daha az olmuştur. 1. ve 10. delikte alt ve üst çap farkı daha da azalarak 0,01 mm'den daha da az ölçülmüştür. Eksenel sapma 0,123 mm ortalamasında, diklikten

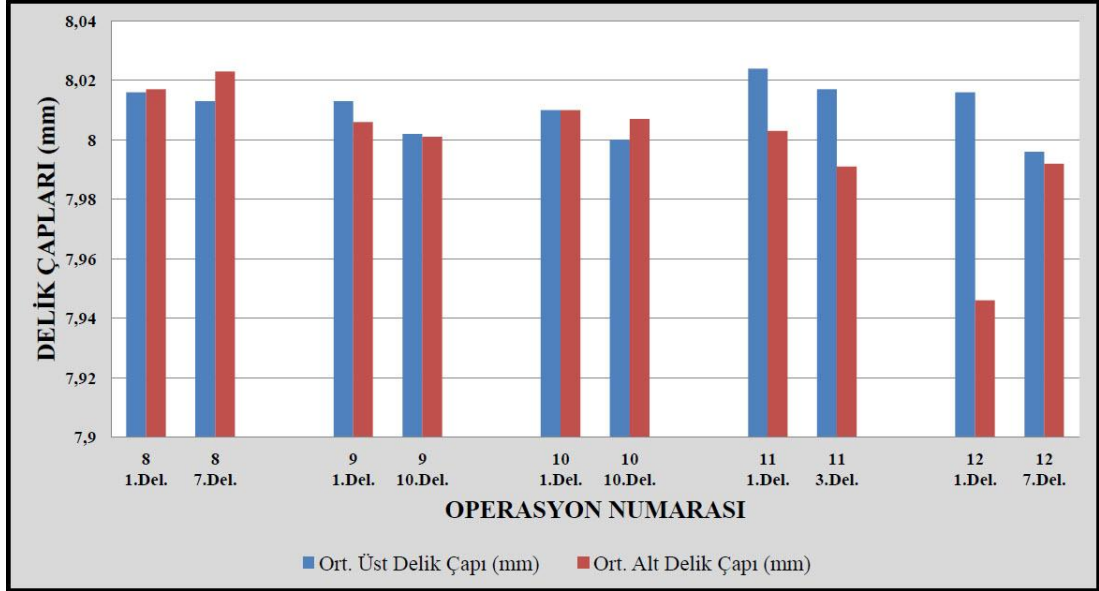
sapma ise 0,068 mm ortalamasında ölçülmüştür. 1. deliğin üst ve alt kısmında ölçülen dairesellikten sapma farkı 0,05 mm iken 10. delikte de 0,019 mm ölçülmüştür. 9 numaralı operasyona göre takım aşınması, delik çapları, aksenal sapma, diklikten sapma ve dairesellikten sapma değerleri iyi çıkmıştır.

11 numaralı deneyde 10 numaralı deneye göre kesme hızı düşürülmüş, buna bağlı olarak devir sayısı da düşürülmüş fakat ilerleme hızı artırılmıştır. 6,3 m/dk kesme hızı, 250 dev/dk devir sayısı ve 0,08 mm/dev ilerleme hızında 10 delik delme planlanmıştır. Fakat 3. delikten sonra matkap aşırı derecede körelmiştir. Delik çapları 1. delikte iyi görünürken 3. delikte altta  $\text{Ø}8,017$  mm, üstte  $\text{Ø}7,991$  mm ölçülmüştür. 10 numaralı deneye göre kesme hızının düşürülmesi ve ilerleme hızının artırılması olumsuz sonuç vermiştir.

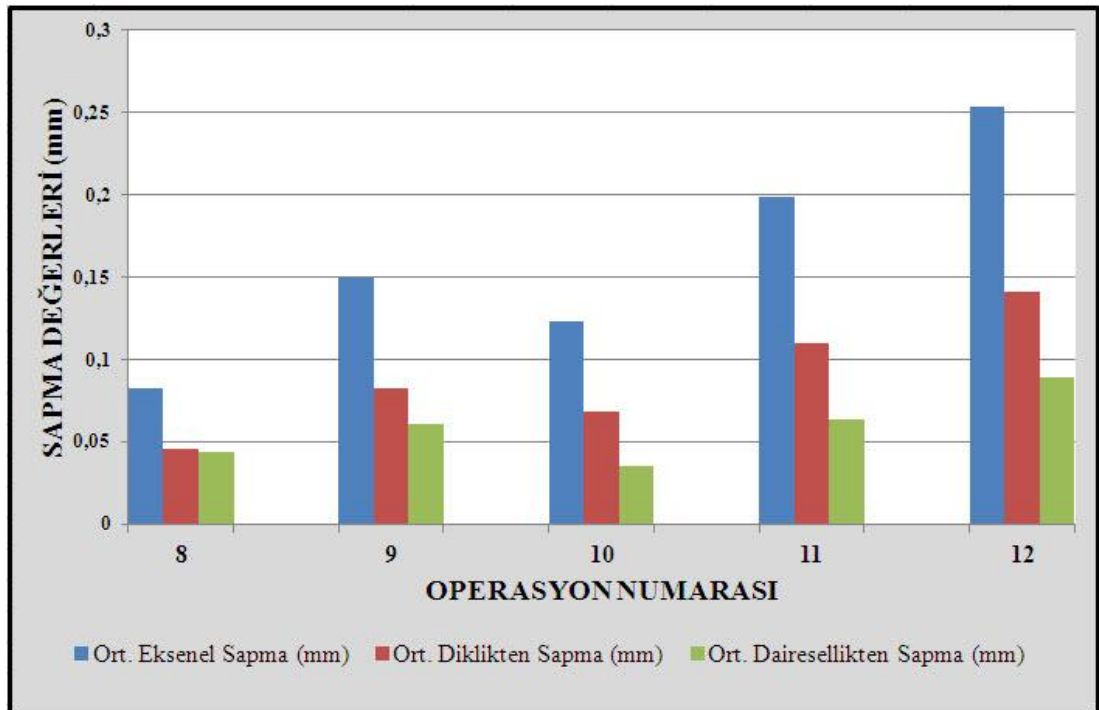
12 numaralı deneyde 11 numaralı deneye göre kesme hızı artırılmış fakat ilerleme hızı aynı tutulmuştur. Burada amaçlanan 10 numaralı deneydeki uygun kesme hızının yüksek ilerleme miktarı ile denenmesidir. 7,5 m/dk kesme hızı, 300 dev/dk devir sayısı ve 0,08 mm/dev ilerleme hızında 10 delik delme planlanmıştır. Fakat matkap 7. delik sonunda aşınmış ve uç kısmında yanmalar gözlenmiştir. 1. delikte alt ve üst çap farkı 0,07 mm iken 7. delikte 0,01 mm ölçülmüştür. Matkabın dış köşesinin aşınmasından dolayı 7. delikte delik çapı  $\text{Ø}7,992$  mm ye kadar düşmüştür. Aksenal sapma diğer delme operasyonlarına göre yüksek ortalama 0,253 mm çıkmıştır. Diklikten sapma ise 0,141 mm ortalamasında ölçülmüştür. 1. deliğin üst ve alt kısmında ölçülen dairesellikten sapma farkı 0,081 mm iken 10. delikte 0,096 mm çıkmıştır. Bu operasyonda kullanılan yüksek ilerleme hızı ile 7,2 m/dk kesme hızı olumlu sonuç vermemiştir. İlerleme hızının yüksek olması matkabın dış köşesinin aşırı aşınmasına hatta kırılmasına neden olmuştur.

Uygulanan deneyler sonucunda ölçülen ortalama üst ve alt delik çapları Şekil 6.5'de, ortalama aksenal sapma, diklikten sapma ve dairesellikten sapma değerleri ise Şekil 6.6'da gösterilmiştir. Sonuç olarak; kaplamasız HSS takımlar ile titanyum alaşımlarının delinmesi esnasında takımda aşırı ısınma ve buna bağlı olarak aşınma gözlenmektedir. Delik çapları ve aksenal sapma değerleri kötü, takım aşınması hızlı

olmaktadır. Kullanılan kesme parametreleri içerisinde en uygunu 10 numaralı deneyde uygulanan kesme parametreleridir.



Şekil 6.5. Kaplamasız kısa HSS ile delinen deliklerin ortalama üst ve alt delik çapları.



Şekil 6.6. Kaplamasız kısa HSS ile delinen deliklerin ortalama eksenel sapma, diklikten sapma ve dairesellikten sapma değerleri.



#### 6.1.4. Kaplamasız Uzun HSS Takımın Değerlendirilmesi

Kaplamasız uzun HSS takım ile farklı kesme parametrelerinde 4 farklı delik delme deneyi uygulanmıştır. Deneyler sonucu elde edilen ölçüm sonuçları ve takım aşınması görüntüleri EK-IV'de verilmiştir.

