



**Ti6Al4V MALZEMESİNİN FARKLI
GEOMETRİDEKİ MATKAPLARLA DELİNMESİ
ESNASINDA MATKAP SICAKLIĞININ
İNCELENMESİ**

**2020
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ**

Can YİĞİT

**Tİ6Al4V MALZEMESİNİN FARKLI GEOMETRİDEKİ MATKAPLARLA
DELİNMESİ ESNASINDA MATKAP SICAKLIĞININ İNCELENMESİ**

Can YİĞİT

T.C.

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında

Yüksek Lisans Tezi

Olarak Hazırlanmıştır

KARABÜK

Ocak 2020

Can YİĞİT tarafından hazırlanan “Ti6Al4V MALZEMESİNİN FARKLI GEOMETRİDEKİ MATKAPLARLA DELİNMESİ ESNASINDA MATKAP SICAKLIĞININ İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ

Tez Danışmanı, Çankırı Karatekin Üniversitesi Makine Mühendisliği

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 10/01/2020

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Halil DEMİR (KBÜ)

Üye : Prof. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ (ÇAKÜ)

Üye : Prof. Dr. Abdulmecit GÜLDAŞ (GÜ)

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ

Lisansüstü Eğitim 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.”

Can YİĞİT

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Ti6Al4V MALZEMESİNİN FARKLI GEOMETRİDEKİ MATKAPLARLA DELİNMESİ ESNASINDA MATKAP SICAKLIĞININ İNCELENMESİ

Can YİĞİT

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ

Ocak 2020, 57 sayfa

Ti6Al4V alaşımı sahip olduğu üstün özellikleri sebebi ile havacılık ve medikal sektöründe önemli yere sahiptir. Ti6Al4V alaşımı sanayide en çok kullanılan titanyum alaşımlarındandır. Kullanımı sırasında sağladığı avantajların yanında şekillendirilmesi sırasında alaşımların düşük ısı iletkenliği, düşük kimyasal kararlılığı ve düşük elastiklik modülü işlenmelerini zorlaştırmaktadır. Bu malzemenin talaşlı imalat yöntemleriyle şekillendirilmeleri yüksek maliyetleri beraberinde getirmektedir. İşleme maliyetlerinin düşürülmesinde işlem değişkenlerinin ve kesici takım geometrisinin uygun seçimi büyük önem taşımaktadır. Bu malzemenin işlenmesinde uygun işlem değişkenleri üzerine çok sayıda çalışmalar olduğu görülmektedir. Ancak, delme işleminde kullanılan matkap boylarının etkisine dair fazla bir çalışma görülmemektedir. Bu çalışmada aynı helis uzunluğunda ancak farklı boylardaki matkapların Ti6Al4V malzemenin delinmesinde matkaplarda oluşan sıcaklıklar belirlenmiştir. Özellikle matkaplarda oluşan sıcaklıklar ile aşınma arasında ilişki kurulmaya çalışılmıştır.

Anahtar Sözcükler : Ti6Al4V Alaşımı, delme, sıcaklık.

Bilim Kodu : 91438

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

INVESTIGATION OF DRILL TEMPERATURE DURING DRILLING Ti6Al4V MATERIALS WITH DIFFERENT GEOMETRY DRILLS

Can YİĞİT

**Karabük University
Institute of Graduate Programs
Department of Manufacturing Engineering**

Thesis Advisor:

Prof. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ

January 2020, 57 pages

Ti6Al4V alloy has an important place in aerospace and medical sector due to its superior properties. Ti6Al4V alloy is one of the most used titanium alloys in the industry. Low thermal conductivity, low chemical stability and low modulus of elasticity of the alloy during the forming process make it difficult to process. Shaping of this material with machining methods brings high costs. Proper selection of process variables and cutting tool geometry is of paramount importance in reducing machining costs. There are numerous studies on the appropriate variables in the machining of this material. However, there is not much study on the effect of drill length used in drilling. In this study, the temperatures in drilling Ti6Al4V were determined when using the drills of the same helix length but different overall length. In particular, it was tried to establish a relationship between temperatures and drill wear.

Key Word : Ti6Al4V Alloy, drilling, heat

Science Code : 916.3.028

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen,engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım yönlendirme ve bilgilendirmeleri ile çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Prof. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ'ye, KÜSİ İl Temsilcisi Prof. Dr. Halil DEMİR'e ve delme deneylerinde ve deney tasarımında ciddi katkılar sağlayan Dr. Hüseyin GÖKÇE'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca bu süreçte desteklerini esirgemeyen Atasan Metal San. Tic. Ltd. Şti ailesine de teşekkürü bir borç bilirim.

Bu Yüksek Lisans Tez Çalışmasında, Karabük Üniversitesi Rektörlüğü BAP Komisyonuna KBÜ-BAP-16/2-YL-077 numaralı projeye desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Sevgili aileme, maddi ve manevi yardımlarını benden esirgemedi her zaman yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	3
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
BÖLÜM 3	7
KURAMSAL TEMELLER	7
3.1. TİTANYUM VE TİTANYUM ALAŞIMLARI	7
3.1.1. Titanyum Alaşımlarının Sınıflandırılması.....	8
3.1.1.1. Saf Titanyum.....	8
3.1.1.2. α Fazıyla Alaşımlandırılma Yapılmış Titanyum	9
3.1.1.3. β Fazıyla Alaşımlandırılma Yapılmış Titanyum	9
3.1.1.4. α/β Fazıyla Alaşımlandırılma Yapılmış Titanyum	10
3.1.1.5. Ti6Al4V Alaşımı	10
3.1.2. Titanyum ve Alaşımlarının Uygulama Alanları	11
3.2. DELİK DELME	13
3.2.1. Delik Delme İşlemi.....	13
3.2.2. Delik Delme İşleminde Kullanılan Matkaplar.....	14

	<u>Sayfa</u>
3.2.3. Matkapların Sınıflandırılması	15
3.2.3.1. Konik Uçlu Matkaplar	15
3.2.3.2. Helisel Uçlu Matkaplar	16
3.2.3.3. Bickford Uçlu Matkaplar	17
3.2.3.4. Adım Matkaplar	18
3.2.3.5. Radyal Uçlu Matkaplar	18
3.2.2. Talaş Oluşumu	20
3.3. Ti6Al4V ALAŞIMININ DELİNEBİLİRLİĞİ	21
3.4. DELİK DELME İŞLEMİ ESNASINDA OLUŞAN KESME KUVVETİ VE GÜÇ	22
3.5. MATKAPLAR VE AŞINMA	23
3.6. TALAŞLI İMALAT İŞLEMİ ESNASINDA ISI VE SICAKLIK OLUŞUMU	26
3.7. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ	28
3.7.1. Yüzey Pürüzlülüğünü Etkileyen Etkenler	28
3.7.1.1. Kesme Parametrelerinin Etkileri	29
3.7.1.2. Kesici Takım Aşınmasının Etkisi	29
3.7.1.3. Kesme Kuvvetlerinin Etkisi	30
3.7.1.4. İlerleme ve Köşe Radyüsünün Etkisi	30
BÖLÜM 4	32
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	32
4.1. İŞ PARÇASI MALZEMESİ	32
4.2. TAKIM TEZGAHI VE DELME DENEYLERİ	33
4.3. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ VE SICAKLIK ÖLÇÜMÜ	34
4.4. DELME DEĞİŞKENLERİ	34
4.5. DİJİTAL MİKROSKOP	34
4.6. DENEY TASARIMI	35
BÖLÜM 5	38
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA	38
5.1. KISA MATKAP	38
5.1.1. Kısa Matkap İçin Yüzey Pürüzlülüğü	39

	<u>Sayfa</u>
5.1.2. Kısa Matkap İçin Sıcaklık	41
5.2. UZUN MATKAP	43
5.2.1. Uzun Matkap İçin Yüzey Pürüzlülüğü	44
5.2.2. Uzun Matkap İçin Sıcaklık	45
5.3. MATKAP AŞINMASININ DEĞERLENDİRİLMESİ	47
BÖLÜM 6	51
SONUÇLAR	51
KAYNAKLAR	52
ÖZGEÇMİŞ	57

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. Matkaptaki yüzeyler ve kesici kenarlar	13
Şekil 3.2. Konik uçlu matkap örneği.....	15
Şekil 3.3. Helisel uçlu matkap.....	16
Şekil 3.4. Bickford uçlu matkap.....	16
Şekil 3.5. Adım matkabı.....	17
Şekil 3.6. Radyal uçlu matkap.....	17
Şekil 3.7. Helisel matkap terminolojisi	18
Şekil 3.8. Matkabın ilerleme kuvveti ve torku.....	22
Şekil 3.9. Aşınma mekanizmaları	22
Şekil 3.10. Serbest yüzeyde meydana gelen aşınmanın gösterilmesi	23
Şekil 3.11. İşleme esnasında ısının oluşumu.....	25
Şekil 3.12. Isının dağılımı	26
Şekil 3.13. Sıcaklığın kesme hızı ve ilerleme miktarına göre değişim grafiği	27
Şekil 3.14. İlerleme ve köşe radyüsünün yüzey kalitesi üzerindeki etkileri	29
Şekil 4.1. Ti6Al4V iş parçası malzemesi	31
Şekil 5.1. Yüzey pürüzlülüğünün S/N oranları için ana etki grafikleri.....	38
Şekil 5.2. Matkap sıcaklığının S/N oranları için ana etki grafikleri.....	40
Şekil 5.3. Yüzey pürüzlülüğünün S/N oranları için ana etki grafikleri.....	43
Şekil 5.4. Matkap sıcaklığının S/N oranları için ana etki grafikleri.....	45
Şekil 5.5. 10, 20 ve 30 m/dk kesme hızlarında matkaplarda oluşan aşınmalar.....	48

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1. Titanyum metalinin diğer metaller ile karşılaştırılması	8
Çizelge 3.2. Titanyum alaşımlarının uygulandığı alanlar	12
Çizelge 3.3. Takım aşınmaları, nedenleri ve çözümleri	24
Çizelge 4.1. Ti6Al4V malzemenin nominal kimyasal bileşimi	32
Çizelge 4.2. Ti6Al4V malzemenin mekanik özellikleri.....	32
Çizelge 4.3. Kontrol faktörleri ve seviyeleri	35
Çizelge 4.4. Taguchi L9 dikey dizinine göre deney tasarımı	35
Çizelge 5.1. Kısa matkaplarla elde edilen deney sonuçları ve S/N oranları.....	38
Çizelge 5.2. Ra'nın ortalama S/N oranları için kontrol faktörlerinin önem sırası ...	39
Çizelge 5.3. Ra'nın S/N oranlarına göre ANOVA analizi sonuçları.....	40
Çizelge 5.4. Matkap sıcaklığının ortalama S/N oranları için kontrol faktörlerinin önem sırası	41
Çizelge 5.5. Matkap sıcaklığının S/N oranlarına göre ANOVA analizi sonuçları...42	42
Çizelge 5.6. Uzun matkaplarla elde edilen deney sonuçları ve S/N oranları	42
Çizelge 5.7. Ra'nın ortalama S/N oranları için kontrol faktörlerinin önem sırası ...43	43
Çizelge 5.8. Ra'nın S/N oranlarına göre ANOVA analizi sonuçları.....	44
Çizelge 5.9. Matkap sıcaklığının ortalama S/N oranları için kontrol faktörlerinin önem sırası	45
Çizelge 5.10. Matkap sıcaklığının S/N oranlarına göre ANOVA analizi sonuçları ..46	46

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

Ti	: titanyum
Al	: alüminyum
V	: vanadyum
N	: azot
Fe	: demir
N	: newton
Co	: kobalt
Ni	: nikel
C	: karbon
Al ₂ O ₃	: alüminyum oksit
ZrO ₂	: zirkonyum oksit
SiC	: silisyum karbür
Si ₃ N ₄	: silisyum nitrür

KISALTMALAR

CNC	: Bilgisayar Sayısal Kontrol (Computer Numeric Control)
WC	: Tungsten Karbür
HSS	: High Speed Steel (Yüksek Hız Çeliği)
HSP	: Hegzagonal Sıkı Paket
HMK	: Hacim Merkez Kübik
YMK	: Yüzey Merkez Kübik
CVD	: Chemical Vapor Deposition (Kimyasal Buhar Biriktirme)
PVD	: Physical Vapor Deposition (Fiziksel Buhar Biriktirme)
PCD	: Polycrystalline Diamond (Çok Kristalli Elmas)
CBN	: Kübik Bor Nitrür (Cubic Boron Nitride)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Son zamanlarda, teknolojik gelişmelerin hızlanması hem malzeme hem de malzemelerin kullanılabilir ürün haline dönüştürülmesinde kullanılan metotların beklentilerini arttırmaktadır. Özellikle bilgisayar, elektronik, uzay ve havacılık sanayilerinde mukavemete sahip ve hafif malzemelere olan gereksinimler artmaktadır. Titanyum ve titanyum alaşımları sahip oldukları, yüksek dayanım, ısı ve korozyon direnci gibi özellikleri nedeniyle, bu beklentilerin büyük kısmını karşılamaktadır. Bu alaşımların içinde Ti6Al4V alaşımı, en büyük paya sahiptir. Bu alaşımların kullanım yerleri de dikkate alındığında, işlem sonrasında gerekli yüzey kalitesinin ve toleranslarının oldukça yüksek olması gereklidir. Titanyum alaşımlarıyla üretilen parçaların büyük kısmı nihai halini talaşlı imalat yöntemleri ile almaktadır. Yukarıda bahsi geçen sektörlerde yaygın kullanım alanı bulmasına karşın titanyum alaşımları işlenmesi güç malzemeler grubuna girmektedir. Titanyum alaşımlarının düşük işlenebilirliğinin nedeni, düşük termal iletkenlikleri, yüksek kimyasal reaktiviteleri ve düşük elastiklik modülleridir [1].

Titanyum alaşımları, yüksek dayanımına göre ağırlığının oranının düşük olması sayesinde hafif metal alaşımlar, çelikler, nikel alaşımlar vb. malzeme türleriyle kıyaslandığında daha yüksek dayanım özelliğine sahiptir. Hatta bu avantajlarını yaklaşık olarak 500 °C sıcaklıkta da koruyabilmektedirler. Bu nedenle bazı titanyum alaşımları gaz türbini ve jet motor parçalarının üretimi için oldukça uygundur [2].

Mekanik özelliklerinin uygun olmasının yanı sıra, titanyumun yüzeyinde hızlı bir biçimde meydana gelen ve çok stabil olan pasif film katmanı sayesinde yüksek düzeyde korozyon özelliklerinin olduğu bilinmektedir. Titanyum biyo uyumlu metal olarak, alerjik reaksiyonlara neden olmayan bir elementtir. Diğer yandan titanyumun elastiklik modülü diğer implant materyallerine göre kemiğin elastiklik modülüne

daha yakındır, bu nedenle kemik implant yüzeyinde kuvvet dağılımı daha düzenli olur [3].

Üretiminin ve kullanımının artmasına rağmen, titanyumun işleme prosesleri epey zor ve maliyetlidir. Titanyum kesici takım karşısında kimyasal olarak son derece aktif olmakla beraber kesici takım üzerine sıvanmasına ve yığıntı talaş oluşmasına sebep olur. Yığıntı talaş takım ömrünü kötü şekilde etkiler.

Bu çalışmada, Ti6Al4V titanyum alaşımı malzemeye aynı çapta farklı uzunluklarda karbür matkaplarla delik delme işlemi esnasında matkaplarda oluşan sıcaklığın deneysel olarak belirlenmesi amaçlanmaktadır. Ayrıca, delinen deliklerin yüzey pürüzlülük değerleri ve matkaplarda oluşan aşınmaların incelenmesi de amaçlanmıştır.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Ünal ve arkadaşları, ticari olarak temin ettikleri Ti6Al4V alaşımını CNC dik işlem merkezinde farklı işleme şartları altında işlemişlerdir. Deneylede kesme hızı, ilerleme miktarı ve talaş derinliği gibi parametrelerini değiştirerek; bu değişkenlerin yüzey pürüzlülüğü, talaş tipine ve yüzey mikrosertliğine olan etkilerini incelemişlerdir. Deneylelerin neticesinde, kesme hızı ve ilerleme miktarının artması ile yüzey pürüzlülüğünün de arttığını tespit etmişlerdir. İşlem sonucunda, yüzey sertliğinin ana malzemeden daha yüksek, yüzey altı bazı bölgelerdeyse aşırı yaşlanma sebebiyle daha yumuşak bölgelerin varlığını gözlemlemişlerdir. Genel olarak sürekli sıvımalı ve testere diş kesitine sahip talaşların meydana geldiğini belirlemişlerdir [1].

Sharif ve Rahim, kaplamasız WC/Co ve TiAlN-PVD kaplamalı karbür matkaplar ile titanyum alaşımlarının delinebilirliğinin üzerindeki performansını incelemişlerdir. Kesme sıvısı kullanılarak gerçekleştirilen delme işleminde, kesme hızının takım aşınması, takım ömrü ve delik yüzey pürüzlülüğünün üzerindeki etkisi incelenmiştir. Hem kaplamalı hem de kaplamasız matkap takımlarında, takımın bozulmasına yol açan düzenli olmayan yanak aşınmasının baskın aşınma türü olduğunu belirlemişlerdir. Takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğü yönünden TiAlN kaplamalı matkaplar, kaplamasız matkaplara göre daha iyi performans sergilediğini belirtmişlerdir [4].

