



MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**HAVACILIK VE UZAY SEKTÖRÜNDE
KULLANILAN 7075 – T651 ALÜMİNYUM
ALAŞIMININ İŞLENMESİ İÇİN ÖZEL
İMALAT MATKAP UÇLARININ DENEY
TASARIMI YÖNTEMİ İLE
PERFORMANSININ OPTİMİZASYONU**

YAĞIZ ÖZBEK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı (Tr)

Makine Mühendisliği Programı

DANIŞMAN

Dr.Öğr. Üyesi Senai YALÇINKAYA

İstanbul, 2020



MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**HAVACILIK VE UZAY SEKTÖRÜNDE
KULLANILAN 7075 – T651 ALÜMİNYUM
ALAŞIMININ İŞLENMESİ İÇİN ÖZEL
İMALAT MATKAP UÇLARININ DENEY
TASARIMI YÖNTEMİ İLE
PERFORMANSININ OPTİMİZASYONU**

YAĞIZ ÖZBEK
(523218821)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı (Tr)

Makine Mühendisliği Programı

DANIŞMAN

Dr.Öğr. Üyesi Senai YALÇINKAYA

İstanbul, 2020

Kabul ve Onay Belgesi

MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Öğrencisi Yağız ÖZBEK 'in "HAVACILIK VE UZAY SEKTÖRÜNDE KULLANILAN 7075 – T651 ALÜMİNYUM ALAŞIMININ İŞLENMESİ İÇİN ÖZEL İMALAT MATKAP UÇLARININ DENEY TASARIMI YÖNTEMİ İLE PERFORMANSININ OPTİMİZASYONU" başlıklı tez çalışması, 05 Şubat 2020 tarihinde savunulmuş ve jüri üyeleri tarafından başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Senai YALÇINKAYA (Danışman)

Marmara Üniversitesi(İMZA).....

Dr. Öğr. Üyesi Gürcan ATAKÖK (Üye)

Marmara Üniversitesi(İMZA).....

Dr. Öğr. Üyesi Binnur SAĞBAŞ (Üye)

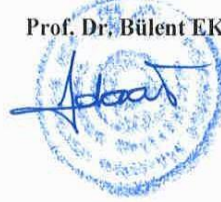
Yıldız Teknik Üniversitesi(İMZA).....

ONAY

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 12.02.2020 tarih 2020/06-07 sayılı kararı ile Yağız ÖZBEK 'in Makine Mühendisliği (Türkçe) Anabilim Dalı Makine Mühendisliği Programında Yüksek Lisans derecesi alması onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Prof. Dr. Bülent EKİCİ



ÖNSÖZ

Bana tezimi tamamlama imkanı sağlayan tüm kişilere en içten teşekkürlerimi sunmak istiyorum.

Lisansüstü tez çalışmam boyunca, bütün bilgi birikimiyle ve tecrübesiyle bana ışık tutup, yön veren ve tez çalışmamın her aşamasında desteğini esirgemeyen, hiç yorulmadan yanımda olan tez danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Senai YALÇINKAYA hocama sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca deneysel çalışmanın gereği olan matkap uçların kaplanması bana destek veren Oerlikon Balzers Kaplama firmasına, deney uygulamasını gerçekleştirmeme yardımcı olan, fırsat tanıyan Bilim Makine ve Bilim ailesine katkıları için teşekkür ederim. Deney çalışması sonuçlarını incelemeye bana destek veren Sayın Doç Dr. Hakan ATABEK hocama şükranlarımı sunarım.

Tez çalışmam süresince her zaman bana bu yolda sabır gösterdikleri, motive ettikleri, zorlukları benimle paylaştıkları ve yanımda oldukları için ÖZBEK ve ATALAY ailelerine derin sevgilerimi ve saygılarımı sunarım.

Ocak 2020

Yağız ÖZBEK

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	i
İÇİNDEKİLER	ii
ÖZET	vi
ABSTRACT	viii
SEMBOLLER	x
KISALTMALAR	xi
ŞEKİL LİSTESİ	xii
TABLO LİSTESİ	xvi
1. GİRİŞ	1
1.1 Tez Çalışması için 2012 - 2019 Yılları Arasında Yapılan Literatür Derlemesi	4
2. DENEYSEL UYGULAMA İÇİN GENEL BİLGİLER	11
2.1 Alüminyum ve Alüminyum 7075 Alaşımı Hakkında Bilgiler	11
2.2 Talaşlı İşlemlerin İmalat Uygulamasındaki Yeri	15
2.2.1 Talaşlı Üretimin Geçmiş ve Gelişim Süreci	17
2.3 Delik Delme	18
2.3.1 Giriş	18
2.3.2 Delik Delme İşleminde Kullanılan Matkap Tezgahları	19
2.3.3 Delik Delme Yöntemi	20
2.4 Delme İşleminin Özellikleri	21
2.4.1 Matkapla Delik Delme	21
2.5 Delik Delmede Kullanılan Kesici Takımlar (Matkap Uçlar)	25
2.5.1 Matkap Uçları	26
2.5.2 Matkap Uç Malzeme Çeşitleri	27
2.6 Spiral Matkaplar	31

2.6.1 Spiral Matkap Uç Biçimi	31
2.6.2 Öz Kalınlığının Talaş Kaldırmaya Etkisi	33
2.6.3 Kesici Ağız Serbest Açının Etkileri	34
2.6.4 Helis Açısının Etkileri	34
2.6.5 Uç Açısının Etkileri.....	35
2.6.6 Matkap Uç Kenar Açısı (Destekleyen Kesici Kenar Açısı)	35
2.7 Kaplama Uygulamaları	35
2.7.1 Kimyasal Buhar Biriktirme Yöntemi (CVD)	36
2.7.2 Fiziksel Buhar Biriktirme Yöntemi (PVD)	37
2.8 Kaplama Çeşitleri	38
2.8.1 DLC Kaplama	38
2.8.2 TiN Kaplama.....	41
2.8.3 TiAlN Kaplama.....	42
2.9 Kesme Sıvısı ve Minimum Miktarda Yağlama.....	44
2.9.1 Kesme Sıvılarının Özellikleri ve Sınıflandırılması.....	44
2.9.2 Minimum Miktarda Yağlama (MMY) Prensibi.....	48
2.10 İşlenebilirlik	49
2.10.1 İşlenebilirliğin Tanımı ve Önemi.....	49
2.10.2 Talaş Oluşum Mekanizması ve Talaş Şekilleri.....	50
2.10.3 Aşınmanın Tanımı ve Türleri	53
2.10.3.1 Aşınma Mekanizması.....	54
2.10.3.2 Kesici Takımda Meydana Gelen Aşınma Tipleri	55
2.10.4 Kesici Takım Ömrü	58
2.10.5 İşleme Sonucu Oluşan Yüzey Pürüzlülüğü	59
2.10.5.1 Yüzey Pürüzlülüğü Ölçme Metotları	59
2.10.5.2 Yüzey Pürüzlülüğüne Etki Eden Unsurlar	60

3. DENEYSEL UYGULAMA VE PARAMETRELER.....	61
3.1 Araştırma Metodu.....	61
3.2 Materyal	61
3.2.1 CNC Dik İşleme Tezgahı	61
3.2.2 Deneyde Kullanılan İş parçası Malzemesi (Al 7075 – T651) Özellikleri	63
3.2.3 Deneyde Kullanılan Kesici Takımlar ve Değişken Parametreler	64
3.2.4 Taguchi Deney Tasarım Yöntemi	67
3.2. 5 Alüminyum 7075 – T651 Alaşımını İşlemek için Hazırlanan Program Kodları	68
3.3 Deneysel Çalışma Verileri	71
3.3.1 Talaş Yapısının İncelenmesi.....	71
3.3.2 Matkap Uç Zorlanmaları ve Çalışma Süreleri	78
3.3.3 Dik Eksen Yönünde CNC Tezgahta Oluşan Zorlanma Grafikleri.....	80
3.3.4 Matkap Uçlarının Ağırlık Ölçümleri.....	81
3.3.5 Matkap Uçlarda Delme Sonucu Oluşan Aşınmalar	82
3.3.5.1 DLC Kaplamalı Matkap Uçların Aşınma Görüntüleri	84
3.3.5.2 HSS – TiN Kaplamalı Matkap Uçların Aşınma Görüntüleri	91
3.3.5.3 KARBÜR - TiAlN Kaplamalı Matkap Uçların Aşınma Görüntüleri	96
3.3.6 Açılmış Olan Delikleri Yüzey Pürüzlülük Değerlerinin İncelenmesi.....	103
3.3.6.1 HSS - TiN Kaplamalı Matkap Uçun Açtığı Deliklerin Yüzey Pürüzlülük Ölçümü.....	105
3.3.6.2 KARBÜR – TiAlN Kaplamalı Matkap Uçun Açtığı Deliklerin Yüzey Pürüzlülük Ölçümü	106
3.3.6.3 DLC Kaplamalı Matkap Uçun Açtığı Deliklerin Yüzey Pürüzlülük Ölçümü.....	107
3.4 Optimizasyon ve Analiz Tekniği.....	108
3.4.1 Optimizasyon Metodunun Uygulanması	108