13 numaralı deneyde kısa HSS takımlara göre kesme hızı yüksek tutulmuş, ilerleme hızında ortalama bir değer alınmıştır. 8,8 m/dk kesme hızı, 350 dev/dk devir sayısı ve 0,04 mm/dev ilerleme hızında 10 delik delme planlanmıştır. 10 delikte başarıyla delinmiştir, fakat matkapta körelmeler ve kesici kenar yüzeyinde aşınma ve kırılmalar meydana gelmiştir. 1. delikte alt ve üst çap farkı 0,032 mm iken 10. delikte bu fark 0,041 mm'ye çıkmıştır. 10 delik içinde alt delik çaplarında Ø8 mm'nin altına düşen değerler görülmektedir. Eksenel sapma 0,17 mm ortalamasında, diklikten sapma ise 0,095 mm ortalamasında ölçülmüştür. 1. deliğin üst ve alt kısmında ölçülen dairesellikten sapma farkı 0,132 mm iken 10. delikte 0,059 mm ölçülmüştür. Kesme hızının çok olumlu sonuçlar vermese de ölçülen sayısal değerler ve takım aşınması iyi görünmektedir.

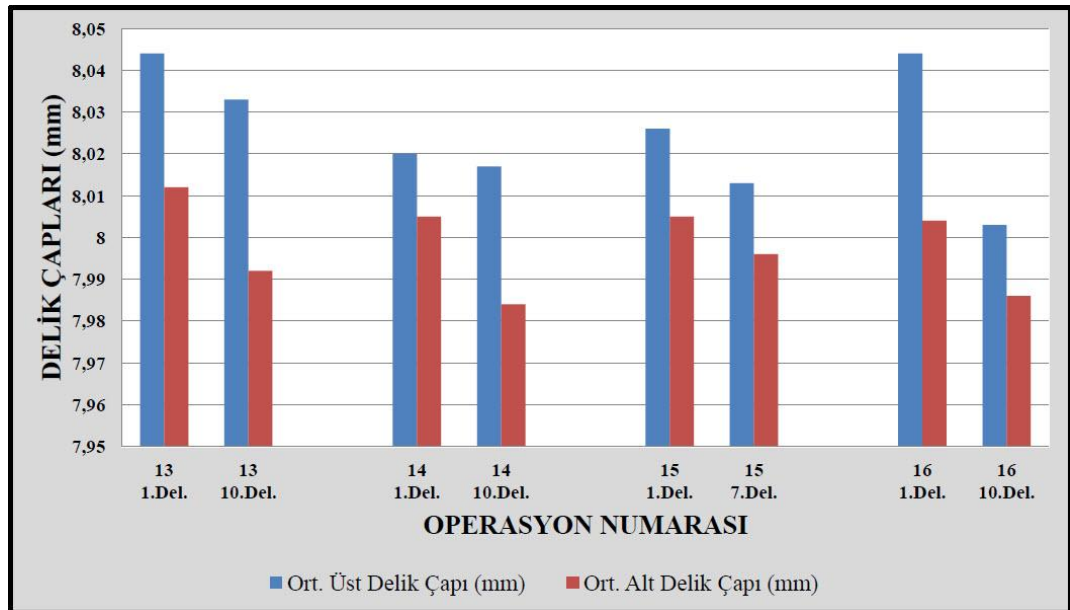
14 numaralı deneyde kesme hızı düşürülmüş, ilerleme hızı artırılmıştır. 7,5 m/dk kesme hızı, 300 dev/dk devir sayısı ve 0,05 mm/dev ilerleme hızında 10 delik delme planlanmıştır. 10 delikte başarıyla delinmiştir. Takımın kesici kenarında hafif kırılmalar görülmektedir. 1. delikte alt ve üst çap arasındaki fark 0,015 mm iken 10. delikte 0,033 mm'ye çıkmıştır. Matkabın kesici kenarındaki kırılmalardan dolayı son deliklere doğru çap değeri 8 mm'nin altına düşmüştür. Eksenel sapma 0,172 mm ortalamasında, diklikten sapma ise 0,096 mm ortalamasında ölçülmüştür. 1. deliğin üst ve alt kısmında ölçülen dairesellikten sapma farkı 0,122 mm iken 10. delikte 0,04 mm ölçülmüştür. 13 numaralı operasyona göre kesme hızının düşürülüp, ilerleme hızının artırılması olumlu sonuç vermiş; takım aşınmasının azalmasına, ölçülen sayısal değerlerin iyileşmesine neden olmuştur.

15 numaralı deneyde kesme hızı sabit tutularak ilerleme hızı biraz daha artırılmıştır. 7,5 m/dk kesme hızı, 300 dev/dk devir sayısı ve 0,065 mm/dev ilerleme hızında 10 delik delme planlanmıştır. Fakat 7. delik sonunda matkabın kesici kenar ucu

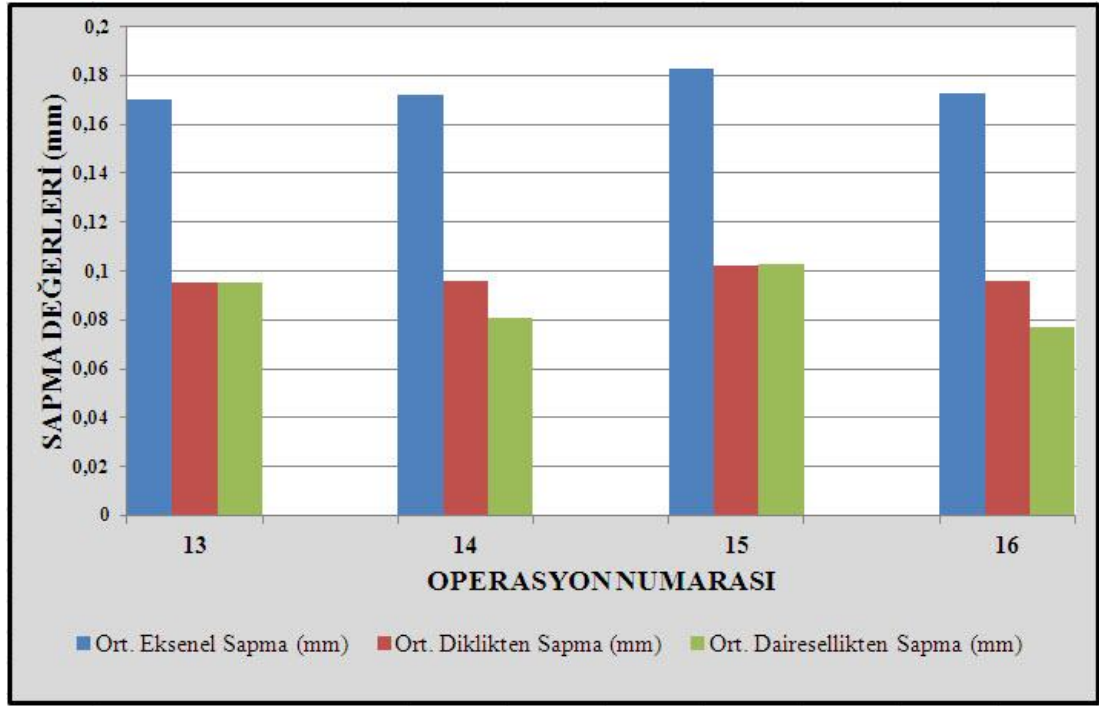
kırılmıştır. 1. delikte alt ve üst çap arasındaki fark 0,019 mm iken 7. delikte 0,017 mm ölçülmüştür. Eksenel sapma 0,183 mm ortalamasında, diklikten sapma ise 0,102 mm ortalamasında ölçülmüştür. 1. deliğin üst ve alt kısmında ölçülen dairesellikten sapma farkı 0,161 mm iken 10. delikte 0,045 mm ölçülmüştür. İlerleme hızının artırılması iyi sonuç vermemiştir.

16 numaralı deneyde artan ilerleme hızına kesme hızının düşük kaldığı düşünülerek, ilerleme ve kesme hızı artırılmıştır. 8,8 m/dk kesme hızı, 350 dev/dk devir sayısı ve 0,07 mm/dev ilerleme hızında 10 delik delme planlanmıştır. 10 delikte başarıyla delinmiştir. Fakat 14 numaralı deneye göre ölçülen sayısal değerler ve matkap aşınması kötü sonuç vermiştir.

Uygulanan deneylerde ortalama üst ve alt delik çapları Şekil 6.7’de, ortalama eksenel sapma, diklikten sapma ve dairesellikten sapma değerleri ise Şekil 6.8’de gösterilmiştir. Kaplamasız uzun HSS takımlarda da, kısa HSS takımlarla aynı sorunlar yaşanmaktadır. Uzun HSS takımlarda uç bölgesinde oluşan sıcaklığın az olmasından dolayı kısa HSS takımlara göre takım aşınması daha az gözlenmiştir. Kullanılan kesme parametrelerine içinde 14 numaralı deneyde kullanılan kesme parametreleri en iyi sonucu vermiştir.



Şekil 6.7. Kaplamasız kısa HSS ile delinen deliklerin ortalama üst ve alt delik çapları.