Li ve Shih, yaptıkları çalışmada kullanım alanı yaygın olan Ti6Al4V alaşımının 9,92 mm çapına sahip matkap takımıyla delinmesi esnasındaki sıcaklık ve gerilim dağılımlarını incelemişlerdir. Ters ısı transferi yöntemini kullanan bir sonlu elemanlar ısıl modelini uygulayarak takım-talaş temas yüzeyi alanındaki ısı dağılımını ve kesme sıvısının konveksiyon ısı iletim katsayısını araştırmaya

çalışmışlardır. Deneysel olarak ölçümü yapılan matkap sıcaklığıyla nümerik olarak tahmini yapılan matkap sıcaklığını kıyaslamak suretiyle, oldukça yüksek bir uyum ile ısıl modelin gerçekliğini ortaya koymuşlardır. Matkap takımında gerilim dağılımınının çözümlenebilmesi için termo-mekanik sonlu elemanlar analizini uygulamışlardır. Çalışmalarının sonucunda, kesme sıvısı uygulanmasının, matkabın kesici yüzü ve kanal kenarlarının çevresindeki sıcaklığı düşürmede önemli arz ettiğini belirlemişlerdir [5].

Bıçakçı, Ti6Al4V alaşımının farklı tür matkaplar ile delinerek, bu matkaplar için en uygun kesme parametrelerini incelemiştir. Bu amaç kapsamında 8 mm çapına sahip kaplamalı HSS matkap, kaplamalı karbür matkapla kaplamalı kısa ve uzun HSS matkapları tercih etmiştir. CNC dik işlem tezgahında gerçekleştirdiği delme işlemlerinde kaplamalı karbür matkapların en iyi sonuç verdiğini görmüştür. Ayrıca, aynı kesme parametresinde kısa ve uzun HSS matkaplardaki takım aşınması, delik çapı ve geometrik tolerans ölçüm sonuçlarıyla termal kamera görüntülerinin değerlendirilmesinde, takım aşınması ve takımın ucunda meydana gelen sıcaklık değerlerinin uzun HSS matkapta daha düşük olduğu ve delik çapı hassasiyetininse kısa matkapta daha iyi olduğunu gözlemlemiştir [6].

Kıvak, deneysel çalışmasında süper alaşımlı Inconel 718 çeliğini kaplamalı ve kaplamasız karbür matkapları kullanılarak delinmesi sırasında işleme parametrelerinin, meydana gelen kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülükleri, deliğin kalitesini ve talaşın oluşumu üzerindeki etkilerini incelemiştir. Kaplamasız, TiN ve TiAlN kaplamalı karbür matkaplar ile kuru kesme koşullarında CNC dik işleme merkeziyle talaş kaldırma işlemi gerçekleştirmiştir. İşleme parametreleri olarak dört kesme hızı (10-12,5-15-17,5 m/dk) ve üç ilerleme miktarı (0,05-0,075-0,1 mm/dev) kullanmıştır. Deneysel çalışmasının sonucunda, yüksek kesme hızı ve ilerleme kombinasyonlarında kesici takımın performansını ve oluşan deliğin kalitesini düşürdüğünü belirlenmiştir [7].

Bağcı ve Özcelik, çalışmalarında Al 7075-T651 malzemesinin helisel matkap ile kuru işleme koşullarında delinmesinde, ilerleme hızı, delme derinliği ve devir sayısı gibi delme parametrelerinin ilerleme kuvveti ve delme sıcaklıklarının üzerine olan

etkisini incelemişlerdir. Delme sırasında oluşan sıcaklıkları, TiN/TiAlN kaplamalı karbür matkaplarda yer alan soğutma deliğinin içine yerleştirilen ısı çiftler aracılığıyla ölçmüşlerdir. Delme parametrelerinin seçiminde Taguchi deneysel tasarım yönteminden yararlanılarak ve delme parametrelerinin etkilerinin belirlenmesinde ise S/N oranı ve ANOVA'yı kullanmışlardır. Al 7075-T651 malzemesinin delinmesinde, İlerleme kuvveti ve delme sıcaklıklarıyla ilerleme hızı delme derinliği ve devir sayısı gibi delme parametreleri arasındaki modelin oluşturulması için çoklu regresyon analizini kullanmışlardır. Deneyleri sonucunda delme sıcaklıkları üzerinde, devir sayısını ve ilerleme hızının etkisinin önemsiz olduğunu belirtmişlerdir. Delme sıcaklıklarının üzerinde, delme derinliğinin daha büyük etkiye sebep olduğunu ifade etmişlerdir [8].

Zeilmann ve Weingaertner tarafından gerçekleştirilen çalışmada, K10 sınıflamasında bulunan kaplamalı ve kaplamasız karbür matkaplar ile minimum miktarda soğutma sıvısı kullanılarak Ti6Al4V titanyum alaşımlarının delinmesi ile meydana gelen kesme sıcaklığı incelenmiş ve minimum miktarda soğutma sıvısının kullanılmasının faydaları incelenmiştir. Yapılan soğutma işlemi, dıştan bir nozul yardımıyla kesici takım içinden olmak üzere iki farklı yöntemle uygulanmıştır. Delme deneyleri, 10-50 m/dak kesme hızında, 0,1-0,2 mm/dev ilerleme miktarında, minimum miktarda soğutma sıvısı kullanılarak, 970 N/mm² çekme mukavemetine ve 300 HB sertliğe sahip Ti6Al4V alfa-beta alaşım plakaları üzerinde gerçekleştirilmiştir. Deneyleri sonucunda, takım içinde minimum miktarda soğutma sıvısı kullanılarak yapılan delme işleminde ölçülen sıcaklık değerinin, dıştan nozul yardımıyla minimum miktarda soğutma sıvısı kullanılarak yapılan delme işleminde elde edilen sıcaklık değerine göre %50 daha küçük olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca kaplamasız takımlarla kaplamalı takımlar karşılaştırıldığında en yüksek sıcaklık değerlerinin kaplamasız takımlarda görüldüğünü ve farklı kaplamalar için sıcaklıkta önemli bir değişim olmadığını ifadesini yapmışlardır. Delme derinliğinin artmasıyla da sıcaklığın arttığını bildirilmişlerdir [9].

Kıvak ve Şeker, Ti6Al4V alaşımının ıslak ve kuru kesme koşullarında delinmesi sırasında kesme parametrelerinin delik kalitesinin üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Ayrıca M42 HSS matkaplara derin kriyojenik işlemi

uygulamışlardır. Delme deneylerinde, kriyojenik işlem, işlemsiz, kriyojenik işlem+temper ve TiAlN/TiN kaplı HSS matkapları kullanarak yapmışlardır. Kesme parametrelerinin delik kalitesinin üzerindeki etkisinin belirlenmesi vasıtasıyla dört kesme hızı (6, 8, 10, 12 m/dak) ve üç ilerleme hızı (0,04, 0,05 ve 0,06 mm/dev) kullanılarak 15 mm derinliğinde delikler delmişlerdir. Delme deneylerinin neticesinde, soğutma sıvısının kullanılmasının delik kalitesinin artırılmasında önemli etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Dört takım arasında delik kalitesi yönünden en iyi sonuçları çok katlı TiAlN/TiN kaplı takımlardan alınmış olup, kriyojenik işlemin delik kalitesinin artırılmasında önemli etkiye sahip olduğunu belirlemişlerdir [10].

BÖLÜM 3

KURAMSAL TEMELLER

3.1. TİTANYUM VE TİTANYUM ALAŞIMLARI

Titanyum ve alaşımları mukavemetleri ve korozyon dirençleri yüksek ve ağırlıkları düşük mühendislik malzemeleridir. Titanyum malzemesinin yoğunluğu 4,54 g/cm³'dir. Titanyum yoğunluğuyla demirden daha düşük ve alüminyumdan daha yüksektir. Dolayısıyla hem hafif hem de dayanıklı malzeme denilebilir [11].

Titanyumun yapısı oda koşullarında hegzagonal sıkı paket (HSP) yapıdadır. Ayrıca titanyum allotropik bir yapıdadır. Titanyumun kristal yapısının içerisindeki α fazı yaklaşık 885 °C sıcaklıkta hacim merkez kübik (HMK) sistemine ve β fazına dönüşmektedir. 885 °C sıcaklığı saf titanyumun β dönüşüm sıcaklığı olarak ifade edilmektedir [12].

Titanyum yapısının içindeki α ile β fazının hacimsel oranlarına ve dağılımlarına bağlı olarak titanyum alaşımlarının genel özellikleri değişmektedir. HMK yapıda bulunan β fazının, HSP yapıda bulunan α fazıyla karşılaştırılması yapıldığında α fazının daha yoğun biçimde paketlenmesinden dolayı kristal yapısı anizotropiktir. Titanyumun mekaniksel ve fiziksel özelliklerinin anizotropik olması, β fazına göre difüzyon hızlarının fazla hızlı olmasını ve sürtünme dayanımlarının daha yüksek olmasını sağlamaktadır. Fakat β fazına yaşlandırma sertleştirilmesi uygulandığında süneklilik durumu β fazını α fazına benzettirmektedir [13].

Titanyumun oksijene göre çekim gücünün daha yüksek olması nedeniyle oda koşullarında titanyumun yüzeyinde çok ince oksit tabakasını meydana getirmektedir. Titanyum bazlı malzemelerin yüksek korozyon dayanımlarına sahip olmasının sebebi yüzeylerinde meydana gelen oksit tabakasıdır. α fazına sahip alaşımların korozyon

dayanımları β fazına sahip alaşımlara göre daha fazladır [14]. Titanyum metalinin diğer metaller (Demir, Nikel ve Alüminyum) ile karşılaştırılması Çizelge 3.1.'de verilmiştir [15].

Çizelge 3.1. Titanyum metalinin diğer metaller ile karşılaştırması [15].

Özellikler	Titanyum (T)	Demir (Fe)	Nikel (Ni)	Alüminyum (Al)
Ergime Noktası (°C)	1670	1538	1455	660
Kaynama noktası (°C)	3130	-	-	-
Kristal yapısı	HMK \rightarrow HSP	YMK \rightarrow HMK	YMK	YMK
Elastikiyet modülü (GPa)	115	215	200	72
Akma dayanımı (MPa)	1000	1000	1000	500
Yoğunluk (g/cm ³)	4,5	7,9	8,9	2,7
Korozyon direnci	Çok yüksek	Düşük	Orta	Yüksek
Oksijen ile reaktifliği	Çok yüksek	Düşük	Düşük	Yüksek

3.1.1. Titanyum Alaşımlarının Sınıflandırılması

Titanyum alaşımları sınıflandırılırken genel olarak α , β ve $\alpha+\beta$ fazına sahip titanyum olarak yapılmaktadır. Titanyumun sınıflandırılması işleminin daha çok incelenmesinde ise α fazına yakın olan ve β fazına göre yarı kararlı olan titanyum alaşımlarına da karşılaşılmaktadır.

3.1.1.1. Saf Titanyum

Saf titanyum en az %98,5 ile 99,5 arasında değişen seviyelerde titanyum ihtiva etmektedir. Saf titanyumun korozyon direncinin alaşımlı titanyumlara göre yüksek olmasına karşın mukavemetleri daha düşüktür. Genelde soğuk çalışma koşullarında tercih edilmektedir. Saf titanyum, kullanıcılarına göre değer seviyesi fazla olan bir malzeme olarak görülmemektedir. Tercih edilmesindeki en önemli neden ise düşük miktarlarda alaşım elementlerinin ilavesiyle yeni özellikleri kazanmasıdır. Bunun

yanı sıra saf titanyumun tercih edilmesinin diğere nedeni mükemmel derecede korozyon direncinin olmasıdır [16].

3.1.1.2. α Fazıyla Alaşımlandırılma Yapılmış Titanyum

α alaşımları içinde bulundurduğu alüminyum, zirkonyum ve kalay nedeniyle daha yüksek ve düşük sıcaklıklara dayanıklılık istenildiği takdirde tercih edilmektedir. α fazında bulunan titanyum alaşımlarının aşırı sıcaklıklarda gösterdiği direnç, β fazında bulunan titanyum alaşımlarına göre daha fazladır [17].

α fazında titanyum alaşımlarının dirençleri artmaktadır. Bu faza sahip alaşımlar, ısı işleme karşı tepkisizlikleri nedeni ile oldukça iyi kaynak kabiliyeti sergileyerek sfero ile gevrek geçişi bulunmayan kriyojenik uygulamaları için iyi sonuçlar verir. Bu faz HSP yapıya sahip olması nedeniyle dövme kabiliyeti iyi değildir [18].

3.1.1.3. β Fazıyla Alaşımlandırılma Yapılmış Titanyum

Bu titanyum alaşımlarına oda koşullarında su verme işleminin gerçekleştirilmesiyle martenzitik dönüşüm oluşmaz. Ayrıca β fazındaki titanyum alaşımlarının yüksek gerilme ve yorulma mukavemetleri fazla olmakla beraber düşük sıcaklık altında sürünme ve oksidasyon dirençleri de iyidir [19].

Bu titanyum alaşımında, aşınma direncinin artmasının üzerine avantaj sağlayan β fazının yüksek hidrojen toleransına sahip olmasıdır ve bazı yönleri ile korozyon direncinin α/β titanyum alaşımlarına göre yüksektir [18].

Bu alaşımların kararsız olmasından dolayı α fazının β fazının matrisinde çökeltilmesi ile sertleştirilir. Kırılma toklukları yüksek ve içinde molibden ihtiva etmesi korozyon direncinin artmasını sağlamaktadır [20].

3.1.1.4. α/β Fazıyla Alaşımlandırılma Yapılmış Titanyum

Ticari uygulamalarda kullanılan titanyum alaşımlarının arasında α/β alaşımları en yaygın olarak kullanılan alaşımlardır. 1998 senesinde ABD genelinde kullanılan titanyum ve alaşımlarından yarısından fazlasını α/β oluşturmakta olup toplam kullanılan titanyum alaşımının %56'sı Ti6Al4V alaşımıdır. Bu alaşımda oda koşullarında az miktarda β fazı bulunmaktadır. Bu alaşım ile titanyumun mukavemeti, sünekliği, yorulma dayanımı ve kırılma tokluğu gibi özellikleri iyileştirilir. α fazından β fazına dönüşüm için gerekli olan sıcaklığı β transüs sıcaklığı denilmektedir. Malzemenin mikroyapısı, çözeltilinin yaşlandırma sıcaklığını, zamanını ve β transüs sıcaklığının üzerindeki soğutma hızlarını değiştirebilmektedir [18].

Güçlendirilmiş α/β alaşımlarının eldesi için, uygulanan ısıl işlem, α/β faz alanının içerisinde kontrol edilebilen sıcaklıkta su verme işlemi uygulanır ve tercih edilen bir sıcaklıkta yaşlandırma sertleştirilmesi uygulanır. Soğutmayla β fazı bastırılarak yaşlanma işlemine devam edilerek ince α fazının çökmesine izin verilir ve daha kuvvetli bir alaşım oluşturulur. Genelde iki fazlı alaşımlar α fazına sahip alaşımlardan daha güçlüdür, ancak süneklikleri azdır [21].

3.1.1.5. Ti6Al4V Alaşımı

Titanyum alaşımlarının kullanılmasında en yaygın olarak tercih edilen alaşımlardır. Bu alaşım grubu α/β alaşım grubunun içerisinde bulunmaktadır. Ti6Al4V alaşımının içinde %6 Al kararlaştırıcısıyla α fazı, %4 V kararlaştırıcısıyla da β fazı bulunmaktadır [22]. Bu alaşımda daha fazla miktarda α kararlaştırıcısının bulunması nedeniyle faz diyagramında α fazına yakın bölgede bulunmaktadır. α fazının kararlaştırıcısı olan Al elementi katı çözeltilinin mukavemetleşmesini sağlamaktadır. α_2 fazının meydana gelmesinden kaçınmak için Al içeriğinin genellikle %6 civarında tutulması gereklidir. α_2 fazı, Ti6Al4V alaşımında sünekliliğin, korozyon direncinin ve tokluğun azalmasına neden olmaktadır [23].

Ti6Al4V alaşımının içinde bulunan β fazı kararlaştırıcısı olan V, α fazında çözünmeden dışarı atılır. Dolayısıyla V, β fazının küçük bölgelerinde birikmektedir.

β fazı, α fazı matrisinin içinde eşit bir şekilde dağılmıştır. α ve β fazlarının birbirlerinden göre farklı olması sebebiyle bu iki faz tane büyümesine karşı karardır. Yani tane büyümesinin olabilmesi için daha fazla difüzyona ihtiyaç duyulmaktadır. Ti6Al4V gibi alaşımlar genellikle ince mikroyapıya sahip olmakla beraber dayanımlarını tane sınırının mukavemetleşmesinden dolayı sağlamaktadır [24].

3.1.2. Titanyum ve Alaşımlarının Uygulama Alanları

Gaz türbinleri ve jet motorlarının bıçaklarının parçaları gibi dönme hareketi yapan bileşenler, yüksek sıcaklıklarda, mukavemet verimliliği ile metalurjik kararlılığın maksimize edilmesini sağlayan titanyum alaşımlarını gerektirmektedir. Ayrıca bu alaşımların sürtünme oranları düşük, kopma gerilmesi ve düşük devre sahip yorulmayla alakalı olarak öngörülebilir davranışı sergilemelidir. Bu özelliklerin yinelenebilir bir şekilde oluşumunu sağlayabilmek için, homojen, kontrollü mikroyapılarının ve alfa ayrımının, düşük yoğunluklu veya yüksek yoğunluklu tramp inklüzyonları ve erimeyen külçe porozitesinin ya da borunun erime problemlerine karşı tamamen serbestliğinin sağlanabilmesi için sıkı bir şekilde kullanıcı ihtiyaçları belirtilmiştir. Fakat kontrolün büyüklüğü ne kadar çok olursa maliyeti de artmaktadır [25].