3.4.2 Regresyon Analiz Yöntemi.....	113
4. SONUÇLAR, TARTIŞMA VE DEĞERLENDİRME	117
5. KAYNAKLAR	121
6. EKLER.....	131
ÖZGEÇMİŞ	



ÖZET

HAVACILIK VE UZAY SEKTÖRÜNDE KULLANILAN 7075 – T651 ALÜMİNYUM ALAŞIMININ İŞLENMESİ İÇİN ÖZEL İMALAT MATKAP UÇLARININ DENEY TASARIMI YÖNTEMİ İLE PERFORMANSININ OPTİMİZASYONU

Havacılık ve uzay alanında çoğunlukla yüksek mukavemet, bükülebilme yeteneği ve hafiflik ihtiyacı gerekliliği, alüminyum 7075 – T651 alaşım malzemesinin talaşlı üretimde dikkate değer bir konuma sahip olmasına neden olmaktadır. Alüminyum alaşımının işlenebilme kabiliyeti, aynı grup içerisinde bulunan titanyum ve magnezyum alaşımlarına kıyasla daha basittir. Delik delme metodu, bu tip malzemenin şekillendirilmesinde tornalama, frezeleme ve taşlama gibi talaşlı üretim yöntemlerine oranla daha çok uygulanmaktadır.

Bu tez çalışması için 30 mm kalınlık, 250 mm genişlik ve 350 mm uzunluk ölçülerine sahip alüminyum 7075-T651 alaşım malzemesi kullanılmıştır. Alaşım malzemesine CNC dik işleme tezgahında kesme parametrelerinden olan devir sayısı ve ilerleme hızının üç farklı değeri kullanılarak delikler açılmıştır. Devir sayısı için değerler; 2000-3000-4000 dev/dak ve ilerleme hızı için değerler; 200-400-500 mm/dak şeklinde belirlenmiştir. Deney için belirlenen bir başka faktör ise matkap uç tipleri olmuştur. Bunlar; TiAlN kaplamalı karbür uç, TiN kaplamalı hss uç ve DLC kaplamalı uçlardır. Her bir matkap uç tipinin üç farklı çapı; Ø10 - Ø12 - Ø14 (mm) ve tek tip uç açısı; 118° vardır. Bu tez çalışmasında alüminyum alaşımına kesme sıvısı kullanarak, belirlenen kesme parametre değerleri ile delme işlemi sonucu oluşan deliklerin yüzey pürüzlülük değerleri, matkap uç aşınmaları ve alüminyum alaşımından kopan talaşlar incelenmiştir.

Her çap değerinde en kötü yüzey pürüzlülük değerleri DLC kaplamalı matkap uçların malzemeyi delmesi sonucu meydana gelmiştir. Bütün matkap uç tipleri işlemi genel olarak kaplama aşınmasıyla tamamlamış olup, uç kırılması gözlenmemiştir. Alaşımın delinmesi sonucu çıkan talaşlar; sürekli, süreksiz, dolaşık bant yapılı, sıkışmış ve helisel yapısı bozulmuş talaş olarak sınıflandırılmıştır. Deney sonuçları, Taguchi yönteminin L9 dizilimi kullanılarak değerlendirilip, tahmin edilen yüzey pürüzlülük değeri, deney sonucunda ortaya çıkan değerle oldukça yakın olmuştur. Deneyde oluşan 27 deliğin

yüzey pürüzlülük değerleri kullanılarak regresyon analizi uygulanmıştır. Regresyon analizi sonucu matkap uç tipi, yüzey pürüzlülüğü üstünde en büyük etkiyi oluşturduğu kaydedilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Alüminyum 7075-T651 Alaşımı, Talaş Oluşumu, Matkap Uçları, Taguchi Yöntemi, L9 dizilimi, Yüzey Pürüzlülüğü, Aşınma



ABSTRACT

OPTIMIZATION OF PERFORMANCE BY EXPERIMENTAL DESIGN METHOD OF SPECIAL MANUFACTURING DRILL BITS FOR PROCESSING 7075 – T651 ALUMINUM ALLOY USED IN AVIATION AND SPACE INDUSTRY

The need for high strength, bending ability and lightness, mostly in the field of aerospace and aviation, makes the aluminum 7075 – T651 alloy material to have a remarkable position in machining. The machinability of aluminum alloy is simpler compared to titanium and magnesium alloys in the same group. The drilling method is more applied to the shaping of this type of material than the machining methods such as turning, milling and grinding.

For this thesis study, aluminum 7075-T651 alloy material with 30 mm thickness, 250 mm width and 350 mm length dimensions were used. The holes were drilled into the alloy material using cutting parameters regarding with three different values of revolutions per minute and rate of feed in the CNC vertical machining machine. The values for revolutions per minute were determined as 2000-3000-4000 rpm and the values for feed rate are determined as 200-400-500 mm/min. Another factor identified for the experiment was the types of drill bits. These are TiALN coated carbide, TiN coated hss and DLC coated drilling bits. Each drill tip type has three different diameters; Ø10 - Ø12 - Ø14 (mm) and uniform tip angle; 118°. In this thesis study, the cutting parameter values determined to aluminum alloy using coolant and the surface roughness values of the holes formed as a result of the drilling process, drill bit wear and chips broken from aluminum alloy were examined.

The worst surface roughness values at each diameter value occurred as a result of DLC coated drill bits during drilling into the material. All drill bit types completed the process by coating wear in general and no breakage was observed. Chips produced by drilling the alloy were classified as continuous, discontinuous, winding strip making, stuck and helical-impaired chips. The results of the experiment were evaluated using the L9 array of the Taguchi method and the estimated surface roughness value was very close to the result of the experiment. Regression analysis was performed using the surface roughness

values of 27 holes in the experiment. As a result of regression analysis, it was noted that drill bit type had the greatest effect on surface roughness.

Key Words: Aluminum 7075-T651 Alloy, Chip Forming, Drill Bits, Taguchi Method, L9 Array, Surface Roughness, Wear



SEMBOLLER

a_p : Kesme Derinliği (mm)

D : Matkap Uç Çapı (mm)

f : İlerleme Oranı (mm/dev)

F_c : Toplam Teğetsel Kuvvet (N)

F_p : İlerleme Kuvveti (N)

$$k_c : \text{Özgöl Kesme Kuvveti (N/mm}^2\text{)}$$

M : Tork (Nm)

n : Devir Sayısı (dev/damk)

P_c : Güç (kW)

Ra : Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü (µm)

Rz : Yüzey Pürüzlülük Kesitinin En Yüksek ve En Düşük Noktaları Arasındaki Dikey Mesafe

Rq : Geometrik Ortalama Pürüzlülük Değeri

T651 : Çözeltiyeye Alma İşlemi, Kontrollü Bir Miktarı Gerilme – Gidermeye Tabi Tutma ve Suni Olarak Yaşlandırılma

T6 : Çözeltiyeye Alma İşlemi ve Suni Olarak Yaşlandırma

V_c : Kesme Hızı (m/dak)

$$V_f : \text{İlerleme Hızı (mm/dak)}$$

Z : Takım Ömrü (dak)

μ : Sürtünme Katsayısı

 $\eta : \text{Verim}$

KISALTMALAR

Al₂O₃ : Alüminyum Oksit

BUE : Built - Up Edge

CNC : Bilgisayar Destekli Sayısal Kontrol

CrN : Krom Nitrür

CVD : Kimyasal Buhar Biriktirme

DLC : Diamond Like Carbon

HK : Knoop Sertlik Birimi

HRC : Rockwell Sertlik Birimi

HSS : Yüksek Hız Çelikleri (Seri Çelik)