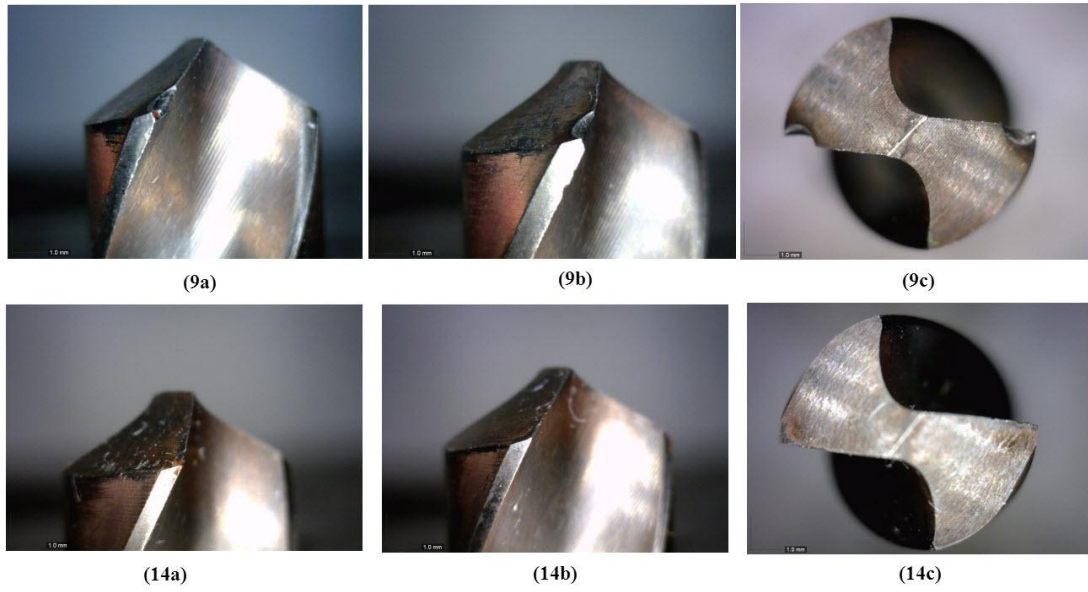
Şekil 6.8. Kaplamasız kısa HSS ile delinen deliklerin ortalama eksenel sapma, diklikten sapma ve dairesellikten sapma değerleri.

## 6.2. KISA VE UZUN HSS MATKAPLARIN AYNI KESME PARAMETRELERİNDE DEĞERLENDİRİLMESİ

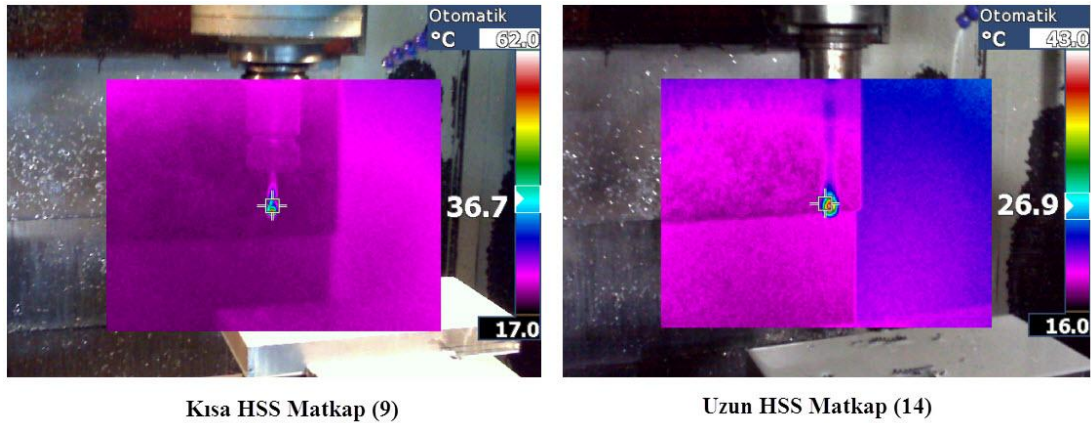
Aynı yapıdaki kısa ve uzun HSS matkaplara aynı kesme parametrelerinde 2'şer deney uygulanmıştır. Aynı kesme hızlarında ve buna bağlı olarak aynı devir sayısında ve 2 farklı ilerleme hızında deneyler yapılmıştır. 9 ve 10 numaralı deneyler kısa HSS matkap için, 14 ve 15 numaralı deneyler ise uzun HSS matkap için uygulanmıştır. 9 ve 14 numaralı deneylerde 7,5 m/dk kesme hızı, 300 dev/dk devir sayısı ve 0,05 mm/dev ilerleme hızında karşılaştırma yapılmıştır. 10 ve 15 numaralı deneylerde ise 7,2 m/dk kesme hızı, 300 dev/dk devir sayısı ve 0,065 mm/dev ilerleme hızında karşılaştırma yapılmıştır. Bu deneylerin detaylı değerlendirmesi 6.1.3 ve 6.1.4 bölümlerinde yapılmıştır.

9 numaralı deneydeki delik çapları 14 numaralı deneye göre daha iyi gelirken; eksenel sapma, diklikten sapma ve dairesellikten sapma değerlerine bakıldığında 14 numaralı deneyde kullanılan uzun takım daha iyi sonuç vermiştir. Takım aşınmalarına bakıldığında HSS uzun takımın daha az aşındığı görülmektedir. Şekil

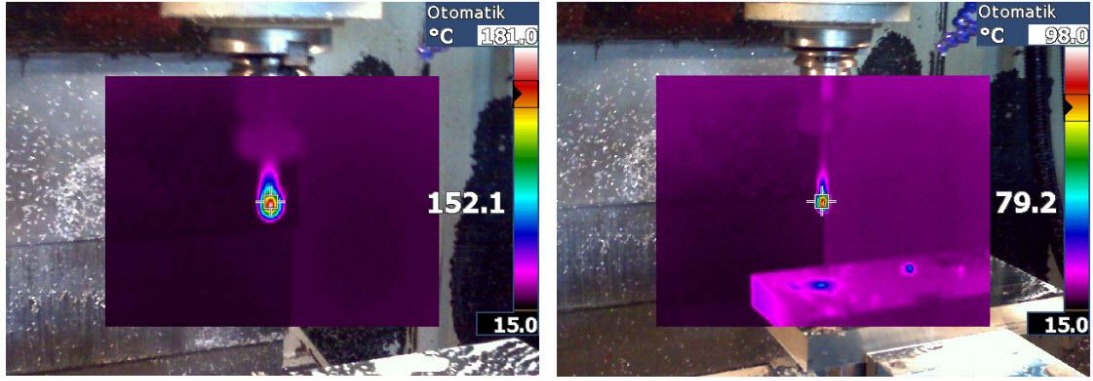
6.9'da (9a), (9b) ve (9c)'de kısa takımda, (14a), (14b) ve (14c)'de ise uzun takımda meydana gelen aşınmalar görülmektedir. Ayrıca Şekil 6.11'de delme işlemi sonrası kısa ve uzun takımda meydana gelen sıcaklık değerleri görülmektedir. Şekilden de anlaşılacağı gibi uzun takım kısa takımdan daha az ısınmıştır. Ayrıca 9 ve 14 numaralı operasyonlarda kullanılan matkaplar 1'er delikte susuz çalıştırılarak sıcaklık değerleri gözlenmiş, Şekil 6.13'den de anlaşılacağı gibi uzun takım daha az ısınmıştır.



Şekil 6.9. 9 ve 14 numaralı deneylerde kullanılan kaplamasız kısa ve uzun HSS matkapların aşınma görüntüleri.



Şekil 6.11. 9 ve 14 numaralı deneylerde kullanılan kaplamasız kısa ve uzun HSS matkaplarda delme işlemi sonrası oluşan sıcaklık değerleri.