Havacılık sektöründe kullanılan basınçlı kaplar, düşük sıcaklıklarda dahi olsa, optimize edilmiş mukavemet etkinliğini gerektirmektedir. Gerekli olan yardımcı özellikler, kriyojenik ve orta seviyede yükseltilmesi yapılmış olan sıcaklıklarda kaynak yeteneğini ve öngörülebilir kırılma tokluğunu ihtiva eder. Bu özellik kombinasyonunun sağlanabilmesi için kullanıcı özellikleri, kontrollü mikroyapıların ve erime sorunlarının olmamasını gerektirir. Kriyojenik uygulamalarda azot, oksijen ve karbon ara yer elementleri sünekliğin ve kırılma tokluğunun artırılması için dikkatlice kontrol edilir. Uçakların yapısal uygulamalarında, yüksek performansa sahip otomotivlerde ve deniz uygulamalarıyla beraber öğütme işleminin sıkı kontrolü ile birleştirilen uygun alaşımın seçimiyle elde edilen yüksek mukavemete sahip verimlilik gerektirmektedir. Ayrıca, tasarım yedekli yapıları ihtiva ettiğinde, çalışma koşulları sert olmadığında, spesifik bileşenler için kullanılacak üretim

yöntemlerinde kısıtlamalar olduğunda ya da operasyonel risklerin düşük olduğunda, uygun alaşımın ve işlemin seçimi gibi etkenleri hesaba katmak gereklidir [25].

Titanyum ve alaşımları havacılık endüstrisinde yaygın bir biçimde kullanılmasının ana sebebi, hafif olması, çalışma sıcaklıklarının iyi olmasının yanı sıra korozyon dirençlerinin iyi olmasıdır. Ayrıca yakıt tasarrufu sağlanabilmesi gibi teknolojik gelişmelerin yapılmasında en önemli faktör ağırlık olması durumunda araçların ağırlıklarının azaltılabilmesi ve mukavemetlerinin artırılabilmesi için titanyum ve titanyum alaşımlarının kullanılması yaygınlaşmaktadır. Ancak titanyum otomotiv endüstrisinde kullanıldığında maliyetleri arttırdığından dolayı sadece yarış araçlarında ve Formula 1 araçlarında tercih edilmektedir. Bu malzemeler yüksek performansı sağladığından kullanım alanı arayışı içerisinde en uygun olarak spor dalları öne çıkmaktadır. Genellikle golf, tenis, su altı sporları, bisiklet, dağcılık, doğa yürüyüşü ve kış sporlarının malzemelerinde kullanılmaktadır [12].

Çizelge 3.2. Titanyum alaşımlarının uygulandığı alanlar [22].

Titanyum alaşımlarının uygulandığı alanlar					
Kimya	Denizcilik	Havacılık	Jet Motor	Biyomedikal	Otomotiv
Isı değiştiricileri	Denizaltı gövdesinde	İniş takımları	Fan diskleri	Kemik implantları	Yay valfleri
Reaksiyon kazanları	Pervaneler	Hidrolik tüpler	Fan kanatçıkları	Eklem implantları	Piston valfleri
Tank ve pompalarda	Pompalar	Kanatlar	Kompresör diskleri	Kalp kapakları	Kapı mandalları
Valf ve tüplerde		Cıvatalar	Motor kapakları	Diş implantları	Roket motorları
Mücevheratlar da		Pullar	Flaşlar		Yakıt tankları
Anotlarda		Hidrolik borular	Yüzükler		

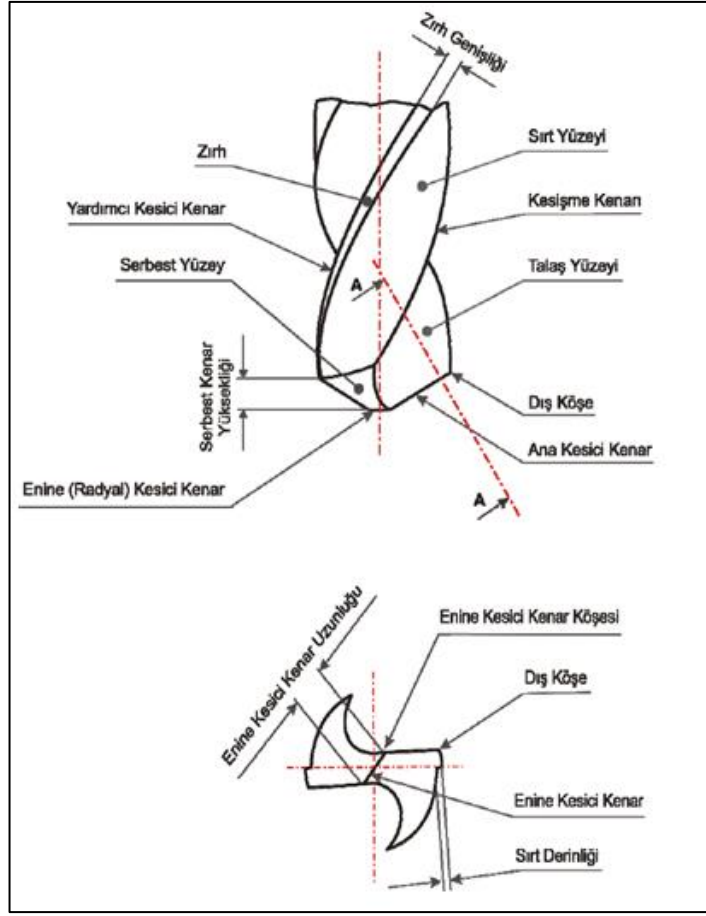
Titanyum ve alaşımlarının diğer bir avantajlarıysa alüminyumun üçte bir oranında ve paslanmaz çeliğinse yarısının kadar ısıl genişlemesine sahiptir. Dolayısıyla daha çok miktarda cam ya da beton kullanılmasının gerekli bulunduğu yapılarda titanyum ve titanyum alaşımlarının kullanılması ön plandadır [26].

3.2. DELİK DELME

Delik delme prosesleri matkap tezgahlarının yanı sıra freze ve torna tezgahlarında gerçekleştirilen işlemler gibi görülmekte delik delme işlemi esnasında meydana gelen talaşın kırılması ve talaşın iş parçasından boşaltılması önem arz eden bir işlemdir. Uygulanan işlemin kontrolünü ve kaldırılacak olan talaşın zorluğu delinecek delik derinliğinin uzunluğunu belirlemektedir. Delik delme işlemi esnasında kesme parametreleri, oluşan talaşı ve sıcaklığı elde edilecek olan yüzey kalitesiyle ölçünün tamlığına etki etmektedir [27].

3.2.1. Delik Delme İşlemi

Delik delmek ve büyötmek için matkap kullanılmaktadır. Dönel bir yapıya sahip olan matkaplar, bir ya da birden fazla kesici kenar ağzına sahiptirler. Talaşın akışının sağlanması için bir ya da birden fazla helisel veya düz kanalı bulunan talaş kaldırma takımlarıdır. Bu tür kesici takımların, çeşitli formlar, ölçüler ve toleranslar ile imal edilmektedir. Endüstriyel uygulamaların neredeyse tamamında kullanılan matkap çeşitleri ise helisel matkaplardır (Şekil 3.1) [28].



Şekil 3.1. Matkaptaki yüzeyler ve kesici kenarlar [29].

Delik delme, takımların iş parçasının üzerinde silindirik şekilde delik açma yöntemlerini ihtiva etmektedir. Bunlar;

- Delik büyütme,
- Kademeli delik açma,
- Raybalama gibi talaşın kaldırılma işlemleridir.

Gerçekleştirilen işlemlerde ortak noktaysa doğrusal ilerleme ile birlikte dönme hareketinin meydana gelmesidir.

3.2.2. Delik Delme İşleminde Kullanılan Matkaplar

Delik delmek için kullanılan kesici takımlara matkap denilmektedir. Matkap takımları dönel yapıya sahip bir veya daha fazla kesici ağıza sahip talaşın akışının

gerçekleştirilebilmesi için de bir ya da birden fazla helisel veya düz kanalı bulunan talaş kaldırma takımlarıdır [30]. Matkap takımları şekillerine, toleranslarına ve ölçülerine göre çok çeşitlilik göstermektedir. Ayrıca üretim malzemesine, uzunluklarına, üzerlerindeki kanalların sayısına, kesme ucunun özelliklerine ve sap şekillerine göre de çeşitlilik göstermektedir.

3.2.3. Matkapların Sınıflandırılması

Matkaplar genel anlamda beş farklılık şeklinde sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırılma aşağıdaki gibi maddelendirilmiştir.

- Konik uçlu matkaplar,
- Helisel uçlu matkaplar,
- Bickford uçlu matkaplar,
- Adım matkaplar,
- Radyal uçlu matkaplar,

3.2.3.1. Konik Uçlu Matkaplar

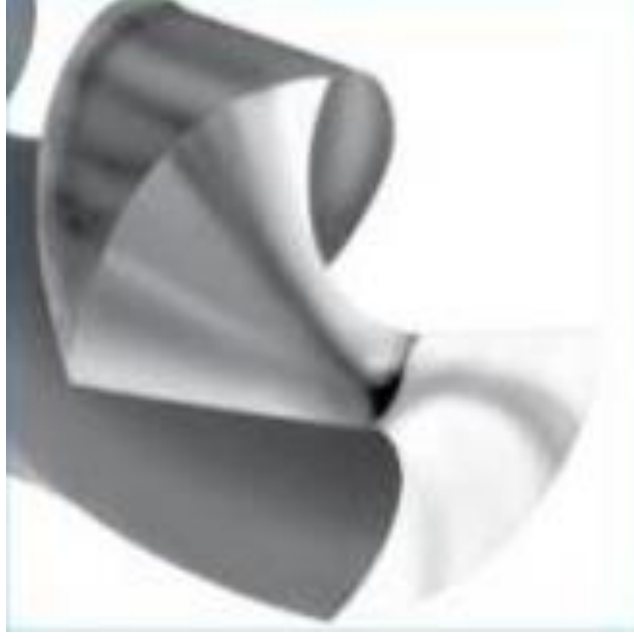
Endüstride kullanılan en yaygın matkap tipidir. Standart uç açıları 118° 'dir. Bu tip matkaplar talaş kaldırmaya başlangıç sırasında sürüklenme veya yürüme eğilimi gösterdiğinden dolayı sıklıkla merkezleme deliğinin açılması gerekmektedir. Ayrıca yüksek hassasiyet gerekmeyen yerlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Konik veya diğer bir adıyla klasik matkapların örneği Şekil 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.2. Konik uçlu matkap örneği [31].

3.2.3.2. Helisel Uçlu Matkaplar

Yuvarlanma ağızı S olan, matkaba kendi kendine merkezleme yaptıran ve ilerleme kuvvetini azaltan matkap tipidir. Matkap özünün inceltilmesi gereksinimini ortadan kaldırır. Genellikle helisel uçlu matkap konik uçlu matkaba göre daha kalın matkap özüne sahiptir. Helisel uçlu matkap ile talaş kaldırma işlemi gerçekleştirilirken işlem çıkışında çapak oluşumu daha azdır. Helisel uçlu matkap örneği Şekil 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.3. Helisel uçlu matkap [31].

3.2.3.3. Bickford Uçlu Matkaplar

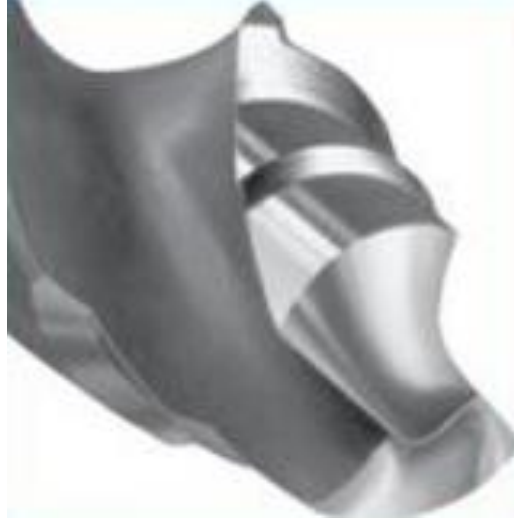
Helisel ve radyal uca sahip matkap geometrileri birleşiminin kombinasyonudur. Bu uç hem helisel hem de radyal ucun faydalarını birleştirmektedir. Bickford uçlu bir matkabın örneği Şekil 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.4. Bickford uçlu matkap [31].

3.2.3.4. Adım Matkaplar

Bu tip matkaplarda radyal ağzın kısa olması merkezlemeyi kolaylaştırarak kesme kuvvetlerini azaltır. Adım matkapları daha çok ön delik işlemlerinde tercih edilmektedir. Adım matkabına ait örnek Şekil 3.5’te verilmiştir.



Şekil 3.5. Adım matkabı [31].

3.2.3.5. Radyal Uçlu Matkaplar

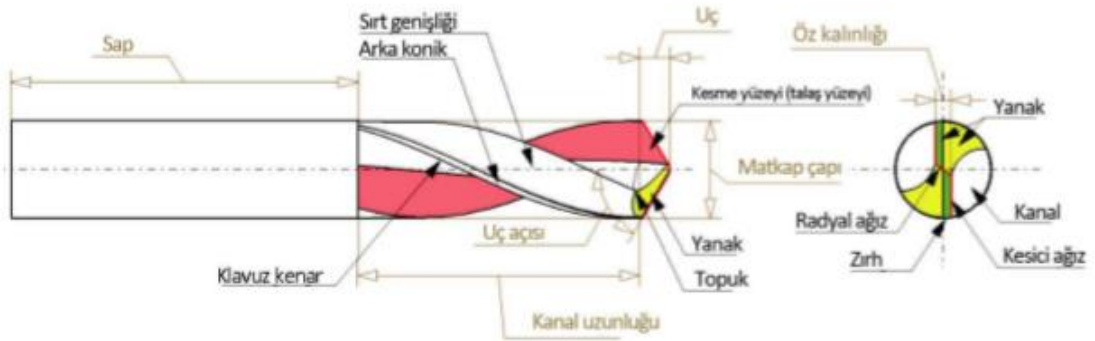
Yay biçiminde yuvarlatılmış uca sahip, merkezinde daha pozitif bir talaş açısı ile sonlanan matkap çeşididir. Radyal ucu, kendiliğinden merkezleme etkisi sağlar ve bu nedenden dolayı konik matkaplara göre daha hassas delikler delebilir. Radyal uçlu matkap örneği Şekil 3.6’da verilmiştir.



Şekil 3.6. Radyal uçlu matkap [31].

3.2.3.1. Helisel Matkap ve Terminolojisi

Helisel matkaplar piyasada kullanılan en yaygın matkap türüdür. Ancak uç geometrisi yönünden farklılık göstermektedir. Gövdesinden talaşın uzaklaştırılabilmesi için “kanal” olarak adlandırılan bir veya daha fazla helisel kanalın bulunmasına bağlı olarak “helisel matkap” diye isimlendirilmektedir. Şekil 3.7’de helisel matkabin terminolojisi verilmiştir [32].



Şekil 3.7. Helisel matkap terminolojisi.

Şekil 3.7’de şekli verilen helisel matkabin kısımları aşağıdaki gibi açıklanabilir [33];

Matkabin eksen: Matkap boyunca matkabin tam merkezinden hayali olarak var olduğu kabul edilen çizgidir.

Gövde: Matkabın kesici kenarın dış köşesinden boyuna ya da sapa kadar olan yerdir.

Matkabın çapı: Matkap ucundan ölçümü yapılan iki zırhın arasındaki mesafedir.

Radyal ağız: Matkabın kesici kenarlarını birleştiren özün en uç kısmıdır.

Radyal ağız açısı: Matkabın ucundan bakıldığında kesici kenarla radyal ağzın arasında kalan açıdır.

Talaş kanalı: Kesici ağızda meydana gelen talaşın aktarılmasını ya da kesme sıvısının kesici ağza ulaşması için helisel ya da düz şekilli kanallardır.

Kanal boyu: Kesici kenarların en dış noktasıyla talaş kanalı bitim noktasının arasında kalan mesafedir.

Helis açısı: Sırt kısmının ön kenarıyla matkap eksenini arasında kalan açıdır.

Sırt: İki talaş kanalının arasında yer alan matkap gövdesinin en dış kısmıdır.

Kesici ağız: Radyal ağzdan dışarıya doğru uzanan kesici kenardır.

Öz: Serbest yüzeylerin birleşimini sağlayan matkabın merkezindeki bölgedir.

Zırh: Kesici özelliği olmayan, delme sırasında boşluk sağlayan sırttaki silindirik bölgeye denilir.

Uç: Serbest bölgelerin, özün ve kesici ağızların bitim noktasıdır.

Uç açısı: Matkabın uç kısmında, ana kesme kenarlarının arasındaki açıdır.

Serbest açı: Taban yüzü üzerinde ana kesme kenarından geriye doğru, matkabın ortalama çapından ölçülen açıdır.