MMY : Minimum Miktarda Yağlama

MRR : Birim zamanda kaldırılan hacim

NC : Sayısal Kontrol

PVD : Fiziksel Buhar Biriktirme

TiAlN : Titanyum Alüminyum Nitrür

TiC : Titanyum Karbür

TiCN : Titanyum Karbonitrür

TiN : Titanyum Nitrür

WC : Tungsten Karbür

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2. 1 - 7075 Alüminyum Alaşımının Kullanıldığı Uçağın Yapı Elemanlarından Olan Kiriş ve Yapı İskeleti	14
Şekil 2. 2 - Üretim Yöntemlerinin Sınıflandırılması	16
Şekil 2. 3 - (a) Raybalama, (b) Kılavuz Çekme, (c) Silindirik Havşa Açma, (d) Konik Havşa Açma, (e) Merkezleme, (d) Alın Frezeleme	22
Şekil 2. 4 - Delik Delme Takımları için Kesme Hızı Değişimi	23
Şekil 2. 5 - Kesme Hızı (V_c), İlerleme Hızı (V_f), Devir Sayısı (n) ve Devir Başına İlerleme (f_n)	24
Şekil 2. 6- Talaş Derinliği	24
Şekil 2. 7- a) Açık Delik, b) Kör Delik	25
Şekil 2. 8 - a) Mandren, b) Mors Kovanları	27
Şekil 2. 9 - Taşlanmış $\varnothing 10 - \varnothing 12 - \varnothing 14$ mm Çaplarındaki HSS Matkap Uçlar	28
Şekil 2. 10 - Kesme Açısı Formuna Göre Matkap Uç Biçimleri	31
Şekil 2. 11 - Helisel Matkap Uç Geometrisi – Konik Saplı [1]	31
Şekil 2. 12 - Helisel Matkap Uç Geometrisi – Silindirik Saplı [1]	32
Şekil 2. 13 - Matkap Öz Kalınlığının Üst ve Yan Görünüşü	34
Şekil 2. 14 - DLC, Elmas ve Grafitin Kristal Yapıları	39
Şekil 2. 15 - Deneyde Kullanılan Farklı Çaplara Sahip DLC Kaplamalı Matkap Uçlar	40
Şekil 2. 16 - Balinit Triton Kaplama Özellikleri [60]	41
Şekil 2. 17 - Deneyde Kullanılan Farklı Çaplara Sahip TiN Kaplamalı HSS Matkap Uçlar	42
Şekil 2. 18 - Deneyde Kullanılan Farklı Çaplara Sahip TiAlN Kaplamalı Karbür Matkap Uçlar	43
Şekil 2. 19 - Deneyde Kullanılan Kesme Sıvısı Uygulaması	48
Şekil 2. 20 - MMY ‘nin Dıştan ve İçten Püskürtülmesinin Görseli	49
Şekil 2. 21 - Takım (Matkap Uç) Kesici Ağzı - a) Birinci Deformasyon Bölgesi, ...	51
Şekil 2. 22 - a) Sürekli talaş, b) Süreksiz Talaş, c) Dilimli talaş, d) Yığıntılı Talaş	53
Şekil 2. 23 - a) Ana Kenarda Meydana Gelen Serbest Yüzey Aşınması, b) Dairesel Kısımda Meydana Gelen Serbest Yüzey Aşınması	56
Şekil 2. 24 - Matkap Uçta Bölgelere Bağlı Oluşan Aşınma Tipleri [77]	57
Şekil 2. 25 - Takım Aşınmasının Türleri [78]	57
Şekil 3. 1 - Starway VMC – 1060 model CNC Dik İşleme Tezgahı	62
Şekil 3. 2 - Alüminyum 7075 Alaşımının Boyutları	63
Şekil 3. 3 - Deney Çalışması için Temin Edilen 7075 Alüminyum Alaşım Ölçüleri	64

Şekil 3. 4 - Deney Çalışmasında 7075 Alüminyum Alaşımın Tezgaha Bağlanmış Hali	64
Şekil 3. 5 - Malzemeye ve Konuma Göre Çap Atama.....	69
Şekil 3. 6 - Program Ara Yüz Görüntüsü	69
Şekil 3. 7 - Mandren Kullanarak Takımın Tezgaha Sabitlenmesi	70
Şekil 3. 8 - Deliklerin Yatay ve Dikeyde Verilen Mesafeleri	70
Şekil 3. 9 - Deney Çalışması Sonucu Elde Edilen Alüminyum Alaşımın Katı Çizimi.....	71
Şekil 3. 10 - Deney Uygulaması Sonucu Elde Edilen Alüminyum Alaşımın Gerçek Hali.....	71
Şekil 3. 11 - $\varnothing$ 10 mm Çapındaki Matkap Uç için Farklı İlerleme Hızlarında ‘z’ Yönünde Oluşan % ‘lik Zorlanma Grafiği.....	80
Şekil 3. 12 - $\varnothing$ 12 mm Çapındaki Matkap Uç için Farklı İlerleme Hızlarında ‘z’ Yönünde Oluşan % ‘lik Zorlanma Grafiği.....	80
Şekil 3. 13 - $\varnothing$ 14 mm Çapındaki Matkap Uç için Farklı İlerleme Hızlarında ‘z’ Yönünde Oluşan % ‘lik Zorlanma Grafiği.....	81
Şekil 3. 14 - Bilgisayar Destekli Mikroskopta İncelenen Aşınma Görüntüsü.....	83
Şekil 3. 15 - Karbür – TiAlN Kaplamalı Matkap Ucuun Olympus SC30 Mikroskobu Altında Aşınma Yapısının İncelenmesi	83
Şekil 3. 16 - $\varnothing$ 10 mm DLC Kaplamalı Uç	84
Şekil 3. 17 - Çap 10 mm olan DLC Kaplamalı Ucuun Aşınma Görüntüsü - 1	84
Şekil 3. 18 - Çap 10 mm olan DLC Kaplamalı Ucuun Aşınma Görüntüsü - 2	85
Şekil 3. 19 - Çap 10 mm olan DLC Kaplamalı Ucuun Aşınma Görüntüsü - 3	85
Şekil 3. 20 - Çap 10 mm olan DLC Kaplamalı Ucuun Aşınma Görüntüsü - 4	86
Şekil 3. 21 - $\varnothing$ 12 mm DLC Kaplamalı Uç	86
Şekil 3. 22 - Çap 12 mm olan DLC Kaplamalı Ucuun Aşınma Görüntüsü - 1	87
Şekil 3. 23 - Çap 12 mm olan DLC Kaplamalı Ucuun Aşınma Görüntüsü – 2.....	87
Şekil 3. 24 - Çap 12 mm olan DLC Kaplamalı Ucuun Aşınma Görüntüsü – 3.....	88
Şekil 3. 25 - Çap 12 mm olan DLC Kaplamalı Ucuun Aşınma Görüntüsü – 4.....	88
Şekil 3. 26 - $\varnothing$ 14 mm DLC Kaplamalı Uç	89
Şekil 3. 27 - Çap 14 mm olan DLC Kaplamalı Ucuun Aşınma Görüntüsü - 1	89
Şekil 3. 28 - Çap 14 mm olan DLC Kaplamalı Ucuun Aşınma Görüntüsü - 2	89
Şekil 3. 29 - Çap 14 mm olan DLC Kaplamalı Ucuun Aşınma Görüntüsü – 3.....	90
Şekil 3. 30 - Çap 14 mm olan DLC Kaplamalı Ucuun Aşınma Görüntüsü – 4.....	90
Şekil 3. 31 - $\varnothing$ 10 mm HSS - TiN Kaplamalı Uç	91
Şekil 3. 32 - Çap 10 mm olan HSS - TiN Kaplamalı Ucuun Aşınma Görüntüsü – 1.....	91
Şekil 3. 33 - Çap 10 mm olan HSS - TiN Kaplamalı Ucuun Aşınma Görüntüsü – 2.....	91
Şekil 3. 34 - Çap 10 mm olan HSS - TiN Kaplamalı Ucuun Aşınma Görüntüsü – 3.....	92