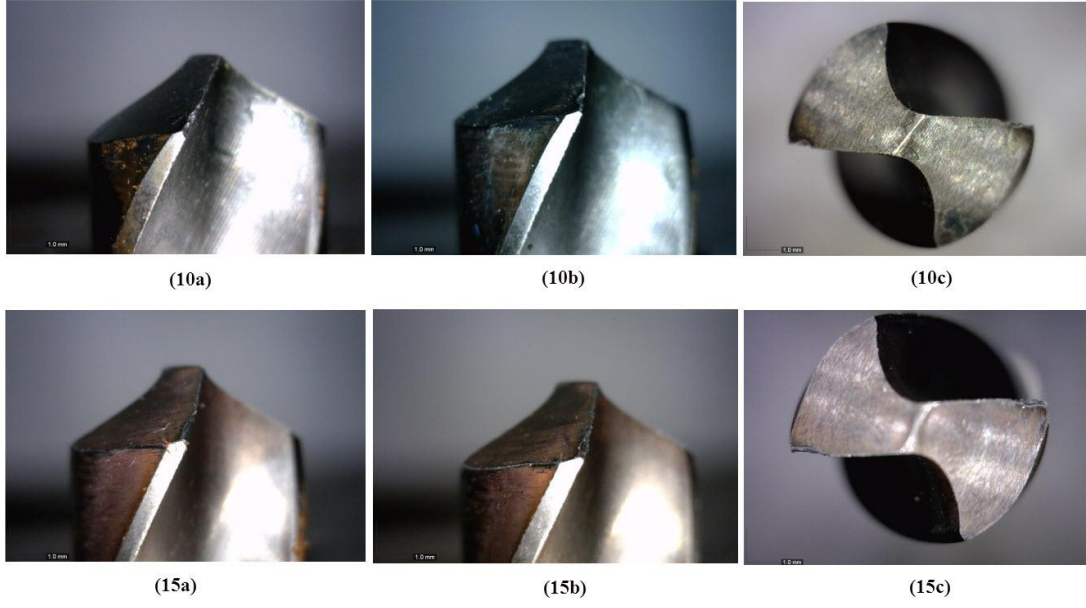


Kısa HSS Matkap (9)  
Soğutma Sıvısız Delme

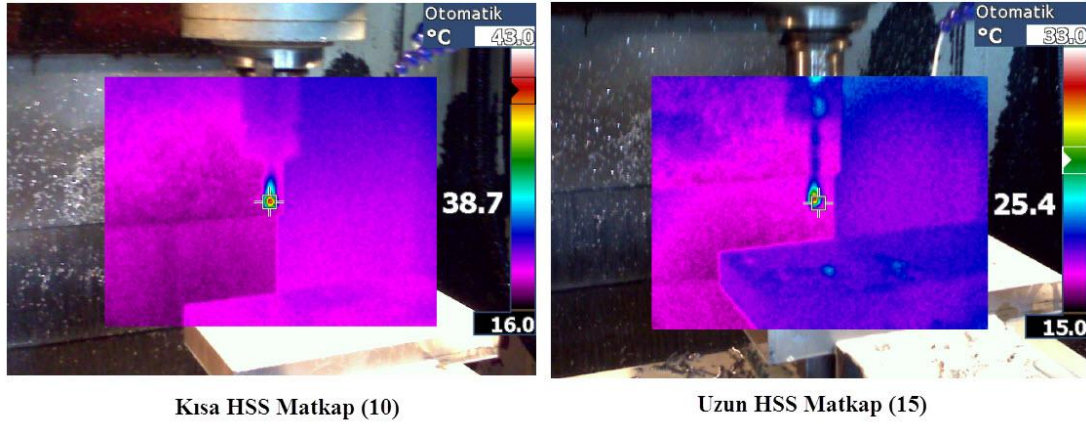
Uzun HSS Matkap (14)  
Soğutma Sıvısız Delme

Şekil 6.13. 9 ve 14 numaralı deneylerde kullanılan kaplamasız kısa ve uzun HSS matkaplarda kesme sıvısız delme işlemi sonrası oluşan sıcaklık değerleri.

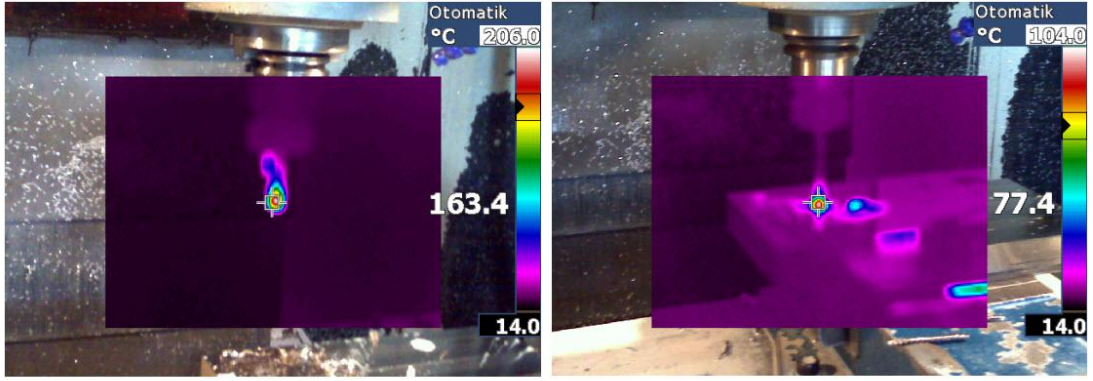
10 numaralı deneydeki delik çapları, aksenal sapma, diklikten sapma ve dairesellikten sapma değerleri 15 numaralı deneyde kullanılan uzun HSS takımına göre daha iyi gelmiştir. Takım aşınmalarına bakıldığında HSS uzun takımın daha az aşındığı görülmektedir. Şekil 6.10'da (10a), (10b) ve (10c)'de kısa takımında, (15a), (15b) ve (15c)'de ise uzun takımında meydana gelen aşınmalar görülmektedir. Ayrıca Şekil 6.12'de delme işlemi sonrası kısa ve uzun takımında meydana gelen sıcaklık değerleri görülmektedir. Şekilden de anlaşılacağı gibi uzun takım kısa takımından daha az ısınmıştır. Ayrıca 10 ve 15 numaralı deneylerde kullanılan matkaplar 1'er delikte soğutma sıvısız çalıştırılarak sıcaklık değerleri gözlenmiş, Şekil 6.14'den de anlaşılacağı gibi uzun takım daha az ısınmıştır.



Şekil 6.10. 10 ve 15 numaralı deneylerde kullanılan kaplamasız kısa ve uzun HSS matkapların aşınma görüntüleri.



Şekil 6.12. 10 ve 15 numaralı deneylerde kullanılan kaplamasız kısa ve uzun HSS matkaplarda delme işlemi sonrası oluşan sıcaklık değerleri.



**Kısa HSS Matkap (10)  
Soğutma Sıvısız Delme**

**Uzun HSS Matkap (15)  
Soğutma Sıvısız Delme**

Şekil 6.14. 10 ve 15 numaralı deneylerde kullanılan kaplamasız kısa ve uzun HSS matkaplarda kesme sıvısız delme işlemi sonrası oluşan sıcaklık değerleri.

Sonuç olarak, uzun takımın kısa takıma göre uç kısmından iletilen sıcaklığı daha iyi dağıttığı görülmüştür. Ayrıca uzun takımında pensle iş parçası arası mesafesi daha uzun olduğundan uç kısmına daha iyi kesme sıvısı ulaşabilmekte takım daha iyi soğumakta ve daha az aşınmaktadır. Uzun takımında, daha fazla salgı olduğundan çap ve geometriksel tolerans değerleri kısa takıma göre daha kötü gelmektedir.

## BÖLÜM 7

### SONUÇLAR VE ÖNERİLER

#### 7.1. SONUÇLAR

Bu çalışmada Ti6Al4V titanyum alaşımının delinebilirliği araştırılmıştır. 4 farklı türde matkap ile değişik kesme parametrelerinde 16 farklı delme işlemi uygulanmış, sonunda delik çapları, aksenal sapma, diklikten sapma ve dairesellikten sapma ile takım aşınması kontrolü yapılmıştır. Deneyler ve gözlemler neticesinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Kaplamalı HSS takımlarda uygulanan 3 farklı delme deneyi sonucunda; 12,5 m/dk kesme hızı ve en düşük 0,04 mm/dev ilerleme hızının kullanıldığı 2 numaralı deneyde; delik çapları, geometrik tolerans kontrolü ve takım aşınması açısından en iyi kesme parametreleri açısından en iyi sonuçlar alınmıştır.
- Kaplamalı karbür takımlarda uygulanan 4 farklı delme operasyonu sonucunda; 15,1 m/dk kesme hızı ve 0,05 mm/dev ilerleme hızının kullanıldığı 6 numaralı deneyde, delik çapları, geometrik tolerans kontrolü ve takım aşınması açısından en iyi kesme parametreleri açısından en iyi sonuçlar alınmıştır.
- Kaplamasız kısa HSS takımlarda 5 farklı delme operasyonu sonucunda; 7,5 m/dk kesme hızı ve 0,065 mm/dev ilerleme hızının kullanıldığı 10 numaralı deneyde, delik çapları, geometrik tolerans kontrolü ve takım aşınması açısından en iyi sonuçlar alınmıştır.
- Kaplamasız uzun HSS takımlarda 4 farklı delme operasyonu sonucunda, 7,5 m/dk kesme hızı ve 0,05 mm/dev ilerleme hızının kullanıldığı 14 numaralı deneyde, delik çapları, geometrik tolerans kontrolü ve takım aşınması



açısından en iyi sonuçlar alınmıştır.