Talaş kırıcı: Talaş boyununun küçültülmesi için tasarlanan çentik ya da yivdir.

3.2.2. Talaş Oluşumu

Delik delme işlemi için kullanılan matkap takımlarında talaşın geçmesi ve malzemedan talaş kaldırılması için iki kanal ve iki kesici kenar bulunmaktadır. Kaldırılan talaşın boşaltılması matkapta yer alan helis kanallarıyla gerçekleşmektedir. Günümüzde, modern takım tezgahlarının oluşumuyla beraberinde yeni yöntemleri de getirmiştir. Kesici takım içinde yer alan kanallar yardımıyla kesme sıvısının gönderilmesiyle talaş iş parçasından uzaklaştırılmaktadır.

Talaş oluşumunda etkili olan faktörler, işlenecek olan iş parçası malzemesi, kesici takımın geometrisi, kesme hızı ve sıvısıdır. Genellikle ilerleme hızının artması ve kesme hızının azalması ile birlikte oluşan talaşın boyu kısa olmaktadır. Meydana

gelen talaşın kesici takımdan sorun teşkil etmeden uzaklaştırılması, talaşın uygun görülebilir uzunlukta olduğunu göstermektedir. Talaşın işlem esnasında kesici takım ve iş parçası malzemesinin arasında sıkışması delik kalitesinin kötü olmasına, kesici takım malzemesi ömrünün azalmasına ve kesici takımda kırılmalara neden olmaktadır [7].

İşleme esnasında kesme hızı kesici takımın çevresinden merkeze doğru azalmaktadır. Bu sebeple oluşacak yığılma kenar oluşumu riski göze alınmalıdır. Kesici takımın merkezinde oluşan yığılma kenar oluşumu belirli miktarı geçmeyecek durumda olduğunda kabul edilebilmektedir. Fakat, bunu önlemek için kesme hızının düşürülmesi gerektiği düşünülse de kesme hızının azaltılması yığılma kenarının çevreye yaklaşacağından sakıncalı bir durumdur. Talaşın kaldırılması sırasında talaşa plastik deformasyon meydana gelmektedir [34].

İlerleme miktarının artmasıyla beraber helis açısında artma ve boşluk açısında azalma meydana gelir. Bu meydana gelen azalma kesici takımın merkezine doğru en yüksek seviyede olur. Bu şekilde yapılmasının amacı iş parçası yüzeylerindeki aşınmayı önlemektir [7].

3.3. Ti6Al4V ALAŞIMININ DELİNEBİLİRLİĞİ

Günümüzde havacılık ve otomobil endüstrisi titanyum ve alaşımına (Ti6Al4V) odaklanmaktadır. Bir savaş uçağının yapısında ve gaz türbinli motorlarda (bıçaklar, diskler ve rotorlar gibi) kullanımı oldukça yaygındır. Ayrıca uçaklarda zemin destek yapısı, borular ve klipsler gibi elemanların uygulamalarında kullanılmaktadır [36]. Ti6Al4V alaşımının giderek artan popülaritesi için ana sebep, yüksek mukavemet ve ağırlık oranı, yüksek sıkıştırma ve gerilme mukavemeti, düşük yoğunluk, hava ve deniz suyundaki yüksek yorulma direnci ve olağanüstü korozyon direnci gibi üstün özellikleridir. Ti6Al4V alaşımlarının işleme yöntemlerinden biri olan delme, tüm işleme süreçlerinin büyük bir bölümünü oluşturması nedeniyle oldukça önemlidir [36].

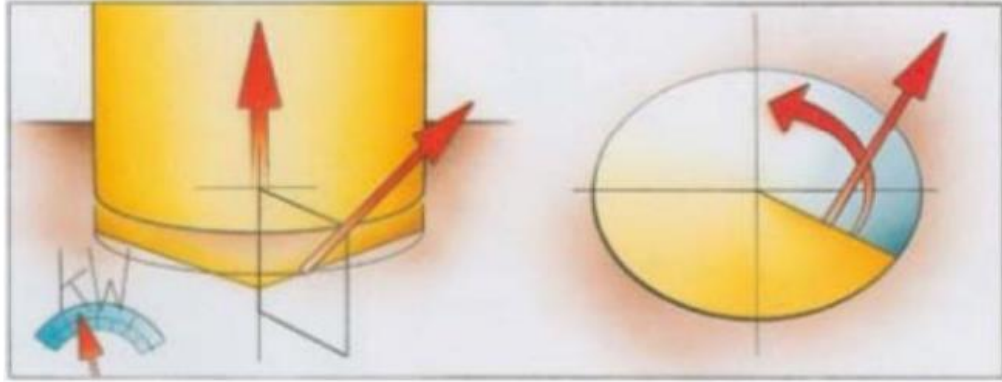
Delme işlemi sırasında, plastik deformasyon oluşumunun sıcaklık oldukça önemlidir. Kesici takım ve iş parçası arasındaki ara yüzeylerin çevresinde çok yüksek sıcaklıklar meydana gelmektedir. Titanyum alaşımlarının delinmesinde elde edilen delikler, delik kalitesi, silindiriklik, delik çapı, yüzey pürüzlülüğü ve çapak açısından değerlendirilir. Titanyum genel olarak aşınmanın güvenilirliği ve dayanımını gerektiren parçalar için kullanılır ve bu nedenle yüksek delik kalitesi korunmalıdır [37].

Titanyumun yüzeyi, işleme operasyonları sırasında ısıdan etkilenen bölgelerde mikroyapı çatlakları ve plastik deformasyon hasarlarına maruz kalmaktadır. Çoğu titanyum alaşımları delme işlemlerinde hem giriş hem de çıkış yüzeylerinde çapak oluşturmaktadır. Çıkış bölgesindeki çapağın boyutu daha büyük olmakla birlikte ana sorun olarak bilinmektedir. Oluşan çapaklar havacılık uygulamalarında önemli sorun teşkil etmektedir. Bazı parçaların maliyetinin %30'u kadarının çapak alma işlemlerinden kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Helisel delme ve titreşim yardımcı helisel delme işleminde, titanyum talaşı matkabın iki kanalı çevresinde dolaşabilir ve takım tutucu tarafından bükülebilir. Bu talaşın sorunsuz atılması için zorluk yaratacaktır. Bunun yanı sıra düşük ısı iletkenliği takım/iş parçası ara yüzeyindeki sıcaklığı arttırarak takım ömrünü etkilemektedir. Bu sorunlar işlenebilirliği etkilemektedir. Delme süreci, toplam malzeme işleme operasyonlarının %40-60'ını oluşturmakta ve havacılık endüstrisinde önemli bir yere sahiptir [38,39].

3.4. DELİK DELME İŞLEMİ ESNASINDA OLUŞAN KESME KUVVETİ VE GÜÇ

Delik delmek için belirli miktarda enerjiye gereksinim duyulmaktadır. Matkap, malzemenin içine girerek talaşı kaldırırken kesme kuvvetleri matkaba etki eder ve bu da belirli miktarda güç gerektirir [40]. Öncelikle, delik delmek için gerekli olan güç, iş parçasının cinsine göre farklılık gösterir ve güç hesaplanırken, malzeme için gerekli özgül kesme kuvveti dikkate alınmalıdır [6,40]. Özgül kesme kuvveti değeri (kc), mm² başına düşen N'dur. Bu değer, takımın etkin kesme açısı ve ortalama talaş kalınlığı ile ilgili tablolarda bulunmaktadır ve belirli bir kesit alanı olan bir talaş için gerekli olan teğetsel kesme kuvveti ya da etkin kesme kuvvetinin teorik talaş alanına

bölümü ile tanımlanmaktadır. Değerler, diş başına ilerleme değeri olarak gösterilmektedir. Çeliğin özgül kesme kuvveti demir bazlı olmayan alaşımların yaklaşık üç katı kadardır. Yüksek dayanımlı süper alaşımların özgül kesme kuvvetiyse çeliğin yaklaşık olarak iki katı kadardır [40]. Nm cinsinden Tork (M_c), bazı büyük çaplı delik işlemlerinde önemli olan diğer bir değerdir. Bu değer işleme sırasında matkabın maruz kaldığı toplam delik delme momenti dikkate alınarak belirlenmektedir. Tork değerini etkileyen başlıca etkenler; ilerleme, çap ve işlenen malzemenin cinsidir. Tork her bir kesme kenarının momentleri toplamı ve teğetsel kuvvetin merkezden yarıçap ile çarpımıdır (Şekil 3.8) [6].



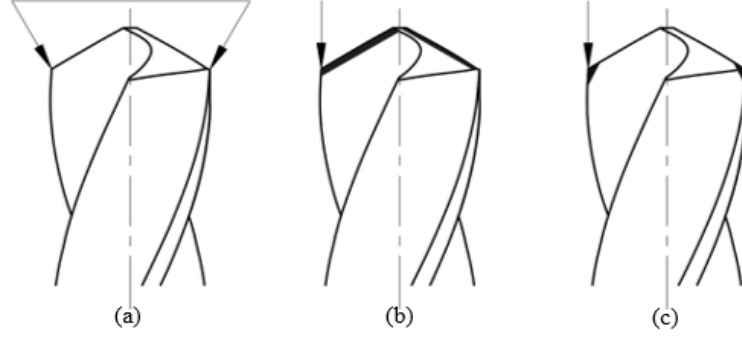
Şekil 3.8. Matkaptaki ilerleme kuvveti ve torkun şematik gösterimi [41].

N cinsinden ilerleme kuvveti (F_t), delmede performans yönünden genelde en önemli parametredir. Bu, matkabın malzemeye girmesi sırasında matkaba uygulanan aksel kuvvettir. Aşırı ilerleme kuvveti kullanımı, delik kalitesini ve takımın güvenilirliğini etkileyerek, tezgah durmasına neden olabilir [6].

3.5. MATKAPLAR VE AŞINMA

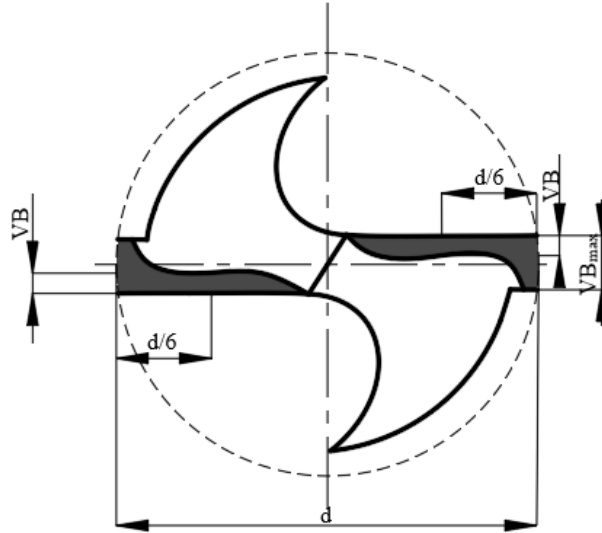
Delik delme işlemlerinde işleme parametrelerinin en iyi şartlarının belirlenmesi oldukça önemlidir. İşleme parametreleri kesici takımın açılarını dolaylı olarak değil de doğrudan etkilemektedir. Örnek olarak, ilerleme miktarının artırılması helis açısını artırarak boşluk açısını azaltmaktadır. Boşluk açısının azalması, kesici takımdaki esas serbest yüzeyin işlenen yüzey ile sürtünmesini arttırarak, serbest

yüzey aşınmasının hızlanmasına neden olacaktır [42]. Matkaplarda oluşan aşınma mekanizmaları Şekil 3.9'da verilmiştir.



Şekil 3.9. Matkapta aşınma a) Köşelerin yuvarlanması, b) Serbest yüzey aşınması, c) Zırh aşınması [43].

Genellikle matkaplarda aşınmalar kesici kenarların zırhlarıyla birleşim noktasında başlayarak kesicinin ağızları ve serbest yüzeylerde devam eder (Şekil 3.10). Kesici takımın kenarlarında aşınmanın artmasıyla serbest yüzeylerdeki boşluk açısı kayıp konik yüzey oluşturur [43].

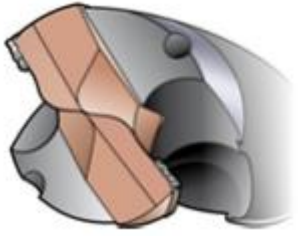

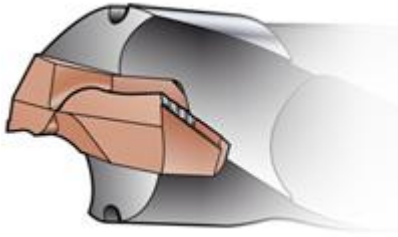
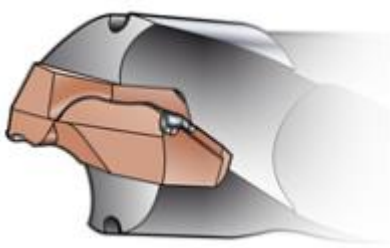


Şekil 3.10. Serbest yüzeyde meydana gelen aşınmanın gösterilmesi [43].

Matkaplarda oluşan aşınma değeri kabul edilebilir sınıra ulaştığında, delme işleminin sonrasında meydana gelen, boyut toleransı ve işlenmiş yüzey kalitesinin bozulmasına

neden olur [44]. Matkaplarda oluşan aşınma türleri, oluşum yerleri, oluşum nedenleri ve giderilmesi için gerekli çözümler Çizelge 3.3'te verilmiştir [45].

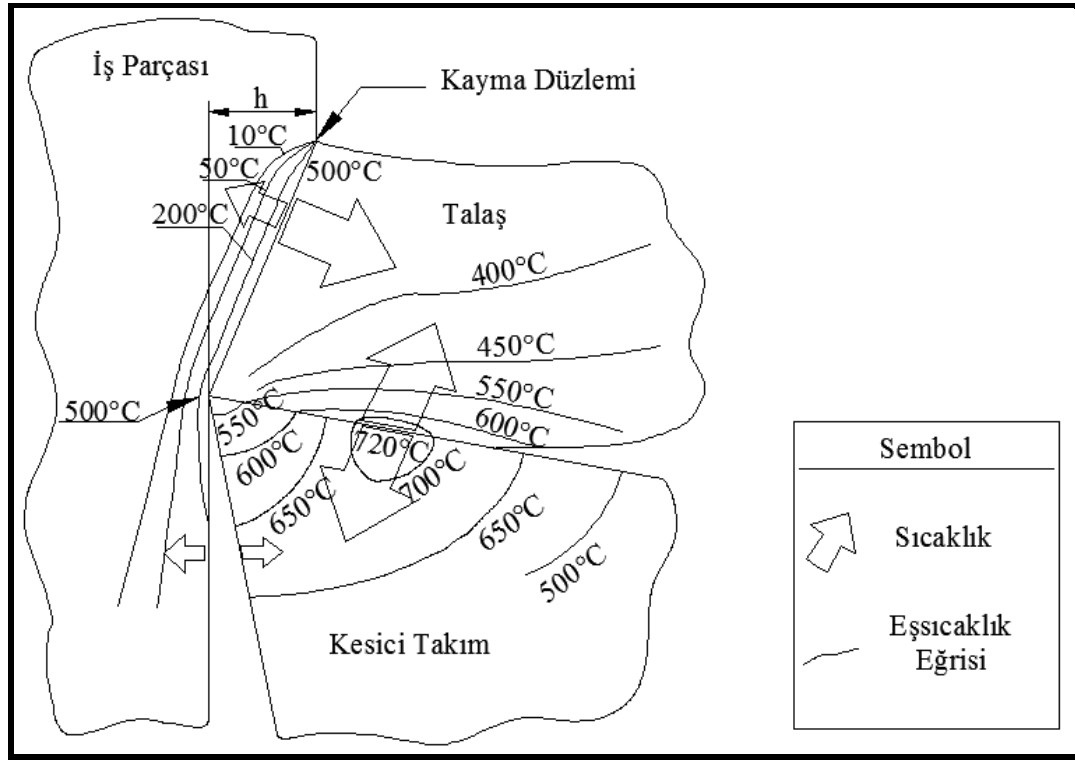
Çizelge 3.3. Takım aşınmaları, nedenleri ve çözümleri [45].

Aşınma Türü	Muhtemel Sebepler	Çözümler
<p>Yığıntı talaş oluşumu</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Çok düşük kesme hızı ve kenar sıcaklığı • Kaplama yok • Kesme sıvısındaki yağ yüzdesinin düşük olması 	<ul style="list-style-type: none"> • Kesme hızı arttırılmalı • Kesme kenarı daha keskin olan takım kullanılmalı • Kesme sıvısındaki yağ yüzdesinin arttırılması gereklidir
<p>Kesici kenar aşınması</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Kesme hızı çok yüksek • İlerleme çok düşük • Kalite çok yumuşak • Kesme sıvısı yetersiz 	<ul style="list-style-type: none"> • Kesme hızı azaltılmalı • İlerleme arttırılmalı • Daha sert bir kalite kullanılmalı • Kesme sıvısı beslemesinin düzgün olduğu kontrol edilmeli
<p>Kesici kenar dairesel alanında aşınma</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Kesme sıvısının zayıf olması • Kesme hızının yüksek olması • Aşındırıcı özelliğine sahip iş parçası 	<ul style="list-style-type: none"> • Radyal sapmanın kontrolü sağlanmalı • Saf yağ ya da daha etkin kesme sıvısının kullanılması gereklidir • Kesme hızı azaltılmalı
<p>Plastik Deformasyon</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Kesme hızının ya da ilerleme miktarının yüksek olması • Etkin kesme sıvısının kullanılmaması • Kesici takımın düzgün seçilmemiş olması 	<ul style="list-style-type: none"> • Kesme hızı ya da ilerleme miktarı azaltılmalı • Etkin kesme sıvısının kullanılması • Doğru kesici takımın seçilmesi

3.6. TALAŞLI İMALAT İŞLEMİ ESNASINDA ISI VE SICAKLIK OLUŞUMU

Talaşlı imalatta kullanılan güç ekseriyet ile ısıya dönüşerek talaşın, malzemenin ve takımın sıcaklığını artırmaktadır. Sıcaklık artışı, metal kesme işlemi sırasında meydana gelen ısı ve aynı zamanda bu ısının uzaklaştırılmasına bağlıdır [86].