Şekil 3. 35 - Çap 10 mm olan HSS - TiN Kaplamalı Ucun Aşınma Görüntüsü – 4.....	92
Şekil 3. 36 - Ø 12 mm HSS - TiN Kaplamalı Uç	93
Şekil 3. 37 - Çap 12 mm olan HSS - TiN Kaplamalı Ucun Aşınma Görüntüsü – 1.....	93
Şekil 3. 38 - Çap 12 mm olan HSS - TiN Kaplamalı Ucun Aşınma Görüntüsü – 2.....	93
Şekil 3. 39 - Çap 12 mm olan HSS - TiN Kaplamalı Ucun Aşınma Görüntüsü – 3.....	94
Şekil 3. 40 - Çap 12 mm olan HSS - TiN Kaplamalı Ucun Aşınma Görüntüsü – 4.....	94
Şekil 3. 41 - Ø 14 mm HSS - TiN Kaplamalı Uç	95
Şekil 3. 42 - Çap 14 mm olan HSS - TiN Kaplamalı Ucun Aşınma Görüntüsü – 1.....	95
Şekil 3. 43 - Çap 14 mm olan HSS - TiN Kaplamalı Ucun Aşınma Görüntüsü – 2.....	95
Şekil 3. 44 - Çap 14 mm olan HSS - TiN Kaplamalı Ucun Aşınma Görüntüsü – 3.....	96
Şekil 3. 45 - Ø 10 mm KARBÜR - TiAlN Kaplamalı Uç.....	96
Şekil 3. 46 - Çap 10 mm olan KARBÜR - TiAlN Kaplamalı Ucun Aşınma Görüntüsü-1.....	97
Şekil 3. 47 - Çap 10 mm olan KARBÜR - TiAlN Kaplamalı Ucun Aşınma Görüntüsü-2.....	97
Şekil 3. 48 - Çap 10 mm olan KARBÜR - TiAlN Kaplamalı Ucun Aşınma Görüntüsü-3.....	98
Şekil 3. 49 - Çap 10 mm olan KARBÜR - TiAlN Kaplamalı Ucun Aşınma Görüntüsü-4.....	98
Şekil 3. 50 - Ø 12 mm KARBÜR - TiAlN Kaplamalı Uç.....	99
Şekil 3. 51 - Çap 12 mm olan KARBÜR - TiAlN Kaplamalı Ucun Aşınma Görüntüsü-1.....	99
Şekil 3. 52 - Çap 12 mm olan KARBÜR - TiAlN Kaplamalı Ucun Aşınma Görüntüsü-2.....	99
Şekil 3. 53 - Çap 12 mm olan KARBÜR - TiAlN Kaplamalı Ucun Aşınma Görüntüsü-3.....	100
Şekil 3. 54 - Çap 12 mm olan KARBÜR - TiAlN Kaplamalı Ucun Aşınma Görüntüsü-4.....	100
Şekil 3. 55 - Ø 14 mm KARBÜR - TiAlN Kaplamalı Uç.....	101
Şekil 3. 56 - Çap 14 mm olan KARBÜR - TiAlN Kaplamalı Ucun Aşınma Görüntüsü-1.....	101
Şekil 3. 57 - Çap 14 mm olan KARBÜR - TiAlN Kaplamalı Ucun Aşınma Görüntüsü-2.....	101
Şekil 3. 58 - Çap 14 mm olan KARBÜR - TiAlN Kaplamalı Ucun Aşınma Görüntüsü-3.....	102
Şekil 3. 59 - Çap 14 mm olan KARBÜR - TiAlN Kaplamalı Ucun Aşınma Görüntüsü-4.....	102
Şekil 3. 60 - Bir Delik Kesitinde Yüzey Pürüzlülük Ölçümü için Referans Alınan Bölümler .	103
Şekil 3. 61 - Mahr Perthometer M2 Model Cihaz	104
Şekil 3. 62 - Alüminyum 7075 – T651 Alaşımında Oluşan Deliklerin Yüzey Pürüz Ölçer Aleti Kullanarak Ölçülmesi	104
Şekil 3. 63 - HSS - TiN Kaplamalı Ucun Açtığı Deliklerin Yüzey Pürüzlülük Grafiği	105
Şekil 3. 64 - Karbür - TiAlN Kaplamalı Ucun Açtığı Deliklerin Yüzey Pürüzlülük Grafiği....	106
Şekil 3. 65 - DLC Kaplamalı Matkap Ucun Açtığı Deliklerin Yüzey Pürüzlülük Grafiği	107
Şekil 3. 66 - Means (Araçlar) için Ortaya Çıkan En Uygun Değerler	110
Şekil 3. 67 - SN Oranına Göre Ortaya Çıkan En Uygun Değerler	111
Şekil 3. 68 - Histogram Dağılımına Göre Sıklık Derecesi	113

Şekil 3. 69 - Normal Olasılık Grafiği.....	113
Şekil 3. 70 - 27 Delik Kullanılarak Oluşturulmuş Normal Olasılık Grafiği.....	115
Şekil 3. 71 – Histogram Dağılımında Oluşan Sıklık Derecesi	115
Şekil 3. 72 - Matkap Uçların Tipe ve Çapa Göre Ayrı Olarak Muhafaza Edilmesi	132
Şekil 3. 73 - Delme Sonucu Alüminyum Alaşımından Kopan Talaşların Toplanması	133
Şekil 3. 74 - Talaşların Kesme Parametre Değerlerine Göre Ayrılıp, Paketlenmesi	133
Şekil 3. 75 – CNC Dik İşleme Tezgahın Kontrol Ünitesinde Kaydedilen İşlem Süresinin Takibi	134
Şekil 3. 76 - Cihaz ile Yüzey Pürüzlülük Ölçümü.....	135



TABLO LİSTESİ

Tablo 2. 1 - Alüminyumun Fiziksel Özellikleri	11
Tablo 2. 2 - 7075 Alüminyum Alaşımının Isıl İşleme Göre Mekanik Özellikleri	13
Tablo 2. 3 - Alüminyum 7075 – T651 Alaşımının Kimyasal Bileşim ve Oranları	14
Tablo 2. 4 - Çeşitli Kesici Takım Malzemelerinin Sertlik ve Kopma Dayanım Değerleri.....	26
Tablo 2. 5 - Yüksek Hız Çeliğinde Bulunan Alaşım Elementlerinin Görevleri ve Oranları	29
Tablo 2. 6 - Bazı Kaplama Türlerinin Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri	43
Tablo 2. 7 - Malzemeye Göre Kesme Sıvısı Seçimi	47
Tablo 3. 1 - CNC Dik İşleme Tezgahının Teknik Özellikleri.....	62
Tablo 3. 2 - Deneyde Kullanılan Matkap Uçlarının Özellikleri.....	65
Tablo 3. 3 - Değişken Parametreler.....	66
Tablo 3. 4 - Devir Sayısına Göre Kesme Hızları	66
Tablo 3. 5 – Taguchi Optimizasyonunda Seçilen L9 Dizilimi.....	67
Tablo 3. 6 – Taguchi L9 Deney Tasarım Tablosu.....	67
Tablo 3. 7 – L9 Dizilimi için Belirlenen Deney Çalışmasının Parametreleri	67
Tablo 3. 8 - Delmesi Sonucu Elde Edilen Talaş Şekillerin Sınıflandırılması [89].....	72
Tablo 3. 9 - 10 mm Çap Değerine Sahip Matkap Uçların Devir Hızı 2000 dev/dak ve İlerleme Hızı 200 mm/dak’ da Delme Sonucu Meydana Getirdiği Talaş Biçimleri	73
Tablo 3. 10 - 10 mm Çap Değerine Sahip Matkap Uçların Devir Hızı 3000 dev/dak ve İlerleme Hızı 400 mm/dak’ da Delme Sonucu Meydana Getirdiği Talaş Biçimleri	73
Tablo 3. 11 - 10 mm Çap Değerine Sahip Matkap Uçların Devir Hızı 4000 dev/dak ve İlerleme Hızı 500 mm/dak’ da Delme Sonucu Meydana Getirdiği Talaş Biçimleri	74
Tablo 3. 12 - 12 mm Çap Değerine Sahip Matkap Uçların Devir Hızı 2000 dev/dak ve İlerleme Hızı 200 mm/dak’ da Delme Sonucu Meydana Getirdiği Talaş Biçimleri	75
Tablo 3. 13 - 12 mm Çap Değerine Sahip Matkap Uçların Devir Hızı 3000 dev/dak ve İlerleme Hızı 400 mm/dak’ da Delme Sonucu Meydana Getirdiği Talaş Biçimleri	75
Tablo 3. 14 - 12 mm Çap Değerine Sahip Matkap Uçların Devir Hızı 4000 dev/dak ve İlerleme Hızı 500 mm/dak’ da Delme Sonucu Meydana Getirdiği Talaş Biçimleri	76
Tablo 3. 15 - 14 mm Çap Değerine Sahip Matkap Uçların Devir Hızı 2000 dev/dak ve İlerleme Hızı 200 mm/dak’ da Delme Sonucu Meydana Getirdiği Talaş Biçimleri	77
Tablo 3. 16 - 14 mm Çap Değerine Sahip Matkap Uçların Devir Hızı 3000 dev/dak ve İlerleme Hızı 400 mm/dak’ da Delme Sonucu Meydana Getirdiği Talaş Biçimleri	77
Tablo 3. 17 - 14 mm Çap Değerine Sahip Matkap Uçların Devir Hızı 4000 dev/dak ve İlerleme Hızı 500 mm/dak’ da Delme Sonucu Meydana Getirdiği Talaş Biçimleri	78
Tablo 3. 18 - %’ lik Zorlanma (‘z’) ve Matkap Uçlarının İşleme Süreleri	79