- Kaplamasız kısa ve uzun HSS takımlarda aynı kesme parametreleri ve aynı kesme şartlarında uygulanan 2'şer delme operasyonu sonucunda, uzun takımdeki takım aşınmasının kısa takıma göre daha az olduğu görülmüştür.
- Delik çapının kontrolü açısından bakıldığında, kaplamalı karbür takımla uygulanan 15,1 m/dk kesme hızı ve 0,05 mm/dev ilerleme hızı ile en ideal delik çapına ulaşılmıştır.
- Eşeksensellikten sapma kontrolü açısından bakıldığında, kaplamalı karbür takımla uygulanan 15,1 m/dk kesme hızı ve 0,05 mm/dev ilerleme hızı ile en düşük ekstenel sapma değerine ulaşılmıştır.
- Diklikten sapma kontrolü açısından bakıldığında, kaplamalı karbür takımla uygulanan 15,1 m/dk kesme hızı ve 0,05 mm/dev ilerleme hızı ile en düşük diklikten sapma değerine ulaşılmıştır.
- Dairesellikten sapma kontrolü açısından bakıldığında, yine kaplamalı karbür takımla uygulanan 15,1 m/dk kesme hızı ve 0,05 mm/dev ilerleme hızı ile en düşük dairesellikten sapma değerine ulaşılmıştır.

## **7.2. ÖNERİLER**

- Takım ömrü ve ölçü hassasiyeti açısından titanyum alaşımlarının delinmesinde kaplamalı karbür takım kullanılabilir.
- HSS takımlarda 7,5 m/dk kesme hızı, karbür takımlarda ise 15,1 m/dk kesme hızı uygulanabilir.
- Delme işleminde gagalama miktarı az olmalıdır.

- İmkanlar dahilinde içten soğutmalı takım kullanılmalıdır. Eğer içten soğutma kullanılmıyorsa, soğutma sıvısı takım ucuna mümkün olduğunca çok ulaştırılmalıdır.

Bu çalışmada ele alınamayan fakat üzerinde çalışılabilecek konular :

- Farklı çaplarda karbür matkapların en ideal kesme parametreleri belirlenebilir,
- Aynı çapta uzun ve kısa karbür matkapların kesme parametreleri belirlenebilir,
- Aynı çapta içten soğutmalı takımlarda kesme hızının en çok nereye kadar çıkabileceğine bakılabilir,
- Kör delik ve boydan boya delik arasındaki çap, takım aşınması ve geometrik tolerans kontrolüne bakılabilir,

## KAYNAKLAR

1. Ousthuizen, G. A., Akdogan, G., Dimitrov, D., Treurnicht, N. F., "A review of the machinability of titanium Alloys", *R&D Journal of the South African Institution of Mechanical Engineering*, 26-43 (2010).
2. Leyens, C., Peters, M., "Titanium and titanium alloys-fundamentals and applications", *WILEY-VCH Verlag GmbH&Co. KGaA*, Weinheim, 1-37, 333-599 (2003).
3. ASM Committee, "Introduction to titanium and its alloys", *ASM Metals Handbook Vol2, ASM International, Metals Park*, USA, 1770-1771 (1980).
4. Dikicioğlu, A., "Titanyum ve titanyum alaşımlarının kaynak kabiliyetleri ders notları", *İstanbul Teknik Üniversitesi*, İstanbul, 2-3 (2007).
5. Veiga, C., Davim, J. P., Loureiro, J. R., "Properties and applications of titanium alloys: a brief review", *Advanced Study Center Co.Ltd.*, Portugal, 134-135, (2012).
6. ASM Committee, "Heat treating of titanium and its alloys", *ASM Metals Handbook Vol4, ASM International, Metals Park*, USA, 2044 (1980).
7. M. J. D. R., Jr., "Titanium: a technical guide", *ASM International, Metals Park*, USA (1988).
8. Ribeiro, M. V., Moreira, M. R. V., Ferreira, J. R., "Optimization of titanium alloy (6Al-4V) machining", *Journal of Materials Processing Technology*, Brazil, 143-144, 458-463 (2003).
9. Ezugwu, E. O., Bonney, J., Yamane, Y., "An overview of the machinability of aeroengine alloys", *Journal of Materials Processing Technology*, 233-253 (2003).
10. Fujii, H., "Strengthening of  $\alpha+\beta$  titanium alloys by thermomechanical processing", *Materials Science and Engineering*, A243: 103-108 (1998).
11. Lauer, G., Wiedmann-Al-Ahmad, M., Otten, J. E., Hübner, U., Schmelzeisen, R., Schilli, W., "The titanium surface texture effects adherence and growth of human gingival keratinocytes and human maxillar osteoblast-like cells in vitro", *Biomaterials*, Germany, 2799-2809 (2001).
12. Citeau, A., Guicheux, J., Vinatler, C., Layrolle, P., Ngugen, T. P., Pilet, P., Daculsi, G., "In vitro biological effects of titanium rough surface obtained by calcium phosphate grid blasting", *Biomaterials*, France, 157-165 (2004).

13. Anselme, K., Bigerelle, M., “Topography effects of pure titanium substrates on human osteoblast long-term adhesion”, *Acta Biomaterialia*, France, 211-222 (2004).
14. Fujii, H., Yamashita, Y., Takahashi, K., “Application of titanium and its alloys for automobile parts”, *Nippon Steel Technical Report*, 70-75 (2003).
15. Sandvik Coromant, “Modern Metal Cutting”, *Sandvikens Tryckeri*, Sweden, 2-61 (1994).
16. Palmer, W.B., Oxley, P.L.B., “Mechanics of orthogonal machining”, *Proc. Inst. Mech. Engrs.*, 173: 623 (1959).
17. Akkurt, M., “Talaş kaldırma yöntemleri ve takım tezgahları”, *Birsen Yayınevi*, 178-179, İstanbul (1999).
18. Şahin, N., “Tesviyecilik meslek teknolojisi-I”, *Bayt Ltd.Şti.*, Ankara, 35-45 (2001).
19. Çakır, M. C., “Modern talaşlı imalat yöntemleri”, *Vipaş A.Ş.*, Bursa, 350-390 (2000).
20. İnternet : Matkap Ucu, “Etiket Arşivi”, <http://www.matkapucu.gen.tr/etiket/matkap-ucu> (2015).
21. Bağcı, M., “Tesviyecilik teknolojisi”, Çeviri, Mesleki ve Teknik Öğretim Kitapları, *Milli Eğitim Bakanlığı*, Ankara, 170-175 (1960).
22. Aslantaş, K., “Delik delme işlemi, Delme Tezgahları, İleri delik delme işlemleri ders notları”, *Afyon Kocatepe Üniversitesi*, Afyon, 24-25.
23. Seco Tools, “Delik delme kataloğu”, *Seco Tools*, İstanbul, 26-34 (2015).
24. Yalçın, B., Yılmaz, N., “Ark PVD yüzey kaplama metoduyla titanyum nitrür (TiN) kaplanmış matkap takımlarında takım aşınmasının deneysel olarak incelenmesi”, *Mühendis ve Makine*, 531 (2004).
25. Sharif, S., Rahim, E.A., Sasahara, H., “Machinability of titanium alloys in drilling”, *Intech* (2012).
26. Dolinsek, S., Sustarsic, B., Kopac, J., “Wear mechanisms of cutting tools in high-speed cutting processes”, *Wear*, 1-12 (2001).
27. Avuncan, G., “Kesici takımların bilenmesi”, *Mavi Tanıtım ve Pazarlama Ltd.Şti. Yayınları*, Gebze, 62-80 (1998).
28. Cantero, J. L., Tardío, M. M., Canteli, J. A., Marcos, M., Miguélez, M. H., “Dry drilling of alloy Ti-6Al-4V”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 45:1246-1255 (2005).

29. Zeilmann, R. P., Weingaertner, W. L., “Analysis of temperature during drilling of Ti6Al4V with minimal quantity of lubricant”, *Journal of Material Processing Technology*, 179: 124-127 (2007).
30. Li, R., Albaert, J. S., “Spiral point temperature and stress in high-throughput drilling of titanium”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 47: 2005-2017, (2007).
31. Sharif, S., Rahim, E.A., “Performance of coated and uncoated carbide tools when drilling titanium alloy-Ti-6Al4V”, *Journal of Materials Processing Technology*, 185: 72-76 (2007).
32. Heinemann, R., Hinduja, S., Barrow, G., Petuelli, G., “Effect of MQL on the tool life of small twist drills in deep-hole drilling”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 46: 1-6 (2006).
33. Ezugwu, E. O., Da Silva, R. B., Bonney, J., Machado, A. R., “Evaluation of the performance of CBN tools when turning Ti-6Al-4V alloy with high pressure coolant supplies”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 45: 1009-1114 (2005).
34. Ünal, E., Karaca, F., “Ti-6Al-4V alaşımının dik işlem merkezli CNC tezgahında işlenebilirliğinin araştırılması”, *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları*, 135-139 (2007).
35. Kıvak, T., “Inconel 718’in delinebilirliğinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 21-34 (2007).
36. Lacalle, L. N., Lopez de, P. J., Llorente, J. I., Sanchez, J. A., “Advanced cutting conditions for the milling of aeronautical alloys”, *Journal of Materials Processing Technology*, 100: 1-11 (2000).
37. Su, Y., He, N., Li, L., Li, X. L., “An experimental investigation of effects of cooling/lubrication conditions on tool wear in high-speed end milling of Ti-6Al-4V”, *Wear*, 261: 760-766 (2006).
38. Xu, J. H., Geng, G. S., “Experimental study on the milling of a Ti beta 21S”, *Journal of Materials Processing Technology*, 129: 190-192 (2002).
39. Hashmi, K., Graham, I. D., Mill, B., “Fuzzy logic based data selection for the drilling process”, *Journal of Materials Processing Technology*, 55-62 (2000).
40. İnternet : Dino-lite, “Dino-lite Dijital Mikroskoplar”, <http://www.dino-lite.eu/index.php/tr/urunler/mikroskoplar/uzun-calisma-mesafesi> (2015).
41. İnternet : Fluke, “Fluke Ti25 Termal Görüntüleme Cihazı”, <http://www.fluke.com/fluke/trtr/termal-goruntuleyiciler/fluke-ti25> (2015).
42. Makine Takım Endüstrisi, “MTE 2013 fiyat listesi”, *Makine Takım Endüstrisi*, Kocaeli, 14-29 (2013).