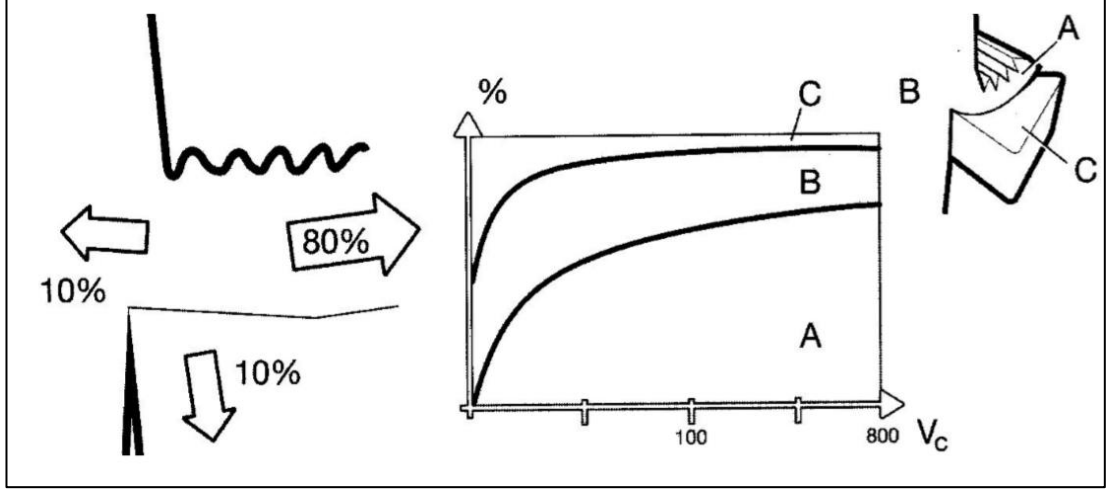
Takım ısısının minimum seviyeye indirilmesi takım ömrünü arttırırken yüzey pürüzlülüğünü de etkilemektedir. Isı oluşumunun gösterimi Şekil 3.11’de verilmiştir [46].



Şekil 3.11. İşleme esnasında ısının oluşumu [46].

Talaş kaldırma esnasında oluşan ısı enerjisinin büyük çoğunluğu (~%60) kayma düzleminde plastik deformasyon enerjisinin ısı enerjisine dönüşümü neticesinde meydana gelmektedir. Elastik deformasyon toplam deformasyonun çok küçük bir kısmını meydana getirdiğinden dolayı oluşan tüm enerjinin ısıya dönüştüğü varsayılmaktadır.

Meydana gelen ısının çoğu kesme bölgesinden talaş, malzeme, kesici takım ve işlem ortamı tarafından uzaklaştırılmaktadır (Şekil 3.12), bunların her biri tarafından uzaklaştırılan ısının miktarı iş parçası malzemesi, işleme parametreleri, kesici takımın malzemesi, takımın geometrisi ve kesme koşullarıyla değişmektedir [47].



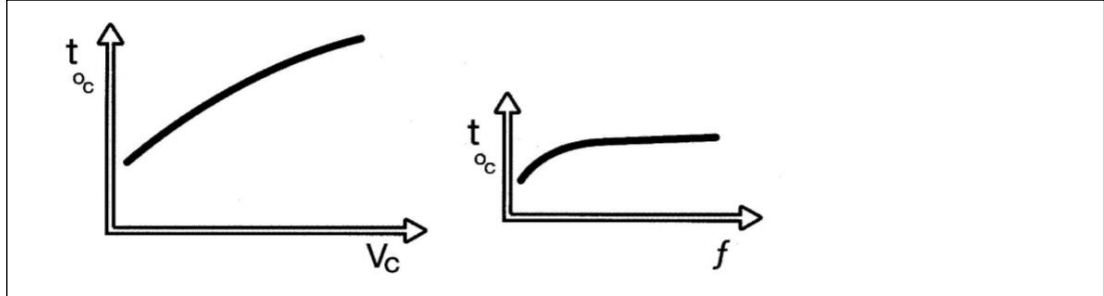
Şekil 3.12. Isının dağılımı [42].

Kesme hızının artması ile metal kesme işlemindeki deformasyon ve sürtünme için gerekli olan enerji artar ve sıcaklığı artırır. Bu nedenle kesme hızı, kesme sıcaklığının üzerinde önemli etkiye sahiptir [48].

Kesme hızının artması sıcaklığın hızlı artmasına neden olurken ilerleme miktarının artmasıyla meydana gelen sıcaklığın artışı yavaştır (Şekil 3.13). İşlem sırasında oluşan sıcaklığın takım ömrünü etkilemesinin en önemli nedeni de takım ömrü hesabının da kesme hızına bağlı olarak yapılıyor olmasıdır.

Kesme bölgesindeki sıcaklık, büyük oranda kesici takımla talaş arasındaki temas, oluşan kesme kuvvetlerinin büyüklüğüne, iş parçasının mazelmesi ve kesici takım arasındaki sürtünmeye bağlıdır. Dolayısıyla kesme hızının düşük olması iş parçası malzemesine iletilen ısıyı ve sıcaklığı arttırabilir. Kesme işleminde meydana gelen ısının çoğunluğu kesme bölgesinden ideal olarak talaş ile uzaklaştırılmaktadır. Talaştaki ısı, kesici takımı talaş ve takım arasındaki temas olduğu sürece etkiler. Isının çoğunluğu kayma bölgesinden kaynaklandığından dolayı kesici takım ve talaş

arasındaki temasın ölçüsü de performansı etkiler. Küçük talaş açılar nedeniyle oluşan küçük kayma açıları iş parçası malzemesine iletilen ısı miktarının artmasına neden olabilir [27].



Şekil 3.13. Sıcaklığın kesme hızı ve ilerleme miktarına göre değişim grafiği [42].

3.7. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ

Talaşlı imalat esnasında malzemede istenmeyen işleme izleri oluşur. İşleme yöntemi, kesicinin takım cinsi, işlenen malzeme ve işleme parametreleri, kimyasal, fiziksel ve ısıl etkenler ve kesen-kesilen malzeme arasındaki mekanik hareketlerine bağlı olarak, nominal yüzey çizgisi altında ve üstünde düzensiz sapsmalar oluşturan bu duruma yüzey pürüzlülüğü denilir [49]. Talaşlı imalat sırasında talaş kaldırılan yüzeyde belirli bir yüzey pürüzlülüğünün meydana gelmesi kaçınılmazdır. Dolayısıyla işlenecek parçaların bazılarında yüzey pürüzlülük değerinin yanında işleme yönteminin de belirtilmesi istenir. Ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) değeri yaklaşık olarak $1,6 \mu\text{m}$ 'yi geçtiği durumlarda imalatçılar yüzey pürüzlülüğünü ölçmekten ziyade görsel kontrolü seçerler. Standart yüzey pürüzlülüğü değerlendirme kriterleri, yüzeye dik olan kesitte belirli numune uzunluğu boyunca, belirli referans profiline ve profil ortalama çizgisine göre belirlenmektedir. Profil ortalama çizgisinin yeri, bu çizginin üstünde ve altında kalan alanların toplamı birbirine eşit olarak belirlenmektedir [50].

3.7.1. Yüzey Pürüzlülüğünü Etkileyen Etkenler

- Kesici ucun üzerine talaş yapışması
- Takım ve malzemenin deformasyonu

- Takım ve malzeme arasındaki titreşim
- Kesme kenarı pürüzlülüğü, birinci ve ikinci kesici kenarında meydana gelen izler ve aşınma
- İş parçasından talaş kaldırılan yüzeyinde 100 pm' luk derinlikteki fiziksel ve kimyasal özellikler.
- Talaş akışı [51].

3.7.1.1. Kesme Parametrelerinin Etkileri

- İşleme kalitesini etkileyen etkenler dört grupta incelenmektedir. Takım tezgahına ait sapmalar; tezgâhın mekanizmasında mevcut olan hataların etkisinden, ana milin kızak yüzeylerinin olmamasından, tezgahın tüm mekanizmaları ve yataklama sistemlerinde mevcut olan sapmalar ve boşlukların etkisinden, gövde ve ana milin yeterince rijit olmaması nedeniyle oluşmaktadır.
- Bağlama sistemine ilişkin hatalar; ana elemanların imalat hatalarından, tertibatın yeteri kadar rijit olmamasından, ana elemanlarda meydana gelen aşınmalardan kaynaklanmaktadır.
- Takım sistemine ait hatalar; takımın konum bakımından hatalı biçimde tutturulmasından, kesme kuvvetlerinin etkisi altında biçim değiştirilmelerin oluşması ve takımın aşınmasından kaynaklanmaktadır.
- Ortamın etkisi altında oluşan hatalar; sıcaklığın meydana getirdiği şekil değiştirmeleri ve diğer tezgâhlardan gelen titreşimlerden kaynaklanmaktadır [52].

3.7.1.2. Kesici Takım Aşınmasının Etkisi

Talaş kaldırma işleminde takım aşınması belirlenmesi gerekli parametrelerden birisidir. Serbest yüzey aşınması üretilen parçanın çapını ve yüzey kalitesini doğrudan etkilenmektedir. Takım aşınmasının belirlenmesinde başlıca neden üretime ara verilmeden aşınmanın tespit edilebilmesidir. Bu amaç ile modern tezgâhlarda adaptif denetim mekanizmaları geliştirilmiştir. Otomatik talaş kaldırma işlemlerinde kesici takım ömrünü tamamlamadan önce değiştirilmesi gerekmektedir. Aksi

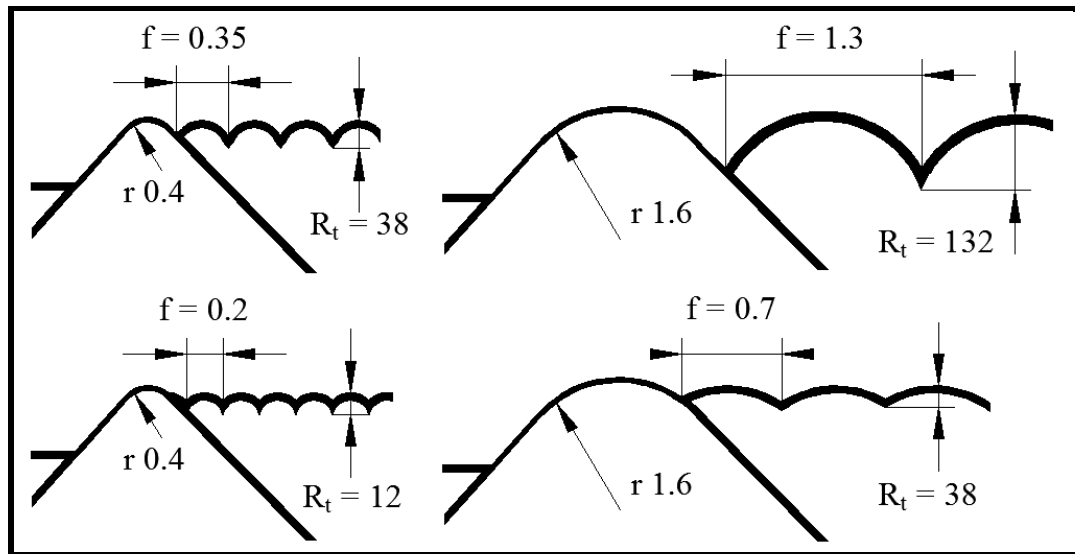
durumda üretimin devam etmesine üretilen parçaların tolerans değerleri uygun olmayacaktır.

3.7.1.3. Kesme Kuvvetlerinin Etkisi

Talaş kaldırma esnasında oluşan dirençleri yenmek için gerekli talaş kaldırma kuvveti F_s kesme kuvveti, F_v ilerleme kuvveti ve F_r kuvvet olmak üzere üç bileşene ayrılmaktadır. Kesme kuvvetleri gerek takım gerek ise iş parçasının üzerinde bir takım şekil değiştirmelere sebep olarak takım-iş parçası konumunu değiştirirler ve yüzeyin kalitesini etkilemektedir. Kesme takım-tezgâh zinciri esnek bir sistemdir. Dolayısıyla, talaş kaldırma esnasında, kesme kuvvetinin değişken olması nedeniyle titreşimler meydana gelebilmektedir. Bu titreşimler şiddetli olduklarında, kötü bir yüzey kalitesine sebep olan tırlama olayını oluşturmaktadır [32].

3.7.1.4. İlerleme ve Köşe Radyüsünün Etkisi

Teorik maksimum yüzey pürüzlülüğü değerinin (R_t) daha yüksek kesme hızları ve daha pozitif bir kesme geometrisinin kullanılmasıyla artırılabilir. Şekil 3.14'te teorik yüzey pürüzlülüğü (R_t) değerinin ilerleme (f) ve köşe radyüsüne bağlı (r_e) (veya kesici uç çapına) değişimini göstermektedir [53].



Şekil 3.14. İlerleme ve köşe radyüsünün yüzey kalitesi üzerindeki etkileri [54].

$$R_t = \frac{f^2}{8 \cdot r_\varepsilon} 1000 \quad (3.1)$$

Şekil 3.6'da ve denklem (3.1)'de görüldüğü üzere daha büyük bir köşe radyüsü, aynı yüzey pürüzlülüğü değeri için daha büyük ilerleme değeriyle elde edilebilmektedir. İlerleme ve köşe radüsüne bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünün aritmetik ortalaması olarak isimlendirilen (R_a) değeri de şekildeki gibi ifade edilmektedir.

$$R_a = \frac{0,321}{r_\varepsilon} \cdot f^2 \quad (3.2)$$

Yukarıda belirtildiği üzere kesme hızı, ilerleme hızı ve köşe radyüsü yüzey kalitesinin elde edilmesinde esas etkenleri meydana getirmektedir. Kesme hızının artırılmasının talaşın yapışmasına, titreşime ve aşınmaya olan etkisi nedeniyle ikinci dereceden etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir [55].

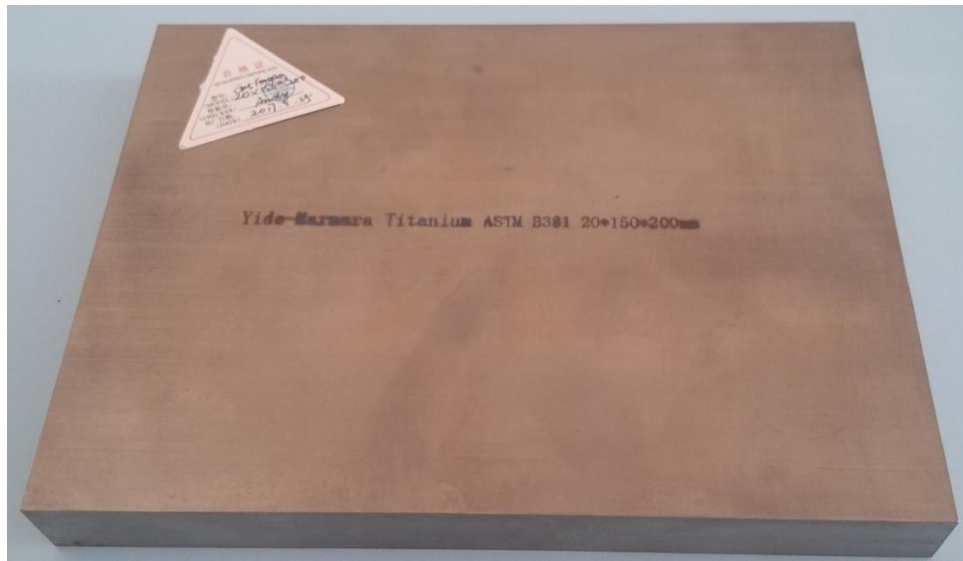
BÖLÜM 4

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu tez çalışmasında, yaygın kullanım alanına sahip Ti6Al4V titanyum alaşımı prizmatik malzemeler üzerinde iki farklı boylarda yekpare gövdeli karbür matkaplarla delme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Delme işlemleri farklı kesme hızı, ilerleme değeri ve delme yöntemlerinde gerçekleştirilmiştir. Matkap boyu, kesme hızı, ilerleme değeri ve delme yönteminin delinen deliklerin yüzey pürüzlülük değerlerine, matkap uçlarında oluşan sıcaklık değerlerine ve matkap aşınmasına etkileri incelenmiştir.

4.1. İŞ PARÇASI MALZEMESİ

20 x 150 x 200 mm boyutlarında ASTM B381 standardına uygun Ti6Al4V titanyum alaşımı plakalar iş parçası olarak kullanılmıştır, Şekil 4.1 Çizelge 4.1 ve 4.2’de sırasıyla Ti6Al4V malzemenin nominal kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri verilmektedir.