Tablo 3. 19 - Matkap Uçların Ağırlıklarında Oluşan Yüzdelik Fark	82
Tablo 3. 20 - Olympus SC30 / BX41M – Led Mikroskobu Teknik Özellikleri	83
Tablo 3. 21 - HSS – TiN Kaplamalı Ucun Oluşturduğu Yüzey Pürüzlülük Değerleri.....	105
Tablo 3. 22 - Karbür - TiAlN Kaplamalı Ucun Oluşturduğu Yüzey Pürüzlülük Değerleri.....	106
Tablo 3. 23 - DLC Kaplamalı Ucun Oluşturduğu Yüzey Pürüzlülük Değerleri	107
Tablo 3. 24 - L9 Dizilimine Uygun Belirlenen Parametre ve Yüzey Pürüzlülük Değerleri	109
Tablo 3. 25 – Dizilime Göre Oluşan Varyans Analizi	109
Tablo 3. 26 - Yüzey Pürüzlülüğü için Ortaya Çıkan En Uygun Şartlar	111
Tablo 3. 27 - SN Oranına Göre Meydana Gelen Değerler	112
Tablo 3. 28 - Tahmin Değeri	112
Tablo 3. 29 – Değişkenlere Göre Regresyonda Varyans Analizi.....	114



1. GİRİŞ

Birçok alanda kullanıma uygunluk sağlayan alüminyum 7075 – T651 alaşımının diğer alüminyum alaşımlarına göre yüksek sertlikte olmasına karşın talaşlı üretimin temel yöntemlerinden olan delik delme işlemi esnasında takım aşınmaları kritik seviyelerde olmadığı görülmektedir [1]. Alüminyum 7075 – T651 alaşımının farklı takımlar kullanılarak işlenmesi sonucunda malzemede değişik değerlere sahip yüzey pürüzlülük nicelikleri ortaya çıkmaktadır [2].

Havacılık sektöründe, farklı işleme metotları için alüminyum alaşımlardan olan 7000 serisi malzemeler tercih edilmektedir. Alüminyum 7075 - T651 alaşımı, havacılık endüstrisinde yapısal parça olarak kullanılır ve yaşlanma ile sertleştirilir yeteneğinden dolayı 7000 serisinden türetilmiştir [3]. Bunun dışında makul sertlik, orta tokluk, termal işlem uygulanabilir olması, yüksek gerilme mukavemeti ve yüksek korozyon direnci gibi birçok alanda kullanıma yatkın özellikler sunmaktadır [4]. Alüminyum ve çeşitli elementler katılarak oluşturulmuş alaşımları, kendisi dışındaki malzemelere kıyasla yoğunluğu düşük, yeterli düzeyde elektrik ve ısı iletimi gibi çeşitli özelliklere sahip olması, bu alaşımların uçak sektörü için yaygın kullanım alanı bulmasını sağlamaktadır. Alüminyum alaşımları hafif metaller ve işlenebilme kabiliyeti daha basit malzeme grubu olarak vasıflandırılmaktadır [5]. Uçak sanayinde, yüksek mukavemet özelliklerine sahip demir dışı alaşımların tercih edilmesi ve hafif metaller sınıfında yer bulmaları sayesinde uçaklarda yapısal gövde, kanat ve kuyruk elemanları oluşumunda kullanılması kütleli kazanım, menzilde ve uçak hızında artış, yakıt tüketiminde azalmayı beraberinde getirmektedir. Demir bileşeni içermeyen metallerin demir esaslı metallere göre bazı olumsuzluklarıysa; maliyette artış, dayanımda düşüş, yüksek genleşme katsayısı, düşük ergime derecesi, daha düşük elastisite modülü gibi mekanik ve mekanik olmayan nitelikler sıralanmaktadır. Uçak bileşenlerin üretiminde hem dayanımı yüksek hem de ağırlığı düşük olan verimli malzemelerin kullanılması önem taşımaktadır. Bu tip malzemeden imal edilmiş parçaların çalışma esnasında ortaya çıkan çeşitli yükler sonucu malzemede yorulma, çalıştığı ortam koşullarına göre korozyon etkisi, güç sistemlerinde meydana gelen anlık sıcaklık farkları sonucu termal şok ile karşılaşmaktadır. Meydana gelen yorulma çatlakları ve bu çatlakların derinleşmesi uçak tasarımında en önemli parametrelerden biri olmuştur. Bu oluşan çatlakların ilerlemesi sonucunda ani ve çoklu

kopmalar, kırılmalar meydana gelebilir. Bundan dolayı kullanım alanına göre alüminyum alaşımına sahip malzemeler matkap uçlarıyla delinmesi gerekebilir. Bir uçak gövdesi imalatına bakıldığında birleştirme kısımlarında birçok perçin, cıvata ve pim yuvalarının olduğu görülebilir. Talaş kaldırma yöntemiyle metallerin işlenmesi, esas olan imalat metodu olup makine ve parçalarının üretiminde sıklıkla kullanılan bir tekniktir [6]. Metallerin belli formlara dönüşmesi için yapılan kesme işlemi, üretim kolu için oldukça önem taşımasının nedeni, hemen hemen endüstriyel ürünlerin birçoğu üretim sürecinde metal kesme işlemlerine direkt veya dolaylı olarak maruz kalmaktadır. Tornalama, frezeleme ve delme, talaşlı imalatın ana işleme usullerini oluşturmaktadır. Diğer talaş kaldırma işlemleri; planyalama, raybalama, broşlama, taşlama, vargelde işleme ve testere ile delme şeklinde belirtilebilir. Bununla birlikte delme (% 30), tornalama (% 20) ve frezeleme (% 16) talaşlı imalatın önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Talaş kaldırma usulü, çeşitli tezgâhlara tespit edilen kesici takımların iş parçası yüzeyinden ayrılan malzemenin talaş şeklinde atılması yöntemidir [7]. Lakin delme süresince matkap takımı malzemenin yüzeyinde içyapısına doğru dikey hareket yaparak ilerlemesi ve talaş kaldırma usulünün kapalı bir bölgede oluşmasından dolayı açığa çıkan ısı, delik içindeki kesme bölgesinde odaklanmaktadır. Malzemedan parça koparmak için yeterli olan mekanik enerjinin büyük bir kısmı ısı enerjisine dönüşmekte ve ara bölgede sıcaklık artışı oluşturmaktadır. Sıcaklıktaki bu yükseliş, kesici takım ve iş parçasının her ikisinde de ısıl bozukluklara neden olup takım aşınmasını ilerletmekte ve delikte boyutsal ölçü özür payı kusurlarını oluşturmaktadır [8]. Kuru koşullarda oluşan iyi olmayan mamul kalitesi ve takım ömründe azalmadan dolayı kesme sıvılarının kullanılması talep edilmiştir. Yakın zamanda üzerinde durulan çevre dostu kavramı, imalat değerini en aza indirmek, kesici takım deformasyonunu ve çalışanlar arasında oluşabilecek hastalık riskini denetlemek için birçok üretim biriminde tercih edilerek, ciddi bir öge konumunu almıştır [9], [10]. Çevre ve doğal kaynaklar üzerindeki olumsuz etkileri ile çalışan ve tüketicilerin emniyetini artırmak için uygulanan yöntemler, işlenmiş ürünlerin geliştirilmesinde çevreye hassas tutumlara göndermede bulunur. Kuru yöntem ile işleme, minimum miktar yağlama (MQL) ve kriyojenik işlemeyi de içeren birçok eş tutum veya plandan oluşmaktadır [11], [12], [13]. Metal kesme yöntemlerinin maliyet performans hassaslığı, eksiksiz yüzey kaplaması ve en aza indirgenmiş takım aşınmasına önemli oranda bağlıdır ve bu amaçla geleneksel olarak işleme süreçlerinde kesme sıvısının

kullanımında artış ortaya çıkmıştır [14]. Alışagelmiş metal işleme düzeneklerinde kullanılan kesme sıvıları, fiziksel ve kimyasal hususiyetlerinden ötürü işlem esnasında yüksek sıcaklığın neden olduğu ısı zararlarından başka, kesme kuvvetlerini de azaltmaktadır. Kesme sıvılarından istifade etmek kesme bölgesinde yoğunlaşan ısıyı azaltılmasına, takım – işlenen malzeme ve takım – talaş yüzeyleri arasındaki sürtünmenin azaltılmasına, kesme bölgesinde var olan talaşların bölgeden atılmasına, ürün niteliğinin artırılmasına ve oluşan kesme kuvvetlerinin azaltılmasına olanak sunmaktadır. Metal işleme faaliyetlerinde bazı unsurlar son işlem yüzey pürüzlülüğünü etkilemektedir. Kesme hızı, kesme derinliği, ilerleme hızı ve soğutma-yağlama sıvısı gibi parametreler kontrol edilebilir etkenler olurken, titreşim, takımda görülen aşınma mekanizması ve malzeme kusurları gibi değişkenlerse kontrol edilemeyen etkenlerdir. İşleme sonrası oluşan yüzey kalitesi, üretim maliyetlerini ve mamulün teknolojik niteliğini önemli oranda etkileyen önemli etkenlerden biridir.