43. Nachi, “SG-ESS ve AG-ES matkap kataloğu”, *Nachi*, İstanbul, 1-7 (2012).
44. Kennametal, “Yüksek performans karbür takım kataloğu”, *Kennametal*, Germany, 101-103 (2012).

**EK AÇIKLAMALAR A.**

**KAPLAMALI HSS MATKAP DELİK DELME DENEY SONUÇLARI**

Çizelge EK A.1. Kaplamalı HSS matkap ölçüm sonuçları.

DELİK NO	DELİK ÇAPI (mm) (üst)	DELİK ÇAPI (mm) (alt)	EŞ EKSENİLİKTEN SAPMA (mm)	DİKLİKTEN SAPMA (mm)	DAİRESELLİKTEN SAPMA (mm)(üst)	DAİRESELLİKTEN SAPMA (mm)(alt)	Operasyon No
1	8.045	8.048	0.060	0.034	0.014	0.032	1
2	2. Delikte malzeme matkaba sarmıştır.						

DELİK NO	DELİK ÇAPI (mm) (üst)	DELİK ÇAPI (mm) (alt)	EŞ EKSENİLİKTEN SAPMA (mm)	DİKLİKTEN SAPMA (mm)	DAİRESELLİKTEN SAPMA (mm)(üst)	DAİRESELLİKTEN SAPMA (mm)(alt)	Operasyon No
3	8.010	8.014	0.030	0.018	0.007	0.010	2
4	8.036	8.011	0.110	0.061	0.034	0.009	
5	8.016	8.010	0.049	0.028	0.019	0.017	
6	8.004	8.010	0.094	0.051	0.013	0.009	
7	8.007	8.009	0.046	0.025	0.011	0.015	
8	8.004	8.015	0.128	0.071	0.018	0.015	
9	8.014	8.020	0.160	0.090	0.036	0.019	
10	8.015	8.007	0.083	0.045	0.034	0.008	

DELİK NO	DELİK ÇAPI (mm) (üst)	DELİK ÇAPI (mm) (alt)	EŞ EKSENİLİKTEN SAPMA (mm)	DİKLİKTEN SAPMA (mm)	DAİRESELLİKTEN SAPMA (mm)(üst)	DAİRESELLİKTEN SAPMA (mm)(alt)	Operasyon No
11	8.013	8.020	0.078	0.044	0.035	0.026	3
12	8.009	8.014	0.121	0.066	0.011	0.014	
13	7.997	8.002	0.029	0.016	0.013	0.022	
14	8.004	8.006	0.076	0.042	0.019	0.011	
15	7.999	8.000	0.053	0.029	0.041	0.011	
16	8.005	8.013	0.064	0.035	0.030	0.019	
17	8.001	8.009	0.145	0.080	0.038	0.013	
18	7.994	8.002	0.047	0.027	0.033	0.014	
19	8.018	8.020	0.112	0.063	0.022	0.020	
20	8.014	8.010	0.098	0.053	0.033	0.034	

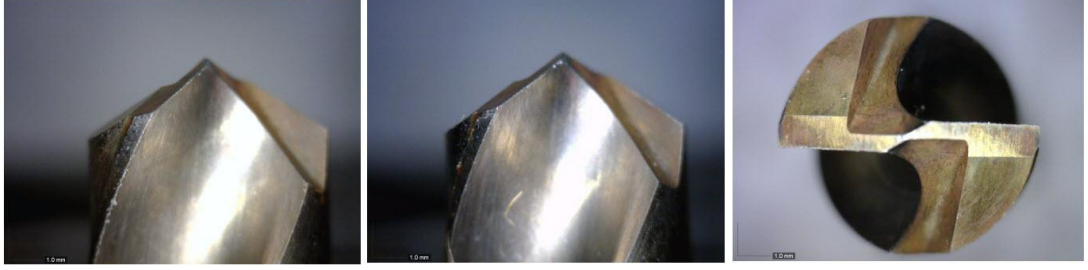




(1a)

(1b)

(1c)



(2a)

(2b)

(2c)



(3a)

(3b)

(3c)

Şekil EK A.1. Kaplamasız HSS matkap takım aşınması görüntüleri.

**EK AÇIKLAMALAR B.**

**KAPLAMALI KARBÜR MATKAP DELİK DELME DENEY SONUÇLARI**

Çizelge EK B.1. Kaplamalı karbür matkap ölçüm sonuçları.

DELİK NO	DELİK ÇAPI (mm) (üst)	DELİK ÇAPI (mm) (alt)	EŞ EKSENİLİKTEN SAPMA (mm)	DİKLİKTEN SAPMA (mm)	DAİRESELLİKTEN SAPMA (mm)(üst)	DAİRESELLİKTEN SAPMA (mm)(alt)	Operasyon No
21	8.040	8.033	0.021	0.012	0.018	0.007	4
22	8.037	8.019	0.085	0.043	0.019	0.057	
23	8.034	8.029	0.010	0.005	0.012	0.011	
24	8.030	8.026	0.075	0.041	0.021	0.008	
25	8.045	8.039	0.093	0.052	0.021	0.009	
26	8.032	8.032	0.031	0.018	0.019	0.012	
27	8.025	8.026	0.041	0.022	0.015	0.009	
28	8.038	8.033	0.041	0.022	0.014	0.009	
29	8.024	8.024	0.038	0.021	0.013	0.010	
30	8.033	8.026	0.047	0.026	0.033	0.011	
31	8.044	8.034	0.082	0.046	0.034	0.006	
32	8.025	8.028	0.018	0.011	0.023	0.013	
33	8.029	8.028	0.013	0.007	0.014	0.013	
34	8.025	8.026	0.035	0.020	0.012	0.011	
35	8.036	8.030	0.042	0.024	0.014	0.012	
36	8.040	8.030	0.051	0.028	0.014	0.007	
37	8.031	8.030	0.031	0.018	0.014	0.010	
38	8.036	8.034	0.049	0.027	0.014	0.015	
39	8.038	8.036	0.090	0.051	0.030	0.016	
40	8.041	8.034	0.047	0.025	0.014	0.014	
41	8.028	8.034	0.012	0.007	0.011	0.012	
42	8.042	8.035	0.041	0.022	0.022	0.013	
43	8.047	8.037	0.083	0.046	0.017	0.010	
44	8.036	8.032	0.078	0.042	0.004	0.008	
45	8.025	8.028	0.021	0.011	0.034	0.009	
46	8.031	8.025	0.039	0.021	0.015	0.008	
47	8.029	8.025	0.028	0.016	0.021	0.008	
48	8.050	8.030	0.055	0.030	0.017	0.020	
49	8.029	8.024	0.012	0.006	0.010	0.007	
50	8.031	8.027	0.006	0.003	0.017	0.005	
51	8.034	8.029	0.072	0.040	0.024	0.008	
52	8.034	8.028	0.052	0.028	0.017	0.014	
53	8.028	8.026	0.009	0.005	0.009	0.008	
54	8.034	8.030	0.023	0.013	0.011	0.011	
55	8.031	8.031	0.076	0.042	0.011	0.016	
56	8.026	8.029	0.037	0.021	0.008	0.009	
57	8.028	8.026	0.025	0.014	0.025	0.005	
58	8.034	8.028	0.009	0.005	0.020	0.013	
59	8.036	8.023	0.071	0.039	0.020	0.013	
60	8.032	8.026	0.078	0.043	0.015	0.013	

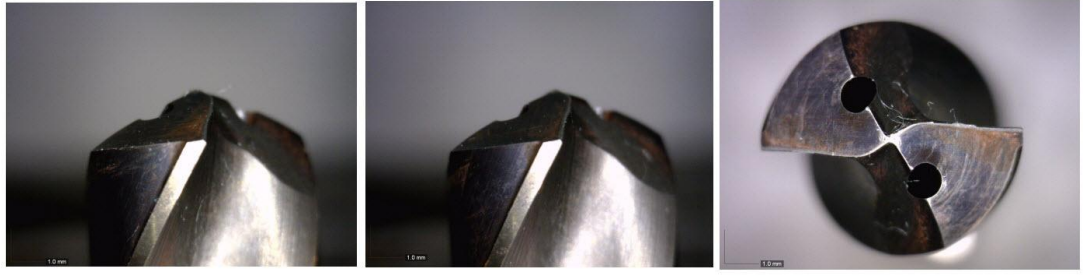
Çizelge EK B.1. (devam ediyor).