Şekil 4.1. Ti6Al4V iş parçası malzemesi.

Çizelge 4.1. Ti6Al4V malzemenin nominal kimyasal bileşimi [4].

Element	Al	V	Fe	C	Mo	Mn	Si	Ti
Ağ. (%)	6,37	3,89	0,16	0,002	< 0,01	< 0,01	< 0,01	Kalan

Çizelge 4.2. Ti6Al4V malzemenin mekanik özellikleri [4].

Çekme dayanımı (MPa)	960-1270
Akma dayanımı (MPa)	82
Uzama (%)	≥ 8
Kesit daralması	≥ 25
Elastiklik modülü (GPa)	100-130
Sertlik (HV)	330-370

4.2. TAKIM TEZGAHI VE DELME DENEYLERİ

Delme deneyleri bir ARION IMM-600 dik işlem merkezi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Plaka halindeki Ti6Al4V iş parçası malzemeleri hassas bir mengene vasıtasıyla tezgah tablasına bağlanmıştır. İş parçasının bağlanmasında iş parçası yüzeyinin tezgah iş mili eksenine dikliğini sağlamak için komparatör kullanılmıştır. Ayrıca, delme işlemi öncesinde iş parçası yüzeyinden ince bir katman alın frezeleme yöntemiyle uzaklaştırılmıştır. Bu şekilde hem yüzeydeki muhtemel kusurlar giderilmiş ve hem de iş mili ile iş parçası yüzeyinin dikliği daha iyi sağlanmıştır. Delme işlemleri Ti6Al4V plakalar üzerinde boydan boya kesme sıvısı kullanılmadan delme yapılarak gerçekleştirilmiştir.

Ti6Al4V iş parçası malzemesine delik delmek amacıyla iki farklı boyda yekpare gövdeli helisel matkaplar kullanılmıştır. Matkapların tam boyları 75 ve 105 mm ve uç açıları da 140°'dir. Matkaplar 6 mm çapında olup 35 mm helis uzunluğuna sahiptir. Matkaplar S15 kalite karbür olup kaplaması da AlCrN'dür. Matkaplar istenilen boyutlarda özel olarak imal ettirilmiştir. Matkaplar dik işleme merkezi iş mili koniğine uygun bir takım tutucu vasıtasıyla rijit bir şekilde bağlanmıştır. Bütün matkaplar takım taşma uzunlukları (tool overhang) 40 mm olacak şekilde takım

tutucuya bağlanmıştır. Bu çalışmada matkaplar uzunluklarına göre kısa (75 mm) ve uzun (105 mm) olarak kodlanmıştır.

4.3. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ VE SICAKLIK ÖLÇÜMÜ

Ti6Al4V iş parçası üzerine delinmiş deliklerin ortalama yüzey pürüzlülük değerlerini belirlemek için Mitutoyo SurfTest SJ-410 model bir yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı kullanılmıştır. Pürüzlülük ölçümü için 6 mm çapındaki delik içerisine girebilen bir izleyici uç kullanılmıştır. Ölçümler kesme uzunluğu 0,8 mm ve örnekleme uzunluğu 5,6 mm alınarak gerçekleştirilmiştir. Her bir deney grubunda ilk delikler üzerinde iki ölçüm gerçekleştirilmiştir. Bu iki ölçümün ortalaması alınmıştır.

Sıcaklık ölçümleri için bir Fluke ti200 model termal kamera kullanılmıştır. Delme işlemi esnasında, delme işlemi süresince termal kamera delme bölgesinde oluşan sıcaklığı kaydetmiştir. Ulaşılan en yüksek sıcaklık değeri dikkate alınmıştır.

4.4. DELME DEĞİŞKENLERİ

Delme deneyleri kısa ve uzun matkaplarla iki ayrı grup halinde yapılmıştır. Delme işlemleri gagalama yöntemiyle farklı dalma derinliklerinde yapılmıştır. Ti6Al4V pahalı malzeme olması nedeniyle malzeme sarfiyatını azaltmak amacıyla delme deneyleri kesme sıvısı kullanılmadan gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde matkaplarda gerçekleşen aşınmaların daha hızlı olacağı düşünülmüştür.

4.5. DİJİTAL MİKROSKOP

Delik delme işleminde kullanılan matkaplarda gerçekleşen aşınmalar Dinolite Dijital stereo mikroskop yardımıyla gözlemlenmiştir. Uygun büyütmeyle fotoğrafları çekilmiştir.

4.6. DENEY TASARIMI

Taguchi metodu, tam faktöriyel deney tasarımının aksine deney sayısını azaltarak araştırma sonuçlarının ekonomik ve daha kısa sürede elde edilmesine izin veren bir metottur. Bu nedenlerden dolayı metodu, farklı çalışma alanlarındaki bilim insanları çalışmalarında sıklıkla kullanılmaktadır. Çiftçi vd. molibden alaşımlarının işlenmesinde kesici takım ve kesme parametrelerini Taguchi L16 deney tasarımı ile optimize etmişlerdir [56]. Gökçe vd. ticari saflıktaki molibdenin frezelenmesi sürecini Taguchi L16 deney tasarımı kullanarak kesme parametreleri açısından değerlendirmişlerdir [57]. Canel vd. Taguchi metodu ile Al 6082-T6 alaşımının lazerle kesilmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisinde incelemişlerdir [58].

Terzioğlu termoelektrik jeneratör üzerindeki etki faktörlerini yine Taguchi metodu kullanarak analiz etmiştir [59]. Pınar vd. Ranque–Hilsch vorteks tüpünün performansını incelerken Taguchi metodunu kullanmışlardır [60]. Maiyar vd. Inconel 718 süper alaşımının frezelemesi işleminde kesme parametrelerini Taguchi tabanlı gri ilişkisel analiz ile optimize etmişlerdir [61].

Geleneksel deney tasarımının aksine Taguchi metodu ile kontrol faktörlerinin kalite karakteristiği üzerindeki etkilerini belirleyebilmek için deneylerden elde edilen veriler istenilen sonuca uygun amaç fonksiyonu ile Sinyal/Gürültü (S/N) oranına dönüştürülür. S/N oranı, istenilmeyen rastgele gürültü değeri için istenilen sinyal oranı olarak tanımlanmakta olup, deneysel verilerin kalite karakteristiklerini gösterir [56]. S/N oranının hesaplanması için üç temel fonksiyon vardır. Bunlar “en küçük en iyi, en büyük en iyi ve hedef değer en iyi” amaç fonksiyonlarıdır. Her üç fonksiyon içinde amaç, S/N oranını maksimize etmektir.

F testi olarak da bilinen varyans analizi (ANOVA) ile kontrol faktörlerinin istatistiksel önem durumları hesaplanır ve ayrıca kontrol faktörlerinin optimum seviyeleri, S/N oranları yardımıyla belirlenir. Son olarak yapılan optimizasyonun test edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla kontrol faktörlerinin

optimum seviyeleri için doğrulama deneyleri yapılmalı ve optimizasyon işleminin geçerliliği denetlenmelidir.

Deneysel çalışmada kesme hızı, ilerleme miktarı ve dalma miktarı kontrol faktörleri olarak seçilmiş ve her kontrol faktörü için üç seviye belirlenmiştir. Deneyler de bu amaca uygun Taguchi L9 ortogonal dizisi kullanılarak tasarlanmıştır. Çizelge 4.3'te deneylerde kullanılan kontrol faktörleri ve seviyeleri verilmiştir. Taguchi L9 dikey dizinine göre uygulanan deneyler ise Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.3. Kontrol faktörleri ve seviyeleri.

Sembol	Faktörler	Seviye		
		1	2	3
V	Kesme hızı, m/dk	10	20	30
f	İlerleme miktarı, mm/dev	0,05	0,10	0,15
D	Dalma miktarı, mm	2	4	6

Çizelge 4.4. Taguchi L9 dikey dizinine göre deney tasarımı.

Deney No	Kesme Hızı (V)	İlerleme Değeri (f)	Dalma Miktarı (D)	İşleme Zamanı (dk)
1	10	0,05	2 mm	8,6
2	10	0,10	4 mm	3,6
3	10	0,15	6 mm	2,1
4	20	0,05	4 mm	3,6
5	20	0,10	6 mm	1,6
6	20	0,15	2 mm	1,4
7	30	0,05	6 mm	2,2
8	30	0,10	2 mm	1,4
9	30	0,15	4 mm	0,8

Kontrol faktörlerinin uygun seviyelerini belirlemek için kalite karakteristik değerlerinin en küçük olduğu durum belirlenmelidir. Bu amaçla S/N oranının

hesaplanmasında Eşitlik 4.1’de verilen “en küçük en iyi” amaç fonksiyonu kullanılmıştır. Eşitlik 1’de y_i : kalite karakteristiğinin ölçülen değeri (kalite değişkeni, bu çalışma için sıcaklık (T) ve yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerleridir) ve n: toplam deney (gözlem) sayısıdır.

$$\begin{aligned} S/N \\ &= -10\log(1/n \sum_{i=1}^n y_i^2) \end{aligned} \quad (4.1)$$

Performans değerlendirmesi, Sinyal/Gürültü oranı (S/N) ile analiz edilmiş ve kontrol faktörlerinin etkisini belirleyebilmek için deney sonuçlarına % 95 güven aralığında (0,05 anlamlılık düzeyi) varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır. İstatistiksel hesaplamalarda Minitab17 programından faydalanılmıştır.

BÖLÜM 5

DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Özellikle havacılık ve savunma sanayinde yaygın olarak kullanılan Ti6Al4V titanyum alaşımı plakalar üzerine AlCrN kaplamalı yekpare gövdeli karbür takımlar kullanılarak delik delme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Delik delme işlemlerinde üç farklı kesme hızı, üç farklı ilerleme değeri ve üç farklı dalma (gagalama) yöntemi kullanılmıştır. Gagalama işlemleri 2 mm dalma ve akabinde 1 mm geri çıkma, 4 mm dalma ve akabinde 1 mm geri çıkma ve 6 mm dalma ve akabinde 1 mm geri çıkma şeklinde yapılmıştır. Delme işlemleri sonucu oluşan yüzey pürüzlülük değerleri ve sıcaklık değerlerinin delme işlemi değişkenlerine göre değişimi belirlenmiştir. Aynı deney tasarımı kullanılarak kısa ve uzun matkaplarla iki farklı grupta deneyler yapılmıştır. Bu şekilde matkap boyunun da etkisi incelenmiştir.

5.1. KISA MATKAP

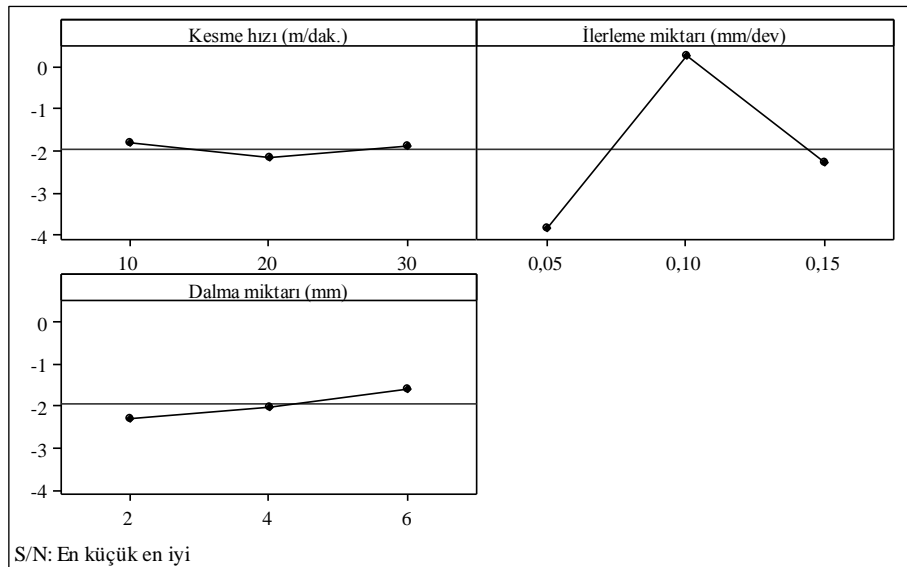
Çizelge 5.1’de L9 ortogonal deney tasarımına göre kısa matkaplarla yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar ve bu sonuçların “en küçük en iyi” amaç fonksiyonu kullanılarak hesaplanmış S/N oranları verilmiştir.

Çizelge 5.1. Kısa matkaplarla elde edilen deney sonuçları ve S/N oranları.

Deney no	Kod	Kesme hızı (m/dk)	Kod	İlerleme miktarı (mm/dev)	Kod	Dalma miktarı (mm)	Sıcaklık (°C)	Ra (µm)	Sıcaklık S/N	Ra S/N
1	A1	10	B1	0,05	C1	2	162,21	1,422	-44,2016	-3,06105
2	A1	10	B2	0,10	C2	4	244,92	0,981	-47,7805	0,16662
3	A1	10	B3	0,15	C3	6	257,24	1,340	-48,2068	-2,54210
4	A2	20	B1	0,05	C2	4	290,52	1,763	-49,2635	-4,92505
5	A2	20	B2	0,10	C3	6	306,95	0,851	-49,7414	1,40141
6	A2	20	B3	0,15	C1	2	280,82	1,418	-48,9686	-3,03659
7	A3	30	B1	0,05	C3	6	309,46	1,509	-49,8121	-3,57666
8	A3	30	B2	0,10	C1	2	339,09	1,100	-50,6063	-0,83180
9	A3	30	B3	0,15	C2	4	393,62	1,155	-51,9015	-1,25164

5.1.1. Kısa Matkap İçin Yüzey Pürüzlülüğü

Yüzey pürüzlülüğü için gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen S/N oranları hesaplanmış ve S/N oranları için ana etki grafikleri Şekil 5.1’de gösterilmiştir. Aynı zamanda Çizelge 5.2’de yüzey pürüzlülüğü için S/N oranlarının kontrol faktörlerine göre dağılımı verilmiştir.



Şekil 5.1. Yüzey pürüzlülüğünün S/N oranları için ana etki grafikleri.

Şekil 5.1'deki ana etki grafikleri ve Çizelge 5.2'deki S/N oranlarının en yüksek ve en düşük noktaları incelendiğinde Ra üzerinde etkili olan en önemli kontrol faktörünün ilerleme miktarı olduğu görülmektedir. Ayrıca, Ra üzerinde etkili olan kontrol faktörlerinin önem sırasının sırasıyla ilerleme miktarı, dalma miktarı ve son olarak kesme hızı olduğu Çizelge 5.2'de görülmektedir.

Çizelge 5.2. Ra'nın ortalama S/N oranları için kontrol faktörlerinin önem sırası.

Seviye	Kesme hızı	İlerleme miktarı	Dalma miktarı
1	-1,8122	-3,8543	-2,3098
2	-2,1867	0,2454	-2,0034
3	-1,8867	-2,2768	-1,5724
Mak-Min	0,3746	4,0997	0,7374
Önem sırası	3	1	2

Varyans analizi (ANOVA) ile yüzey pürüzlülük değerinin kontrol faktörlerinden etkilenme oranları belirlenmiş ve sonuçlar Çizelge 5.3'te verilmiştir. Tabloda DF: serbestlik derecesi, SS: kareler toplamı, MS: kareler ortalaması, F: test istatistiği, P: anlamlılık düzeyi, PCR: % etki oranı ve R^2 : determinasyon katsayısıdır.

ANOVA sonuçlarına göre P değerinin 0,05'den küçük olması kontrol faktörlerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu gösterir. Çizelge 5.3 incelendiğinde her kontrol faktörü için anlamlılık değerinin 0,05'den büyük olduğu görülmektedir. Bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçlara göre bütün kontrol faktörleri kalite karakteristiği üzerinde istatistiki olarak etkili olmadığı görülmektedir.

Ra değerlerinin kontrol faktörlerinden etkilenme oranlarının sırasıyla; ilerleme miktarı için % 80,9, dalma miktarı için % 2,6 ve kesme hızı için ise % 0,7 seviyelerinde olduğu ilgili çizelgeden (Çizelge 5.3) görülmektedir.

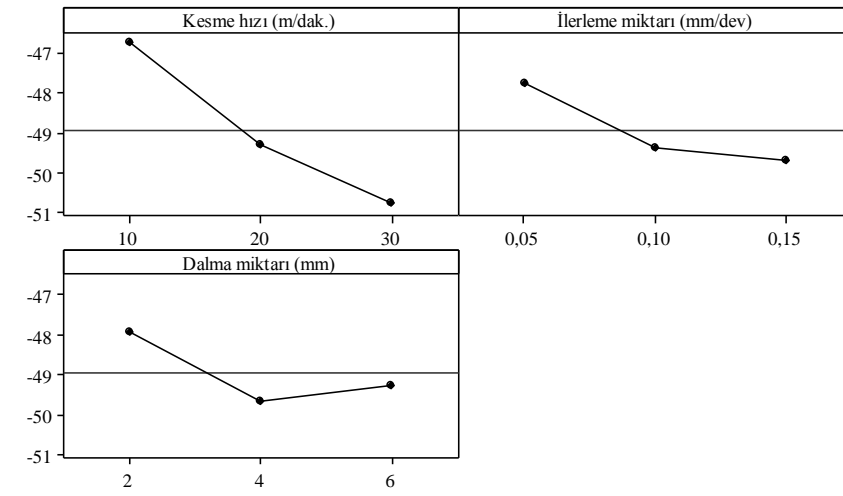
Çizelge 5.3. Ra'nın S/N oranlarına göre ANOVA analizi sonuçları.