Delme işleminde elde edilecek verim artışı, (işlem koşullarının en uygun şekle getirme ve matkap uçlarının kullanım ömrünün iyileştirilmesi) maliyetleri düşüreceği gibi işlenen ürün niteliğini de belirgin ölçüde yardımcı olacaktır [15]. Makine parçaların yüzey kalitesini belirlemede, rijitlik, yorulma dayanımı ve yüzey aşınma mekanizması açısından mühim olan Ra, Rz ve Rq yüzey pürüzlülüğü değişkenleri kullanılmaktadır. Ra: ortalama yüzey pürüzlülüğü, Rz: 5 tane en yüksek ve 5 tane en alçak noktanın ortalaması veya yüzey pürüzlülük kesitinin en yüksek ve en düşük noktaları arasındaki dikey mesafedir. Rq: geometrik ortalama pürüzlülük değeri vermektedir [16, 17]. Oluşan yüzey pürüzlülüğünü etkileyen parametrelerin optimizasyonunda çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Taguchi deneysel tasarım metodu işlem koşullarını iyileştirme yönünden hayli başarılı bir yöntem olarak ortaya çıkmıştır. Taguchi metodu, en iyi çıktıları mümkün olan en az sayıda deney ile elde etmek için istatistiki olarak tasarlanmış ortogonal dizinleri kullanmaktadır. Taguchi yöntemi yapılacak olan deney sayısını azaltarak, vakit ve maliyet yönünden kazanç elde edilmesine olanak verir. Takım malzemesi ve uygulanan kaplama tipleri, kesme koşulları gibi en uygun proses parametrelerini elde etmek, verimin ve niteliğin artmasını sağlamak için uygulanan bu optimizasyon yöntemi üretim sektöründeki farklı uygulamalara adapte edilebilir [18].

1.1 Tez Çalışması için 2012 - 2019 Yılları Arasında Yapılan Literatür Derlemesi

Çakır ve arkadaşları, 7075 ve 6013 alüminyum malzemelere delik delme operasyonu süresince delme parametrelerini incelemiştir. Çalışmada, kesici takım ve delme parametrelerinin delik delme performansında birinci derecede etkilediği görülmüş, ilerleme oranlarındaki artışın kesme kuvvetleri ve momentlerde daha fazla artışa sebep olduğu sonucuna varılmıştır [19].

Şirin ve arkadaşları, AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin frezelenmesinde oluşan yüzey pürüzlülüğü Taguchi yöntemiyle optimize etmiş yüzey pürüzlülüğüne etki eden en önemli parametrelerin sırasıyla kesme hızı ve ilerleme olduğunu tespit etmiştir [20].

Çaydaş ve arkadaşları, 7075-T6 alüminyum alaşımının delinmesi işleminde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne, takım sıcaklığı ve ilerleme kuvvetine olan etkisini incelemek için, karbür uçlu takımlar kullanarak sabit devir sayısı, dört farklı matkap uç açısı ve dört farklı ilerleme miktarı ile kuru işleme altında deneyi gerçekleştirmiştir. İlerleme hızının ve matkap uç açısının artmasıyla, tüm deneylerde eksenel ilerleme kuvveti de artmış olduğunu ve numunelerin ortalama yüzey pürüzlülük değerleri, ilerleme miktarı ve matkap uç açısıyla arttığının sonucuna varmıştır [21].

Pul, 7075, 6061 ve 2024 alüminyum alaşımlarının tornalanmasında; sabit talaş derinliği, dört değişik kesme hızı ve üç değişik ilerleme değerleri seçerek deneyi tamamlamıştır. İlerleme miktarındaki küçük artışlara karşılık yüzey pürüzlülük değerlerinde büyük artışlar meydana gelmiştir. Kesici takımlarda dikkate değer aşınma mekanizmaları oluşmadığının sonucuna varmıştır [22].

Ulaş, 6061 alüminyum alaşımının tornalanmasında; iki farklı kesici takım uç yarıçapı, üç farklı kesme hızı (200, 260 ve 320 m/dak), üç farklı ilerleme miktarı (0,1-0,15 ve 0,2 mm/dev) ve üç farklı talaş derinliği (1-1,5 ve 2 mm) seçip, deneyi tamamlamıştır. İşleme deneyleri Taguchi L18 (21 x 33) dizinine göre tasarlanmış olup elde edilen analiz sonuçlarına göre yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkin parametrenin ilerleme miktarı olduğunu belirlemiştir [23].

Çakır ve arkadaşları, 7075 ve 2024 alüminyum alaşımlarının delinmesi işleminde, dört farklı kesme hızı (100, 125, 150, 175 m/dak), dört farklı ilerleme (0,10-0,15-0,20-0,25

mm/dev) ve iki farklı soğutma (geleneksel soğutma ve basınçlı hava ile soğutma) şartlarında gerçekleştirmiştir. Çalışma sonucunda, soğutma sıvısının (geleneksel soğutmada) takımındaki yükleri azaltmada çok önemli bir etkiye sahip olduğu belirtilmiştir. Ayrıca artan ilerleme oranları ve ilerleme hızlarının, delme işlemlerinde büyük öneme sahip olan ilerleme kuvvetlerini artırırken, artan kesme hızının ise ilerleme kuvvetlerini düşürdüğü görülmüştür [24].

Erkan ve arkadaşları, kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelemek için dört farklı kesme hızı (20, 30, 40 ve 50 m/dak), dört farklı ilerleme (0,06-0,1-0,14 ve 0,2 mm/dev) ve iki farklı matkap uç açısı (118° ve 135°) kullanarak 7075 alüminyum malzemeye delme deneyi yapmıştır. Taguchi analiz sonucuna göre optimize edilen değerler; kesme hızının birinci seviyesi olan 20 m/dak, ilerleme hızının birinci seviyesi olan 0,06 mm/dev ve uç açısının birinci seviyesi olan 118° değerlerinde yüzey pürüzlülüğünün en iyi sonucu verdiğini tespit etmiştir [25].

Kahraman ve arkadaşları, 5754 alüminyum alaşımının ıslak delme işleminde delme parametrelerinin, yüzey kalitesi üzerine etkisi deneysel olarak araştırmıştır. 120 m/dak kesme hızı, 0,10 mm/dev ilerleme ve 0,75 mm kesme derinliğinde gerçekleştirilen deney sonucunda, en etkili faktörlerin ilerleme (% 71,32) ve kesme hızı (% 22,20) olduğu göstermişlerdir [26].

Etyemez, 7075 alüminyum alaşımını, Diamond Like Carbon (DLC) kaplamalı kesici takımlarla freze tezgahında işleyerek yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri deneysel olarak incelemiştir. İlerleme, devir ve talaş derinliğinin yüzey pürüzlülüğüne ve kesme kuvvetlerine etkisi araştırmış ve deney tasarımı Taguchi metodu kullanmıştır. Yüzeydeki pürüzlülüğün oluşumunda en etkili faktör % 92,46 ile ilerleme miktarı olduğu sonucuna varmıştır [27].

Uğur, 7075 alüminyum malzemesinin frezelenmesinde; kuru işleme şartlarında, farklı kesme hızı ve ilerleme miktarlarında deneyler yapmış olup, yüzey pürüzlülüğünü etkileyen kesme parametreleri iyileştirilmesine yönelik çalışmıştır. Çalışmadan elde ettiği bulgulara göre ilerleme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerinde en büyük etkiye sahip olan parametre olduğu tespit etmiştir [28].

Yaşar ve arkadaşları, 7075 alüminyum alaşımını, kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelemek için üç farklı kesme hızı (40, 80, 120 m/dak), üç farklı uç açısı (120°, 130°, 140°) ve üç farklı ilerleme (0,05-0,1 ve 0,15 mm/dev) ile delme deneyini yapmıştır. İlerleme miktarını yüzey pürüzlülüğünde en etkili olduğu sonucuna varmıştır. Taguchi metodu ile optimizasyonun geçerliliği, en iyi yüzey pürüzlülük değeri, uç açısı 130° , kesme hızı 40 m/dak ve ilerleme 0,1 mm/dev değerlerinde doğrulanmıştır [29].

Ghasemi ve arkadaşları, 7075 alüminyum alaşımını, kesme hızı 25 m/dak ve ilerleme miktarı 50 mm/dak belirleyerek delme işlemini tamamlamıştır. Delme işleminden önce ön delik kullanılması, bağlantı kuvvetinin azalmasına, yüzey kalitesinin ve silindirikte bir iyileşmeye yol açmıştır. Sürekli olmayan delme işleminde, ortalama itme kuvveti ve silindirik form oluşum oranını azaltmaktadır. Deneylerde kullanılan HSS-TiN, HSS- Co ve HSS- Mo yüksek hız çeliklerinden HSS-Mo' nin, maksimum kesme kuvveti değerini azalttığını gözlemlemişlerdir [30].