DELİK NO	DELİK ÇAPı (mm) (üst)	DELİK ÇAPı (mm) (alt)	EŞ EKSENİLİKİTEN SAPMA (mm)	DİKLİKİTEN SAPMA (mm)	DAİRESELLİKİTEN SAPMA (mm)(üst)	DAİRESELLİKİTEN SAPMA (mm)(alt)	Operasyon No
61	8.031	8.023	0.065	0.035	0.016	0.009	5
62	8.018	8.018	0.030	0.016	0.015	0.003	
63	8.026	8.016	0.047	0.025	0.016	0.007	
64	8.016	8.017	0.064	0.035	0.009	0.010	
65	8.015	8.018	0.037	0.021	0.009	0.008	
66	8.015	8.021	0.021	0.012	0.020	0.004	
67	8.022	8.018	0.033	0.018	0.007	0.005	
68	8.019	8.019	0.014	0.008	0.007	0.009	
69	8.017	8.018	0.032	0.017	0.007	0.007	
70	8.031	8.024	0.056	0.030	0.009	0.004	
71	8.030	8.020	0.054	0.030	0.012	0.004	
72	8.014	8.020	0.050	0.024	0.019	0.006	
73	8.018	8.022	0.043	0.024	0.016	0.009	
74	8.014	8.021	0.026	0.015	0.010	0.005	
75	8.018	8.019	0.058	0.031	0.010	0.013	
76	8.015	8.022	0.034	0.019	0.011	0.005	
77	8.025	8.021	0.067	0.037	0.009	0.004	
78	8.024	8.023	0.044	0.023	0.007	0.006	
79	8.014	8.022	0.061	0.035	0.008	0.003	
80	8.020	8.016	0.079	0.044	0.010	0.006	

DELİK NO	DELİK ÇAPı (mm) (üst)	DELİK ÇAPı (mm) (alt)	EŞ EKSENİLİKİTEN SAPMA (mm)	DİKLİKİTEN SAPMA (mm)	DAİRESELLİKİTEN SAPMA (mm)(üst)	DAİRESELLİKİTEN SAPMA (mm)(alt)	Operasyon No
81	8.019	8.021	0.032	0.018	0.008	0.007	6
82	8.020	8.018	0.011	0.005	0.015	0.007	
83	8.019	8.018	0.013	0.007	0.003	0.008	
84	8.020	8.019	0.058	0.033	0.010	0.006	
85	8.019	8.017	0.034	0.019	0.004	0.007	
86	8.019	8.018	0.067	0.038	0.006	0.007	
87	8.010	8.021	0.034	0.019	0.010	0.008	
88	8.015	8.021	0.056	0.031	0.008	0.004	
89	8.019	8.019	0.060	0.033	0.006	0.008	
90	8.021	8.019	0.054	0.030	0.009	0.011	
91	8.022	8.019	0.052	0.028	0.007	0.003	
92	8.013	8.020	0.032	0.017	0.005	0.010	
93	8.025	8.021	0.032	0.017	0.005	0.002	
94	8.013	8.025	0.027	0.015	0.002	0.006	
95	8.024	8.019	0.061	0.033	0.009	0.005	
96	8.014	8.019	0.050	0.028	0.006	0.006	
97	8.012	8.019	0.046	0.025	0.004	0.004	
98	8.015	8.020	0.037	0.020	0.010	0.009	
99	8.021	8.019	0.036	0.020	0.007	0.003	
100	8.018	8.020	0.026	0.014	0.007	0.008	

Çizelge EK B.1. (devam ediyor).

DELİK NO	DELİK ÇAPı (mm) (üst)	DELİK ÇAPı (mm) (alt)	EŞ EKSENİLİKİTEN SAPMA (mm)	DİKLİKİTEN SAPMA (mm)	DAİRESELLİKİTEN SAPMA (mm)(üst)	DAİRESELLİKİTEN SAPMA (mm)(alt)	Operasyon No
101	8.027	8.020	0.008	0.003	0.024	0.012	7
102	8.016	8.018	0.047	0.025	0.003	0.005	
103	8.019	8.018	0.050	0.027	0.013	0.007	
104	8.014	8.021	0.042	0.023	0.010	0.008	
105	8.016	8.018	0.028	0.014	0.008	0.006	
106	8.016	8.018	0.056	0.030	0.015	0.014	
107	8.014	8.019	0.049	0.026	0.011	0.007	
108	8.018	8.018	0.069	0.038	0.016	0.012	
109	8.016	8.013	0.071	0.040	0.005	0.007	
110	8.015	8.019	0.066	0.037	0.012	0.007	
111	8.017	8.018	0.026	0.014	0.018	0.006	
112	8.021	8.020	0.021	0.012	0.024	0.004	
113	8.023	8.016	0.055	0.030	0.025	0.008	
114	8.012	8.016	0.047	0.027	0.005	0.008	
115	8.017	8.021	0.075	0.042	0.007	0.007	
116	8.016	8.018	0.054	0.030	0.014	0.006	
117	8.013	8.019	0.045	0.025	0.006	0.009	
118	8.015	8.017	0.046	0.026	0.009	0.013	
119	8.014	8.015	0.047	0.026	0.008	0.008	
120	8.017	8.016	0.065	0.037	0.016	0.008	



(4a)

(4b)

(4c)



(5a)

(5b)

(5c)



(6a)

(6b)

(6c)



(7a)

(7b)

(7c)

Şekil EK B.1. Kaplamalı karbür matkap takım aşınması görüntüleri.

**EK AÇIKLAMALAR C.**

**KAPLAMASIZ KISA HSS MATKAP DELİK DELME DENEY SONUÇLARI**

Çizelge EK C.1. Kaplamasız kısa HSS matkap ölçüm sonuçları.

DELİK NO	DELİK ÇAPI (mm) (üst)	DELİK ÇAPI (mm) (alt)	EŞ EKSENLİLİKTEN SAPMA (mm)	DİKLİKTEN SAPMA (mm)	DAİRESELLİKTEN SAPMA (mm)(üst)	DAİRESELLİKTEN SAPMA (mm)(alt)	Operasyon No
121	8.016	8.017	0.141	0.076	0.022	0.011	8
122	8.014	8.008	0.092	0.053	0.040	0.026	
123	8.019	8.019	0.007	0.004	0.067	0.047	
124	8.021	8.036	0.072	0.040	0.063	0.024	
125	8.020	8.020	0.032	0.018	0.024	0.017	
126	8.022	8.016	0.139	0.077	0.104	0.076	
127	8.013	8.023	0.104	0.059	0.064	0.033	

DELİK NO	DELİK ÇAPI (mm) (üst)	DELİK ÇAPI (mm) (alt)	EŞ EKSENLİLİKTEN SAPMA (mm)	DİKLİKTEN SAPMA (mm)	DAİRESELLİKTEN SAPMA (mm)(üst)	DAİRESELLİKTEN SAPMA (mm)(alt)	Operasyon No
131	8.013	8.006	0.079	0.044	0.014	0.015	9
132	8.022	8.003	0.130	0.072	0.082	0.055	
133	8.003	8.005	0.110	0.062	0.058	0.016	
134	8.027	7.998	0.169	0.094	0.100	0.050	
135	8.001	8.002	0.075	0.043	0.042	0.013	
136	8.012	8.005	0.219	0.122	0.046	0.022	
137	8.015	8.005	0.133	0.073	0.077	0.041	
138	8.004	8.004	0.189	0.106	0.087	0.059	
139	8.008	8.000	0.166	0.092	0.072	0.053	
140	8.002	8.001	0.234	0.130	0.041	0.022	

DELİK NO	DELİK ÇAPI (mm) (üst)	DELİK ÇAPI (mm) (alt)	EŞ EKSENLİLİKTEN SAPMA (mm)	DİKLİKTEN SAPMA (mm)	DAİRESELLİKTEN SAPMA (mm)(üst)	DAİRESELLİKTEN SAPMA (mm)(alt)	Operasyon No
141	8.010	8.010	0.093	0.054	0.046	0.030	10
142	8.021	8.009	0.124	0.068	0.048	0.019	
143	8.020	8.005	0.057	0.031	0.051	0.030	
144	8.020	8.009	0.144	0.080	0.063	0.017	
145	8.021	8.007	0.097	0.054	0.064	0.018	
146	8.002	8.005	0.091	0.051	0.035	0.010	
147	8.007	8.004	0.094	0.052	0.047	0.010	
148	8.013	8.003	0.183	0.101	0.072	0.029	
149	8.008	7.997	0.241	0.135	0.060	0.024	
150	8.000	8.007	0.115	0.063	0.017	0.012	

DELİK NO	DELİK ÇAPI (mm) (üst)	DELİK ÇAPI (mm) (alt)	EŞ EKSENLİLİKTEN SAPMA (mm)	DİKLİKTEN SAPMA (mm)	DAİRESELLİKTEN SAPMA (mm)(üst)	DAİRESELLİKTEN SAPMA (mm)(alt)	Operasyon No
151	8.024	8.003	0.190	0.105	0.087	0.046	11
152	8.011	7.998	0.191	0.106	0.088	0.054	
153	8.017	7.991	0.216	0.119	0.073	0.040	



Çizelge EK C.1. (devam ediyor).