Kontrol faktörleri	Serbestlik derecesi (DF)	Kareler toplamı (SS)	Kareler ortalaması (MS)	F oranı	P değeri	PCR
Kesme hızı	2	0,236	0,118	0,05	0,955	0,7
İlerleme miktarı	2	25,657	12,829	5,14	0,163	80,9
Dalma miktarı	2	0,823	0,412	0,16	0,859	2,6
Artık hata	2	4,995	2,498			15,8
Toplam	8	31,711				100,00
R ²	% 84,25					

Taguchi metodu ile optimizasyon yapılarak, yüzey pürüzlülük değeri için en uygun kontrol faktörlerinin seviyeleri belirlenmiştir. Yapılan optimizasyona göre kontrol faktörlerinin optimum seviyeleri A1-B2-C3 (10m/dak kesme hızı – 0,10mm/dev ilerleme miktarı– 6mm dalma miktarı) olarak bulunmuştur (Şekil 5.1 ve Çizelge 5.2).

5.1.2. Kısa Matkap İçin Sıcaklık

Matkap sıcaklığı için gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen S/N oranları hesaplanmış ve S/N oranları için ana etki grafikleri Şekil 5.2'de gösterilmiştir. Aynı zamanda Çizelge 5.5'te matkap sıcaklığı için S/N oranlarının kontrol faktörlerine göre dağılımı verilmiştir.



Şekil 5.2. Matkap sıcaklığının S/N oranları için ana etki grafikleri.

Şekil 5.2'deki ana etki grafikleri ve Çizelge 6.4'teki S/N oranlarının en yüksek ve en düşük noktaları incelendiğinde matkap sıcaklığı üzerinde etkili olan en önemli kontrol faktörünün kesme hızı olduğu görülmektedir. Ayrıca, matkap sıcaklığı üzerinde etkili olan kontrol faktörlerinin önem sırasının sırasıyla kesme hızı, ilerleme miktarı ve son olarak dalma miktarı olduğu Çizelge 5.4'te görülmektedir.

Çizelge 5.4. Matkap sıcaklığının ortalama S/N oranları için kontrol faktörlerinin önem sırası.

Seviye	Kesme hızı	İlerleme miktarı	Dalma miktarı
1	-46,73	-47,76	-47,93
2	-49,32	-49,38	-49,65
3	-50,77	-49,69	-49,25
Mak-Min	4,04	1,93	1,72
Önem sırası	1	2	3

Varyans analizi (ANOVA) ile matkap sıcaklığı değerlerinin kontrol faktörlerinden etkilenme oranları belirlenmiş ve sonuçlar Çizelge 5.5'te verilmiştir.

ANOVA sonuçlarına göre P değerinin 0,05'den küçük olması kontrol faktörlerinin matkap sıcaklığı üzerindeki etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu gösterir. Çizelge 5.5 incelendiğinde kontrol faktörlerinden kesme hızının P değerinin 0,05'ten küçük olduğu görülmektedir. Diğerlerinin P değerinin ise 0,05'ten büyük olduğu görülmektedir. Dolayısıyla matkap sıcaklığı üzerinde kesme hızının etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu söylenebilir. Determinasyon katsayısının (R²) % 97,68 oranında çıkması da kalite karakteristiği ile kesme hızı arasında güçlü bir ilişki olduğunun bir göstergesidir.

Matkap sıcaklık değerlerinin kontrol faktörlerinden etkilenme oranlarının sırasıyla; kesme hızı için % 67,35, ilerleme miktarı için % 17,26 ve dalma miktarı için ise % 13,07 seviyelerinde olduğu ilgili çizelgeden (Çizelge 5.5) görülmektedir.

Çizelge 5.5. Matkap sıcaklığının S/N oranlarına göre ANOVA analizi sonuçları.

Kontrol faktörleri	Serbestlik derecesi (DF)	Kareler toplamı (SS)	Kareler ortalaması (MS)	F oranı	P değeri	PCR
Kesme hızı	2	25,1841	12,5920	29,09	0,033	67,35
İlerleme miktarı	2	6,4521	3,2260	7,45	0,118	17,26
Dalma miktarı	2	4,8884	2,4442	5,65	0,150	13,07
Artık hata	2	0,8659	0,4329			2,32
Toplam	8	37,3904				100,00
R ²	% 97,68					

Taguchi metodu ile optimizasyon yapılarak, matkap sıcaklık değerleri için en uygun kontrol faktörlerinin seviyeleri belirlenmiştir. Yapılan optimizasyona göre kontrol faktörlerinin optimum seviyeleri A1-B1-C1 (10 m/dak kesme hızı – 0,05 mm/dev ilerleme miktarı–2 mm dalma miktarı) olarak bulunmuştur (Şekil 5.2 ve Çizelge 5.5).

5.2. UZUN MATKAP

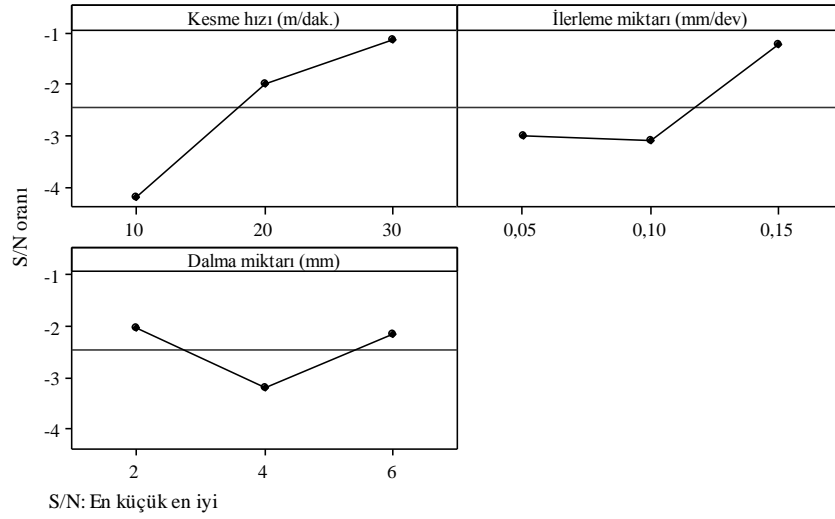
Çizelge 5.6’da L9 ortogonal deney tasarımına göre uzun matkaplarla yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar ve bu sonuçların “en küçük en iyi” amaç fonksiyonu kullanılarak hesaplanmış S/N oranları verilmiştir.

Çizelge 5.6. Uzun matkaplarla elde edilen deney sonuçları ve S/N oranları.

Deney no	Kod	Kesme hızı (m/dk)	Kod	İlerleme miktarı (mm/dev)	Kod	Dalma miktarı (mm)	Sıcaklık (°C)	Ra (µm)	Sıcaklık S/N	Ra S/N
1	A1	10	B1	0,05	C1	2	163,94	1,846	-44,2937	-5,32463
2	A1	10	B2	0,10	C2	4	229,39	1,814	-47,2115	-5,17275
3	A1	10	B3	0,15	C3	6	260,00	1,277	-48,2995	-2,12722
4	A2	20	B1	0,05	C2	4	260,00	1,368	-48,2995	-2,72490
5	A2	20	B2	0,10	C3	6	286,54	1,473	-49,1437	-3,36405
6	A2	20	B3	0,15	C1	2	299,91	0,992	-49,5398	0,06977
7	A3	30	B1	0,05	C3	6	324,92	1,114	-50,2355	-0,94160
8	A3	30	B2	0,10	C1	2	323,70	1,098	-50,2029	-0,81600
9	A3	30	B3	0,15	C2	4	332,41	1,212	-50,4335	-1,67005

5.2.1. Uzun Matkap İçin Yüzey Pürüzlülüğü

Yüzey pürüzlülüğü için gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen S/N oranları hesaplanmış ve S/N oranları için ana etki grafikleri Şekil 5.3'te gösterilmiştir. Aynı zamanda Çizelge 5.7'de yüzey pürüzlülüğü için S/N oranlarının kontrol faktörlerine göre dağılımı verilmiştir.



Şekil 5.3. Yüzey pürüzlülüğünün S/N oranları için ana etki grafikleri.

Şekil 5.3'teki ana etki grafikleri ve Çizelge 6.7'deki S/N oranlarının en yüksek ve en düşük noktaları incelendiğinde Ra üzerinde etkili olan en önemli kontrol faktörünün kesme hızı olduğu görülmektedir. Ayrıca, Ra üzerinde etkili olan kontrol faktörlerinin önem sırasının sırasıyla kesme hızı, ilerleme miktarı ve son olarak dalma miktarı olduğu Çizelge 5.7'de görülmektedir.

Çizelge 5.7. Ra'nın ortalama S/N oranları için kontrol faktörlerinin önem sırası.

Seviye	Kesme hızı	İlerleme miktarı	Dalma miktarı
1	-4,208	-2,997	-2,024
2	-2,006	-3,118	-3,189
3	-1,143	-1,243	-2,144
Mak-Min	3,066	1,875	1,166
Önem sırası	1	2	3

Varyans analizi (ANOVA) ile yüzey pürüzlülük değerinin kontrol faktörlerinden etkilenme oranları belirlenmiş ve sonuçlar 6.8’de verilmiştir. ANOVA sonuçlarına göre P değerinin 0,05’den küçük olması kontrol faktörlerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu gösterir. Çizelge 5.3 incelendiğinde her kontrol faktörü için anlamlılık değerinin 0,05’den büyük olduğu görülmektedir. Bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçlara göre bütün kontrol faktörleri kalite karakteristiği üzerinde istatistiki olarak etkili olmadığı görülmektedir.

Ra değerlerinin kontrol faktörlerinden etkilenme oranlarının sırasıyla; kesme hızı için % 52,43, ilerleme miktarı için % 23,11 ve kesme hızı için ise % 8,62 seviyelerinde olduğu ilgili çizelgeden (Çizelge 5.8) görülmektedir.

Çizelge 5.8. Ra’nın S/N oranlarına göre ANOVA analizi sonuçları.

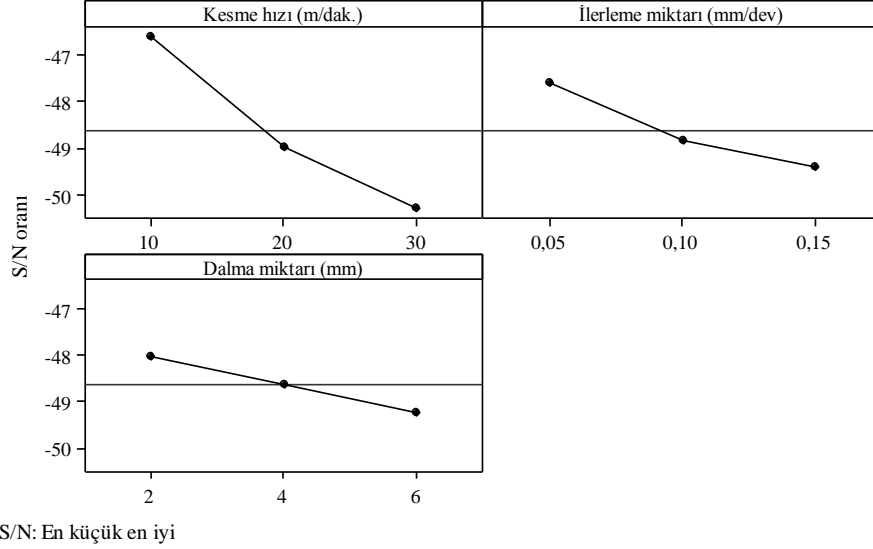
Kontrol faktörleri	Serbestlik derecesi (DF)	Kareler toplamı (SS)	Kareler ortalaması (MS)	F oranı	P değeri	PCR
Kesme hızı	2	14,992	7,496	3,31	0,232	52,43
İlerleme miktarı	2	6,609	3,304	1,46	0,407	23,11
Dalma miktarı	2	2,465	1,233	0,54	0,648	8,62
Artık hata	2	4,528	2,264			15,83
Toplam	8	28,595				100,00
R ²	% 84,16					

Taguchi metodu ile optimizasyon yapılarak, yüzey pürüzlülük değeri için en uygun kontrol faktörlerinin seviyeleri belirlenmiştir. Yapılan optimizasyona göre kontrol faktörlerinin optimum seviyeleri A3-B3-C1 (30 m/dak kesme hızı – 0,15 mm/dev ilerleme miktarı – 2 mm dalma miktarı) olarak bulunmuştur (Şekil 5.3 ve Çizelge 5.7).

5.2.2. Uzun Matkap İçin Sıcaklık

Matkap sıcaklığı için gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen S/N oranları hesaplanmış ve S/N oranları için ana etki grafikleri Şekil 6.4’te gösterilmiştir. Aynı

zamanda Çizelge 5.9’da matkap sıcaklığı için S/N oranlarının kontrol faktörlerine göre dağılımı verilmiştir.



Şekil 5.4. Matkap sıcaklığının S/N oranları için ana etki grafikleri.

Şekil 5.4’deki ana etki grafikleri ve Çizelge 5.9’daki S/N oranlarının en yüksek ve en düşük noktaları incelendiğinde matkap sıcaklığı üzerinde etkili olan en önemli kontrol faktörünün kesme hızı olduğu görülmektedir. Ayrıca, matkap sıcaklığı üzerinde etkili olan kontrol faktörlerinin önem sırasının sırasıyla kesme hızı, ilerleme miktarı ve son olarak dalma miktarı olduğu Çizelge 5.9’da görülmektedir.

Çizelge 5.9. Matkap sıcaklığının ortalama S/N oranları için kontrol faktörlerinin önem sırası.

Seviye	Kesme hızı	İlerleme miktarı	Dalma miktarı
1	-46,60	-47,61	-48,01
2	-48,99	-48,85	-48,65
3	-50,29	-49,42	-49,23
Mak-Min	3,69	1,81	1,21
Önem sırası	1	2	3

Varyans analizi (ANOVA) ile matkap sıcaklığı değerlerinin kontrol faktörlerinden etkilenme oranları belirlenmiş ve sonuçlar 5.10’da verilmiştir. ANOVA sonuçlarına

göre P değerinin 0,05'den küçük olması kontrol faktörlerinin matkap sıcaklığı üzerindeki etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu gösterir. Çizelge 5.10 incelendiğinde her kontrol faktörü için anlamlılık değerinin 0,05'den büyük olduğu görülmektedir. Bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçlara göre bütün kontrol faktörleri kalite karakteristiği üzerinde istatistiki olarak etkili olmadığı görülmektedir.

Matkap sıcaklığı değerlerinin kontrol faktörlerinden etkilenme oranlarının sırasıyla; kesme hızı için % 67,35, ilerleme miktarı için % 17,26 ve dalma miktarı için ise % 13,07 seviyelerinde olduğu ilgili çizelgeden (Çizelge 5.10) görülmektedir.

Çizelge 5.10. Matkap sıcaklığının S/N oranlarına göre ANOVA analizi sonuçları.

Kontrol faktörleri	Serbestlik derecesi (DF)	Kareler toplamı (SS)	Kareler ortalaması (MS)	F oranı	P değeri	PCR
Kesme hızı	2	21,015	10,507	10,32	0,088	69,06
İlerleme miktarı	2	5,165	2,583	2,54	0,283	16,97
Dalma miktarı	2	2,213	1,106	1,09	0,479	7,27
Artık hata	2	2,037	1,019			6,69
Toplam	8	30,430				100,00
R ²	% 93,31					

Taguchi metodu ile optimizasyon yapılarak, matkap sıcaklık değerleri için en uygun kontrol faktörlerinin seviyeleri belirlenmiştir. Yapılan optimizasyona göre kontrol faktörlerinin optimum seviyeleri A1-B1-C1 (10 m/dak kesme hızı – 0,05 mm/dev ilerleme miktarı – 2 mm dalma miktarı) olarak bulunmuştur (Şekil 5.4 ve Çizelge 5.9).

5.3. MATKAP AŞINMASININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Delme deneylerinde, belirlenen her bir koşulda Ti6Al4V plakalar üzerinde 30 delik delinmesi planlanmıştır. Kısa matkapla yapılan delme işlemlerinde 8 nolu deneye kadar her bir koşulda 30 delik delinebilmiştir. Ancak 9 nolu deneyde (30 m/dk, 0,15 mm/diş ve 4 mm) 6 delik delindikten sonra matkap kırılmıştır. 9 nolu deney tekrar

edilmiştir. Ancak, 6 delik delindikten sonra matkapta ciddi sıcaklık artışı görüldüğü için tekrar deneyinde de daha fazla delik delinmemiştir.

Uzun matkaplarla yapılan deneylerde de 9 nolu deneyde 6 adet delik delindikten sonra sıcaklıkta ciddi artışlar görülmüştür ve matkabın kırılma ihtimaline karşı daha fazla delik delinmemiştir.

Bu çalışmanın amaçlarından bir tanesi de matkap uzunluğunun ve işlem değişkenlerinin matkap aşınması üzerindeki etkisini incelemektir. Dijital mikroskop görüntülerinden matkaplarda oluşan aşınma değerlerinin nicel olarak sağlıklı bir şekilde belirlenmesinin mümkün olmadığı görülmüştür. Özellikle Ti6Al4V malzeme sünek olması nedeniyle kesici uçlara yapıştığı ve oluşan aşınmayı gizlediği dijital mikroskop görüntülerinden anlaşılmaktadır, Şekil 5.5. Bununla birlikte, görüntüler matkap boyu ve işleme değişkenlerine bağlı olarak aşınmalar hakkında fikir vermektedir.