Dişbudak ve arkadaşları, 7075 alüminyum alaşımının tornalamasında, kesme parametrelerinden olan ilerleme, kesme hızı ve talaş derinliğinden üç farklı değer belirleyip deneyi tamamlamıştır. Deney sonucu olarak; bütün kesme şartlarında ilerleme miktarının artmasıyla yüzey pürüzlülüğü arttığını, elde edilen verilere göre yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en önemli parametre ilerleme miktarı olduğunu, kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülüğü azaldığını, kesme hızı artışıyla birlikte kesme kuvvetlerin azaldığını ve işlenen yüzeydeki deformasyonların azaldığını belirttiler [31].

Anwar ve arkadaşları, 7075 alüminyum alaşımını üç farklı ilerleme, kesme hızı ve talaş derinliğinde frezede işlenmesi sonucu yüzey pürüzlülüğünü incelemiştir. Deney sonucu olarak; daha yüksek kesme hızlarında ve düşük ilerleme oranlarında, ek talaş derinliği ile daha düşük yüzey pürüzlülüğü değerlerine (Ra) ulaşıldığını, ilerleme ve kesme hızlarını arttırarak, daha küçük talaş derinliği değerlerinde daha az yüzey pürüzlülük değerleri elde edildiği belirtilmiştir [32].

Saravanakumar ve arkadaşları, Al6063/Al₂O₃/Gr hibrit kompozit parçasına, üç farklı devir sayısı (1000, 2000, 3000 rpm), ilerleme (50, 100, 150 mm/dak) ve kompozit içindeki alüminyum-oskit partikül miktarına (3, 6, 9 %) göre TiN kaplı karbür uç

kullanarak delik delme işlemi yapmıştır. Deney sonucu; en düşük ilerleme oranı yüzey pürüzlülüğü üzerinde daha iyi performans göstermiştir [33].

Pervaiz ve arkadaşı, 6061 alüminyum alaşımını kuru şartlar altında konvansiyonel delme, raybalama ve gagalayarak cnc tezgahta işleyerek, işlenmiş yüzey kalitesi ve enerji tüketimine göre en uygun bitirme işlemlerinin seçimini kolaylaştırmak için karşılaştırmalı deney yapmıştır. Deney sonuçlarında; gagalayarak delme, konvansiyonel delme işlemine göre daha iyi yüzey pürüzlülüğü vermesine karşın raybalama işlemi kadar verimli sonuç vermediği, ilerleme kuvvetinin ortalama değeri, gagalayarak delme işlemi için geleneksel delme işlemine göre % 22 daha yüksek fakat maksimum ilerleme kuvveti değerleri % 6 daha az olduğunu anlaşılmıştır. Enerji tüketimi açısından, gagalayarak delme işleminin, kombine delme ve raybalama işleminden biraz daha fazla enerji tükettiğini göstermiştir [34].

Nimase ve arkadaşı, 7075 alüminyum alaşımını, kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelemek için devir sayısı 2000 ve 2500 rpm (dakika ki devir sayısı), 240 ve 320 ilerleme oranı (mm/dak) ve 2 ve 2,5 kesme derinliği (mm) ile uç frezeleme ile işlemiştir. Deney sonucunda arzu edilen yüzey pürüzlülüğü; 2500 rpm, 240 mm/dak ilerleme ve 2 mm talaş derinliğinde elde etmiştir. Yüzey pürüzlülük değerini, ilerleme hızının daha fazla etkilediği, devir sayısının orta oranda etkilediği ve kesme derinliğinin az etkilediğini belirtmiştir [35].

Satish Kumar ve arkadaşları, 5052 alüminyum alaşımına 10 mm çapında hss (yüksek hız çeliği) takım ile üç farklı kesme hızı (1500, 1750 ve 2000 m/dak), ilerleme oranı (50, 75 ve 100 mm/rev) ve kesme derinliği (0,25-0,50 ve 0,75 mm) seçilerek frezeleme işlemi yapmıştır. Deney sonucunda, en iyi yüzey pürüzlülük değeri kesme hızı 2000 (m/dak), ilerleme oranı 50 (mm/rev) ve kesme derinliği 0,75 (mm) elde etmiştir. Kesme hızı arttığında yüzey pürüzlülük değeri azalmıştır. 5052 alüminyum alaşımın yüzey pürüzlülüğü için en etkili faktörün kesme hızı ve ardından kesme derinliği ve ilerleme hızı olduğu sonucuna varmıştır [36].

Rawangwong ve arkadaşları, 7075 – T6 alüminyum alaşımını karbür takımla, üç farklı devir sayısı (2930, 2476, 2021 rpm), ilerleme hızı (1172, 990, 808 mm/dak) ve sabit kesme derinliğinde (0.5 mm) frezeleme işlemini tamamlamıştır. Deney sonucunda, kesme derinliği yüzey pürüzlülüğünü etkilemezken, devir sayısı ve ilerleme hızı yüzey

pürüzlülüğünü tesir etmiştir. Deneyin sonucu, devir sayısı 2930 rpm ve ilerleme hızı 808 mm/dak olduğunda yüzey pürüzlülüğünün azaldığını göstermiştir [37].

Hamdan ve arkadaşları, AISI 304 çeliği işlemek için kuru, sıvı ve minimum miktarda yağlama şartları altında, üç farklı kesme hızı, ilerleme oranı ve kesme derinliği seçip, TiN kaplı karbür kesici kullanarak frezeleme işlemini gerçekleştirmiştir. Deney sonucu olarak, yağlama tipinin istatistiksel olarak önemsizken, ilerleme hızının, kesme hızı ve kesme derinliğinden göre daha önemli olduğu görülmüştür. Kesme kuvvetinde % 25,5 azalma, yüzey pürüzlülük performansında % 41,3 iyileşme olduğu belirtilmiştir. [38].

Zainol ve arkadaşı, 7075-T6 alüminyum alaşımını farklı kesme hızları ve kesme sıvısı debileri ile birlikte frezede tezgahında işlemiştir. Deney sonucunda, minimum miktarda yağlama, kesme hızı ve ilerleme hızı, yüzey pürüzlülüğü için önemli faktörler olmuştur. Alüminyum 7075-T6 alaşımının talaşlı imalatı sırasında, kesme hızı 657 m/dak ve MQL altında akış hızı 3 ml/dak da, talaş oluşumunda umut verici parametreler olmuştur [39].

Sakthivelu ve arkadaşları, 6351 alüminyum alaşımını torna tezgahında farklı devir sayıları (1300, 1500, 1700 ve 1900 rpm), ilerleme oranları (0,05-0,10-0,15 ve 0,20 mm/dak) ve kesme derinliklerinde (0,2-0,4-0,6 ve 0,8 mm) Hss takım kullanarak delme işlemini yapmıştır. Deney sonucu, minimum yüzey işlemesi için ideal parametrelerin, ilerleme hızı 0,2 mm/dak, devir sayısı 1900 dev/dak ve kesme derinliği 0,2 mm olduğunu göstermiştir. Kesim derinliği, daha düşük yüzey pürüzlülüğü için işleme performansına etki etmiş olup, bunu devir sayısı ve ilerleme hızı takip etmiştir [40].

Gopalakrishnan ve arkadaşları, 7075 alüminyum alaşımını kesme sıvısı altında, üç farklı devir sayısı (300, 600 ve 900 rpm) ve ilerleme oranı (0,15-0,20 ve 0,25 mm/rev) ile 10 mm çapında karbür, tungsten karbür ve hss takımlar kullanarak delme işlemini yapmıştır. Deney sonuçları analiz edildiğinde, ilerleme hızının delik yüzey pürüzlülüğünü etkilediği en önemli faktör olmuştur. Seçilen takım ve devir sayısı diğer yüzey pürüzlülüğünü etkileyen işleme parametrelerinden olurken, talaş derinliği ise yüksek talaş kaldırma oranını etkilemiştir [41].

Pradeep Kumar ve arkadaşı, OHNS çeliğini, kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelemek için cnc dik işleme tezgahında farklı kesme hızları (5, 6,5 ve 8 m/dak), ilerleme oranları (0,15-0,20 ve 0,25 mm/rev) ve (10, 12 ve 15 mm) çaplarında hss takımlar kullanarak delme işlemini yapmıştır. Taguchi yöntemi, yüzey

pürüzlülüğü, takım aşınması, talaş kaldırma oranı ve delik çapı hatasının delme parametreleri üzerindeki etkisini, ortogonal dizili L_{18} kullanılarak analiz etmiştir. Ohns malzemede açılan deliklerin kalitesini etkileyebilecek varyasyonları azaltmak için kesme hızı ve ilerleme oranının uygun kombinasyonu esas olmuştur [42].