DELİK NO	DELİK ÇAPI (mm) (üst)	DELİK ÇAPI (mm) (alt)	EŞ EKSENLİLİKTEKİN SAPMA (mm)	DİKLİKTEKİN SAPMA (mm)	DAİRESELLİKTEKİN SAPMA (mm)(üst)	DAİRESELLİKTEKİN SAPMA (mm)(alt)	Operasyon No
154	8.016	7.946	0.382	0.214	0.030	0.080	12
155	8.001	7.963	0.281	0.157	0.097	0.095	
156	7.994	7.982	0.292	0.161	0.075	0.059	
157	8.000	7.998	0.096	0.055	0.112	0.063	
158	8.001	7.972	0.265	0.147	0.083	0.087	
159	7.996	7.985	0.218	0.121	0.070	0.124	
160	7.996	7.992	0.238	0.132	0.103	0.166	



(8a)

(8b)

(8c)



(9a)

(9b)

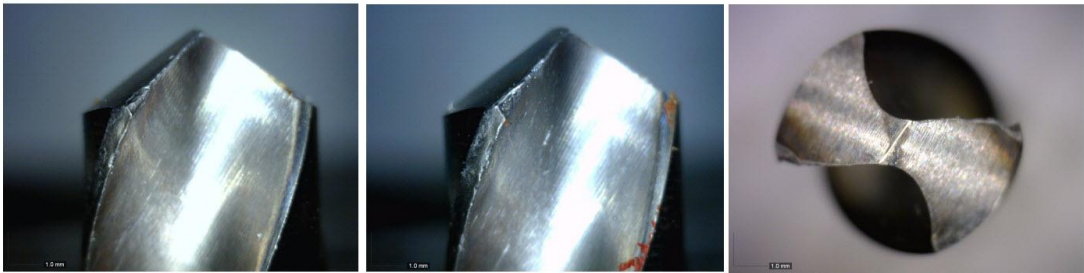
(9c)



(10a)

(10b)

(10c)



(11a)

(11b)

(11c)



(12a)

(12b)

(12c)

Şekil EK C.1. Kaplamasız kısa HSS matkap takım aşınması görüntüleri.

**EK AÇIKLAMALAR D.**

**KAPLAMASIZ UZUN HSS MATKAP DELİK DELME DENEY SONUÇLARI**

Çizelge EK D.1. Kaplamasız uzun HSS matkap ölçüm sonuçları.

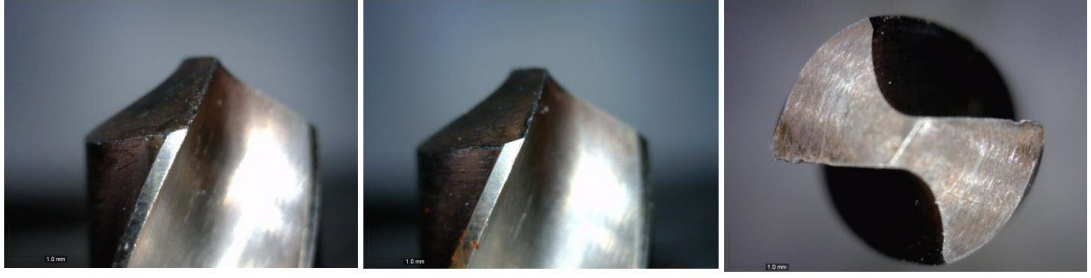
DELİK NO	DELİK ÇAPI (mm) (üst)	DELİK ÇAPI (mm) (alt)	EŞ EKSENİLİKTEN SAPMA (mm)	DİKLİKTEN SAPMA (mm)	DAİRESELLİKTEN SAPMA (mm)(üst)	DAİRESELLİKTEN SAPMA (mm)(alt)	Operasyon No
161	8.044	8.012	0.063	0.035	0.080	0.028	13
162	8.068	7.994	0.198	0.111	0.191	0.084	
163	8.054	8.007	0.179	0.100	0.225	0.073	
164	8.022	8.003	0.089	0.050	0.090	0.024	
165	8.030	8.007	0.092	0.050	0.118	0.052	
166	8.040	7.993	0.207	0.115	0.160	0.092	
167	8.032	7.975	0.267	0.150	0.153	0.071	
168	8.008	7.997	0.192	0.108	0.059	0.021	
169	8.023	8.004	0.184	0.103	0.099	0.024	
170	8.033	7.992	0.234	0.130	0.148	0.121	

DELİK NO	DELİK ÇAPI (mm) (üst)	DELİK ÇAPI (mm) (alt)	EŞ EKSENİLİKTEN SAPMA (mm)	DİKLİKTEN SAPMA (mm)	DAİRESELLİKTEN SAPMA (mm)(üst)	DAİRESELLİKTEN SAPMA (mm)(alt)	Operasyon No
171	8.020	8.005	0.116	0.064	0.069	0.041	14
172	8.033	8.016	0.297	0.166	0.049	0.028	
173	8.047	8.009	0.132	0.074	0.134	0.019	
174	8.006	8.004	0.139	0.077	0.065	0.028	
175	8.059	8.006	0.117	0.065	0.169	0.029	
176	8.042	8.003	0.098	0.053	0.167	0.021	
177	8.031	8.000	0.239	0.133	0.101	0.038	
178	8.044	7.986	0.165	0.093	0.189	0.078	
179	8.029	7.986	0.218	0.122	0.137	0.066	
180	8.017	7.984	0.208	0.116	0.140	0.050	

DELİK NO	DELİK ÇAPI (mm) (üst)	DELİK ÇAPI (mm) (alt)	EŞ EKSENİLİKTEN SAPMA (mm)	DİKLİKTEN SAPMA (mm)	DAİRESELLİKTEN SAPMA (mm)(üst)	DAİRESELLİKTEN SAPMA (mm)(alt)	Operasyon No
181	8.026	8.005	0.202	0.113	0.112	0.038	15
182	8.031	8.004	0.187	0.103	0.128	0.030	
183	8.051	8.004	0.205	0.114	0.169	0.032	
184	8.032	8.003	0.116	0.064	0.187	0.026	
185	8.039	7.970	0.232	0.131	0.204	0.112	
186	8.015	8.002	0.133	0.074	0.153	0.041	
187	8.035	7.996	0.205	0.114	0.191	0.031	
188	8.013	7.996	0.186	0.104	0.147	0.050	

Çizelge EK D.1. (devam ediyor).

DELİK NO	DELİK ÇAPI (mm) (üst)	DELİK ÇAPI (mm) (alt)	EŞ EKSENİLİKTEKİ SAPMA (mm)	DİKLİKTEKİ SAPMA (mm)	DAİRESELLİKTEKİ SAPMA (mm)(üst)	DAİRESELLİKTEKİ SAPMA (mm)(alt)	Operasyon No
191	8.044	8.004	0.183	0.101	0.100	0.018	16
192	8.049	8.000	0.093	0.051	0.137	0.023	
193	8.064	7.991	0.264	0.148	0.172	0.042	
194	8.021	7.994	0.136	0.075	0.107	0.032	
195	8.044	7.985	0.205	0.114	0.151	0.050	
196	7.997	7.991	0.152	0.085	0.054	0.015	
197	8.038	7.975	0.203	0.114	0.165	0.047	
198	8.037	7.983	0.216	0.119	0.164	0.070	
199	8.002	8.012	0.044	0.025	0.040	0.022	
200	8.003	7.986	0.238	0.132	0.071	0.060	



(13a)

(13b)

(13c)



(14a)

(14b)

(14c)



(15a)

(15b)

(15c)



(16a)

(16b)

(16c)

Şekil EK D.1. Kaplamasız uzun HSS matkap takım aşınması görüntüleri.

## **ÖZGEÇMİŞ**

Nuri BIÇAKCI 1981 yılında Ankara’da doğdu; ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. 2000 yılında Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü, Talaşlı Üretim Öğretmenliği Anabilim Dalı’nda öğrenime başlayıp 2004 yılında mezun oldu. 2005 yılı ortasında askerliği tamamlayıp, aynı yıl Matek Mühendislik firmasında 6 ay çalıştı. 2006 yılı başında Küçükpazarlı Havacılık firmasında proses mühendisi olarak başladı, 2010 yıl ortasına kadar çalıştı. 2010 yılında Tübitak-Sage’de mekanik tasarımcı olarak başladığı görevine halen devam ediyor.

### **ADRES BİLGİLERİ**

Adres : Yenibatı Mah. 2220.Cad. Nisanur Sit. 35/34 Batıkent/ANKARA  
Tel : (506) 389 50 81  
E-posta : [nuri.bicakci@hotmail.com](mailto:nuri.bicakci@hotmail.com)