Şekil 5.5'teki görüntüler, üç farklı kesme hızında (10, 20 ve 30 m/dk) kullanılan kısa ve uzun matkaplardaki aşınmaları göstermektedir. Kısa matkapta gerçekleşen aşınmaların uzun matkaplarda gerçekleşenlere göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Her üç kesme hızında da yapılan deneyler sonucu kısa matkaplarda (a, c, ve e) gerçekleşen aşınmaların uzun matkaplarda (b, d ve f) gerçekleşen aşınmalardan daha fazla olduğu görülmektedir. Aynı takım taşma uzunluğuna sahip matkaplarda matkap boyunun artması ile aşınmanın azalması, artan matkap boyundan dolayı matkap sıcaklığının azalması ile açıklanabilir. Daha önce yapılan bir çalışmada da Ti6Al4V malzemenin HSS matkaplarla delinmesinde artan matkap boyu ile matkap sıcaklığının azaldığı rapor edilmiştir [18]. Uzun matkapların düşük sıcaklık nedeniyle daha az aşındıkları sonucu çıkarılabilir.

Şekil 5.5'ten kesme hızının artması ile matkap aşınmasının arttığı da görülmektedir. 10 m/dk kesme hızında yapılan delik delme işlemlerinde matkapların kesici ağızları boyunca düzenli olarak kabul edilebilecek bir aşınma görülmektedir. Ayrıca, iş parçası malzemesinin de matkap merkezinde daha çok olmak üzere kesici ağızlara yapıştığı görülmektedir. 10 m/dk kesme hızında yapılan deneyde kullanılan matkabın

kesici uçlarında aşınmaya ilave olarak hemen hemen kayda değer bir renk değişimi görülmemektedir.



a)



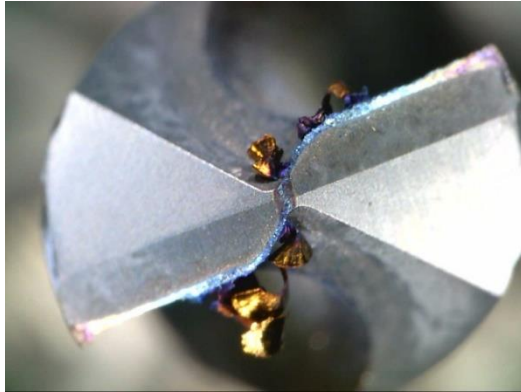
b)



c)



d)



e)



f)

şekil 5.5. 10, 20 ve 30 m/dk kesme hızlarında yapılan deneyler sonrası kısa (a, c ve e) ve uzun (b, d ve f) matkaplarda oluşan aşınmalar.

20 m/dk kesme hızında yapılan deneylerde kullanılan matkaplarda daha fazla aşınma ve hatta kısa matkabın (Şekil 5.5.c) kesici ucunun bir tanesinde ciddi kırılmalar görülmektedir. Bu matkapların kesici uçlarında ve yapışan iş parçası malzemelerinin renginde kayda değer değişiklikler görülmektedir. Bu renk değişimlerinden işleme esnasında sıcaklık etkisinin daha fazla olduğu sonucu çıkarılabilir. 30 m/dk kesme hızında kullanılan matkapların kesici uçlarında ise renk değişimin/yanmaların çok daha ciddi olduğu görülmektedir. Dolayısıyla sıcaklık etkisinin 30 m/dk kesme hızında çok daha fazla olduğu sonucu çıkarılabilir.

Kesme hızının artması ile matkabın kesici ağızlarında sıcaklık etkisinin fazla olması yüksek kesme hızlarında daha fazla ısı oluşumu ve bu ısının kesme bölgesinden uzaklaşması için yeterli zaman olmaması ile açıklanabilir. Ayrıca, bu çalışmada yapılan delme işlemlerinde kaldırılan talaş miktarı işleme değişkenlerinden bağımsız olarak sabittir. Dolayısıyla yüksek kesme hızlarında delme işlemi için geçen süre daha kısa olduğu için oluşan ısının da kesme bölgesinden uzaklaşması düşük kesme hızlarında yapılan işlemlerdeki gibi olmamaktadır.

Termal kamera vasıtasıyla elde edilen sıcaklık değerlerinde (Şekil 5.5) çok fazla bir fark görülmemesine rağmen kesme hızının matkapların kesici uçlarında oluşan sıcaklıklar üzerinde önemli derecede etkili olduğu görülmüştür. Delme işlemlerinde kullanılan matkapların dijital mikroskop görüntüleri kesme hızının işlem esnasında matkapların kesme yapan kısımlarının maruz kaldıkları sıcaklıklar üzerinde önemli derecede etkili olduğunu göstermektedir. Bu durum termal kamerayla özellikle matkabın işlem esnasında uç kısmından görüntü alamamasıyla açıklanabilir.

BÖLÜM 6

SONUÇLAR

Ti6Al4V titanyum alaşımı plaklar üzerine kaplamalı yekpare gövdeli karbür matkaplar kullanılarak delik delme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Deney tasarımında Taguchi yöntemi kullanılmıştır. Delik delme işlemlerinde üç farklı kesme hızı, üç farklı ilerleme değeri ve üç farklı dalma (gagalama) yöntemi kullanılmıştır. Delinen deliklerin yüzey pürüzlülük değerleri ve matkap sıcaklık değerlerinin delme işlemi değişkenlerine göre değişimi belirlenmiştir. Aynı deney tasarımı kullanılarak kısa ve uzun matkaplarla iki farklı grupta deneyler yapılmıştır. Ayrıca, matkapta gerçekleşen aşınmalar da incelenmiştir. Bu çalışmadan aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır:

- Delinen deliklerin yüzey pürüzlülük değerlerinde işlem değişkenlerine bağlı olarak belirli bir eğilim görülememiştir. Bu durumun Ti6Al4V malzemenin yüksek sünekliği ve delme işleminin karmaşık doğasından kaynaklandığı düşünülmüştür.
- Yapılan ANOVA analizi sonucuna göre işlem değişkenlerinin yüzey pürüzlülük değeri üzerinde etkili olmadığı görülmüştür.
- Matkap sıcaklığının artan kesme hızı ve ilerleme değeri ile arttığı görülmüştür. Yapılan ANOVA analizinde de sıcaklık üzerinde en büyük etkinin kesme hızına ait olduğu görülmüştür.
- En düşük kesme hızında yapılan deneylerde matkaplarda gerçekleşen aşınmaların oldukça düşük seviyelerde olduğu görülmüştür. Artan kesme hızı ile aşınmanın ciddi şekilde artmıştır.
- Kısa matkapta gerçekleşen aşınmalar uzun matkapta gerçekleşen aşınmalara göre daha fazla olmuştur.

KAYNAKLAR

1. Ünal, E. ve Karaca, F., "Ti6Al4V alaşımının dik işlem merkezli CNC tezgahında işlenebilirliğinin araştırılması", *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları*, 135-139 (2007).
2. Yıldız, T., "Ti6Al4V alaşımının tornalanmasında işleme parametrelerinin ortalama yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvveti üzerindeki etkisinin araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük (2015).
3. Yeşil Durmuş, Z, ve Güngör, H., "Dental implant materyalleri", *Atatürk Üniversitesi Diş Hek. Fak. Derg.*, 23(1); 145-152 (2013).
4. Sharif, S. and Rahim, E. A., "Performance of coated and uncoated carbide tools when drilling titanium alloy Ti6Al4V", *Journal of Materials Processing Technology*, 72-76 (2007).
5. Li, R. and Albert, J. S., "Spiral point temperature and stress in high-throughput drilling of titanium", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 47 (2007).
6. Bıçakçı, N., "Ti6Al4V Titanyum alaşımının delinebilirliğinin araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (2015).
7. Kıvak, T., "Inconel 718'in delinebilirliğinin araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (2007).
8. Bağcı, E. and Özçelik, B., "Analysis of temperature changes on the twist drill under different drilling conditions based on Taguchi method during dry drilling of Al 7075-T651", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 26(7-8); 629-636 (2006).
9. Zeilmann, R. P. and Weingaertner, W. L., "Analysis of temperature during drilling of Ti6Al4V with minimal quantity of lubricant", *Journal of Materials Processing Technology*, 179; 124-127 (2006).
10. Kıvak, T. ve Şeker, U., "Ti-6AL-4V alaşımının delinmesinde M42 hss takımlara uygulanan kriyojenik işlemin delik kalitesi üzerindeki etkileri", *7th International Symposium On Machining*, 241-250 (2016).

11. Erdoğan, M., "Mühendislik alaşımlarının yapı ve özellikleri demir dışı alaşımlar", 2, *Nobel* (2001).
12. Leyens, C. and Peters, M., "Titanium and titanium alloys", *Wiley-VCH* (2003).
13. Kubiak, K. and Sieniawski, J., "Development of the microstructure and fatigue strength of two phase titanium alloys in the processes of forging and heat treatment", *Journal of Materials Processing Technology* **78**, 117-121 (1998).
14. Bloyce, A., Qi, P. Y., Dong, H. and Bell, T., "Surface modification of titanium alloys for combined improvements in corrosion and wear resistance", *Surface and Coatings Technology*, 107; 125-132 (1998).
15. Lutjering, G. and Williams, J. C., "Titanium", *Springer-Verlag*, (107); 125-132 (1998).
16. Ensarioğlu, C. ve Çakır, M. C. "Titanyum ve alaşımlarının işlenebilirlik etüdü 1.Bölüm", *Mühendis ve Makine*, 46; 547 (2005).
17. Lutjering, G. and Williams, J. C., "Titanium, engineering materials and processes", *Springer*, 1-18; 333-481 (2003).
18. Lutjering, G. and Williams, J. C., "Titanium", *Springer-Verlag*, 2 (2007).
19. Boyer, R. and Briggs, R. D., "The use of titanium alloys in the aerospace industry", *Journal of Materials Engineering and Performance*, 681-685 (2005).
20. Ezugwu, E. O. and Wang, Z. M., "Titanium alloys and their machinability", *Journal of Materials Processing Technology*, 68,;262-274 (1997).
21. Livingston, J. J., "The microstructural evaluation and constitutive analysis for a physical simulation of friction stir processing of Ti-6Al-4V", *The Ohio State University* (2011).
22. Joshi, V. A., "Titanium Alloys", *Taylor & Francis*, 5-20 (2006).
23. Grujicic, M. and Narayan, C. P., "A Study of $\beta \rightarrow \alpha$ Martensitic Transformation", *Materials Science and Engineering: A*, (151); 217-226 (1992).
24. Rhodes, C. G. and Paton, N. E., "Formation Characteristics of the α/β Interface Phase in Ti-6Al-4V", *Metallurgical Transactions A*, (10); 209-216 (1979).
25. Donachie, M. J., "Titanium: a technical guide", *Materials Park*, 2 (3) (2000).

26. Gül, O., "Plazma nitrürlenmiş Ti-6Al-4V alaşımının adhezif aşınma özelliklerinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 9 (2013).
27. Coromant, S., "Modern metal cutting", *Sandvik* (1994).
28. Tonshoff, H. L., Spintig, W., König, W. and Neises, A., "Machining of Holes developments in drilling technology", *Annals of the CIRP*, 2 (43); 551-561 (1994).
29. Çakır, A., "AI 7075 ve AI 6013 alüminyum malzemelerin delme operasyonları esnasındaki kesme parametrelerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi", *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (2010).
30. Tönshoff, H. K., Spintig, W., König, W. and Neises, A., "Machining of holes developments in drilling technology", *CIRP Annals Manufacturing Technology*, 43 (2); 551-561 (1994).
31. Yavuz, M., "Delme işlemlerinde takım geometrisinin etkilerinin deneysel ve teorik olarak araştırılması", *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (2017).
32. Akkurt, M., "Talas Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgâhları", *Birsen Yayınevi*, İstanbul (1998).
33. Kaynak, Y., "Matkap ile delik delme esnasında kesme parametrelerinin kesme kuvveti ve sıcaklığın değişimine etkisinin deneysel olarak incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2006).
34. Yıldız, H., "Ti-6Al-4V alaşımının delinmesinde kesme parametrelerinin delik üzerine ve kesici takıma etkisinin araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (2015).
35. Odelros, S., "Tool wear in titanium machining", *Uppsala Universitet Teknisknaturveten skaplig fakultet UTH-enheten* (2012).
36. Cotton, J. D., Clark, L. P. and Phelps, H. R., "Titanium alloys on the F-22 fighter airframe", *Advanced Materials and Processes*, 5(160); 25-28 (2002).
37. Zareena, A. R., Rahman, M. and Wong, Y. S., "High speed machining of aerospace alloy Ti6Al4V", *International SAMPTe Technical Conference*, (33); 739-750 (2001).
38. Machado, A. R. and Wallbank, J., "Machining of titanium and its alloys a review", *Proc. Inst. Mech. Eng.*, (204); 53-60 (1990).

39. Schroeder, P. T., "Widening interest in twist drill", *Modern Mach. Shop*, 4 (71); 106-113 (1998).
40. Palmer, W. B. and Oxley, P. L. B., "Mechanics of orthogonal machining", *Proc. Inst. Mech. Engrs.*, (173); 623 (1959).
41. Coromant, S., "Modern Metal Cutting", *Sandvikens Tryckeri*, Sweden (1994).
42. Çakır, M. C., "Modern Talaşlı İmalat Yöntemleri", *Vipaş A.Ş.*, Bursa (2000).
43. Dolinsek, S., Sustarsic, B. and Kopac, J., "Wear mechanisms of cutting tools in high-speed cutting processes", *Wear*, 1-12 (2001).
44. Kıvak, T., "Kesici takımlara uygulanan kriyojenik işlemin Ti-6Al-4V alaşımının delinebilirliği üzerindeki etkilerinin araştırılması", Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 32 (2012).
45. Coromant, S., "http://www.sandvik.coromant.com," Sandvik Coromant, http://www.sandvik.coromant.com/en-gb/knowledge/drilling/wear-and-troubleshooting/wear_types.. [E.T. 12.07.2017].
46. Yontar, A. A., "AISI 304 Paslanmaz Çeliklerin İşlenebilirliğinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 16 (2011).
47. Zhang, J. H., "Theory and technique of precision cutting", *Pergamon Press*, 1-50 (1991).
48. Neşeli, S., "Tornalamada takım geometrisi ve tirlama titreşimlerinin yüzey pürüzlülüğüne etkileri, Yüksek Lisans Tezi", *Selçuk Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü* (2006).
49. Güllü, A., "Silindirik taşlamada istenen yüzey pürüzlülüğünü elde etmek için taşlama parametrelerinin bilgisayar yardımıyla optimizasyonu", Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (1995).
50. Bayrak, M., "Kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi ve uzman sistemle karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi", *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 1-35 (2002).
51. Binali, R., "Sıcak İş Takım Çeliği (Toolox 44) Nin İşlenebilirliğinin İncelenmesi", Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük (2017).
52. Şahin, Y., "Talaş Kaldırma Prensipleri", *Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi* (1999).

53. Çiftçi, İ., "Talaşlı imalat ders notları", *Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği* (2013).
54. Işık, Y. and Çakır, M. C., "Hız çeliği takımlar için kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkilerinin deneysel olarak incelenmesi", *Teknoloji*, 1-2; 111-118 (2001).
55. Kandemir, K. and Özdemir, A., "Seramik kesici uçlarla tornalamada taşalama kalitesinde yüzey elde edilme şartları", *Teknoloji*, 125 (1999).
56. Çifçi, İ. and Gökçe, H., "Optimisation of cutting tool and cutting parameters in machining of molybdenum alloys through the Taguchi method", *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, (34), 201-213 (2019).
57. Gökçe, H., Çifçi, İ. and Demir, H., "Cutting parameter optimization in shoulder milling of commercially pure molybdenum", *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, (40), 360 (2018).
58. Canel, T., Zeren, M. and Sınmazçelik, T., "Laser parameters optimization of surface treating of Al 6082-T6 with Taguchi method", *Optics and Laser Technology*, 120 (2019).
59. Terzioğlu, H., "Analysis of effect factors on thermoelectric generator using Taguchi method", *Measurement*, (149); 106 (2020).
60. Pinar, A. M. Uluer, O. and Kırmacı, V., "Optimization of counter flow Ranque–Hilsch vortex tube performance using Taguchi method", *International Journal of Refrigeration*, (32); 1487-1494 (2009).
61. Maiyar, L. M., Ramanujam, R., Venkatesan, K. and Jerald, J., "Optimization of machining parameters for end milling of inconel 718 super alloy using taguchi based grey relational analysis", *Procedia Engineering*, (64); 1276-1282 (2013).

ÖZGEÇMİŞ

Can YİĞİT, 1989 yılında İstanbul Üsküdar'da doğdu. İlk, orta, ve lisa öğrenimini İstanbul'da tamamladı. 2011 yılında yılında Karabük Üniversitesi İmalat Mühendisliği Bölümünde öğrenimine başlayıp 2015 yılında mezun oldu. Aynı yıl Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başlamıştır. 3,5 yıldır beyaz eşya sektörüne menteşe üreten bir firmada arge mühendisi olarak çalışmaktadır.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Cumhuriyet Mahallesi Başarı Sokak No: 18/5 Üsküdar/ İstanbul

Tel : 0 535 414 86 08

E-posta : can_yigit@outlook.com.tr