Mohd Hairiza ve arkadaşları, AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin işlenmesinde, kesme parametrelerinden olan devir sayısını (482, 550 ve 627 rpm) ve ilerleme hızını (68, 103 ve 146 mm/dak) değiştirerek ve TiN kaplamalı, TiCN kaplamalı ve TiAlN kaplamalı hss takımlar kullanarak delme işlemini tamamlayıp, optimize etmiştir. Matkap ucu kaplama tipi temel olarak çap doğruluğunu en yüksek oranda etkilemiş, ardından ilerleme hızı ve devir sayısı takip etmiştir. İlerleme hızı 103 mm/dak ve devir sayısı 627 rpm iken TiCN ile kaplanmış Hss takım kullanılması uygun parametre değerlerini vermiştir. [43].

Alagarsamy ve arkadaşları, 7075 alüminyum alaşımını HSS takımlar kullanarak, farklı devir sayılarında (600, 800, 1000 ve 1200 rpm), ilerleme oranlarında (0,06-0,08-0,10 ve 0,12 mm/rev) ve kesme derinliklerinde (1,5-2,5-3,5 ve 4,5 mm) dik işlemleri tezgahında işlemesi neticesinde parametrelerin yüzey pürüzlülüğüne etkilerini görmek için deney yapmıştır. Taguchi yöntemiyle optimize edilen değerlerde, alüminyum alaşımının kuru koşullarda delme işlemi sırasında talaş kaldırma oranı, 1000 rpm devir sayısı ve 0,12 mm/dev ilerleme hızı ve kesme derinliği 3,5 mm' de en uygun koşul oluşmuştur. Yüzey pürüzlülüğünü için optimum koşullar, 1200 rpm devir sayısı, 0,06 mm/dev ilerleme hızı ve 2,5 mm kesme derinliği olmuştur. Optimal yüzey pürüzlülüğünü elde etmede, kesme hızının (devir sayısının), büyük oranda % 28,65 'lik bir katkı sağladığını ve bunu takiben % 10,20 'luk ilerleme hızı ve % 8,12 'lik kesme derinliğinin katkısı olduğunu açıkça gösterilmiştir [44].

A. Abdullah ve arkadaşları, AISI 1015 çeliğini üç farklı, devir sayısı 132, 550 ve 930 rpm), ilerleme oranı (0,038-0,076 ve 0,203 mm/rev) ve çapta hss takımla (11, 15 ve 20 mm) delme işlemi yaparak, yüzey pürüzlülüğüne ve birim zamanda kaldırılan talaş oranına olan etkisini araştırmıştır. MRR (talaş kaldırma oranı), ilerleme hızındaki artışla artmış, ancak devir hızındaki artış MRR' yi azaltmıştır. Maksimum talaş kaldırma oranı, 132 dev/dak devir hızında ve 0,203 mm/dev ilerleme hızında elde edilmiştir. Takım çapı (20 mm), ilerleme hızı (0,203 mm/dev) ve devir hızı (132 dev/dak) olduğunda maksimum

yüzey pürüzlülüğü görülmüştür. Takım çapı, MRR ve yüzey pürüzlülüğü (sırasıyla % 64,08 ve % 76,12) üzerinde önemli etki faktörüne sahip olmuştur [45].



2. DENEYSEL UYGULAMA İÇİN GENEL BİLGİLER

2.1 Alüminyum ve Alüminyum 7075 Alaşımı Hakkında Bilgiler

Alüminyum ve alaşımları güçlü mukavemet özellikleri, hafif yapıları, yeterli ısı ve elektrik iletkenlikleri, korozyon dayanımları nedeniyle gıda, kimya, otomotiv, savunma sanayi, havacılık ve gemi inşaatı gibi çeşitli alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır [46]. Alüminyum alaşımları iyi korozyon direncinin dışında ağırlığının düşük olması ve mukavemetli yapısı münasebetiyle günümüz havacılık ve savunma sanayinde hayli yaygın kullanılmaktadır.

Alüminyumun mukavemeti çelikten daha güçsüz olmasına rağmen kesit alanı arttırılarak çelik ile muadil mukavemet yapılabilmektedir. Çoğu koşulda çelik ile aynı mukavemetteki alüminyum alaşımlı parçalar, çelikten ağırlıkça daha hafiftir. Alüminyum; çelik ve demire kıyasla üç kat daha hafiflik sağlamasından dolayı Amerika Birleşik Devletleri'nde ve Avrupa'daki otomotiv sektöründeki kullanımları gün geçtikçe artmaktadır. Son zamanlarda ulaşım işkolunda kişi başına düşen alüminyum tüketim miktarı 35 kg'dan 90 kg'a kadar yükselmiştir. Bir araçta yüksek oranda alüminyum kullanıldığında taşıt ağırlığında % 20 oranında bir düşüş oluşmaktadır. Bu düşüş beraberinde yakıt tasarrufuna ve daha az CO₂ emisyonuna neden olup hava kirliliğinin de azaltılmasına yardım edecektir [47].

Alüminyumun dayanımı farklı alaşım elementleri ve ikincil işlemler (ısıtım işlemi, yaşlandırma, soğuk şekillendirme, gerilim giderme vb.) ile yükseltilebilmekte ve kullanım koşullarına göre seçkin malzemeler oluşturulabilmektedir [48]. Alüminyumun Fiziksel Özellikleri Tablo 2.1 'de gösterilmektedir.

Tablo 2. 1 - Alüminyumun Fiziksel Özellikleri

Alüminyumun Fiziksel Özellikleri	Değerleri
Atom Ağırlığı, (gr)	26,97
Dökme Alüminyum Özgül Ağırlığı, ρ (gr/cm³)	2,65-2,69
Hadde Alüminyum Özgül Ağırlığı, ρ (gr/cm³)	2,7
Ergime Noktası (°C)	658
Kaynama Noktası (°C)	1800
Isıl Geçirgenlik Katsayısı, k (W/mK)	173

Alüminyumun oksijene karşı anifitesi bulunmaktadır. Hava ile temas ettiğinde, kısa zaman içerisinde oksijen ile birleşik yaparak alüminyum oksit (Al_2O_3) oluşturur. Bunun sonucu bütün yüzey çok renkli alümin tabakası ile örtülür. Alüminyum bu niteliği korozyona karşı dayanım kabiliyetini arttırmaktadır. Meydana gelen bu oksit tabakası su ile yıkamak suretiyle çıkartılmaz. Alüminyum bu özelliği kullanım alanını genişletmiştir. Soğuk şekil değiştirme neticesinde korozyon mukavemeti düşmektedir. Alüminyum saflık derecesinde düşüş olduğu zaman, korozyon mukavemeti olumsuz etkiler ve dayanımın azalmasına neden olur.

Her dizide olan değişik alüminyum alaşımları farklı mekanik özellikler ve bunun sonucu çeşitli koruma düzeyleri oluşturur. Askeri bir araç gövdesinde doğru bölgelerde kullanımına uygun alaşımın uygulanması için itina gösterilmelidir. Örneğin, bir askeri aracın alt gövdesinde, patlama direnci genellikle yüksek önceliğe sahiptir. Bu durumda, 5xxx serisi alaşımlar gibi patlama durumuna mukavemet etmek için belirli bir yetenek gösteren alaşımlar zorunlu olacaktır. Aracın üst bölümündeki diğer kısımlarda balistik darbe testleri, 2xxx veya 7xxx serisi gibi daha ileri mukavemetli alüminyum alaşımların bu bölgeler için daha etkin olacağı tavsiye edilmektedir. Farklı özelliklerin neticesinde, tek tip alaşım askeri bir aracın değişik taleplerini karşılayamaz. Bununla birlikte, askeri araçların gerekli yerlerinde uygun alaşımlı yapıların oluşturulup kullanılmasıyla hafif ve büyük ölçüde dayanıklı bir askeri araç imal edilebilir [49].

7xxx serisi alüminyum alaşımlarına değişik ısı işlemler tatbik ederek malzemenin mekanik özellikleri (akma – çekme – yorulma mukavemeti gibi) yükseltilir ve daha fazla kullanım alanları için uygunluk sağlanır. Tez için belirlenen alüminyum alaşımına uygulanan T651 ısı işlemi ile yüksek sertlik ve mukavemet özellikleri elde edilmiştir. 7075 alüminyum alaşımı için T651 ısı işlemi, çözeltiye alma işlemi, kontrollü bir miktarı gerilme – gidermeye tabi tutulup ve suni olarak yaşlandırılma operasyonlarından oluşmaktadır. Bu yapılan ısı işlem sonucu korozyona karşı hassasiyet oluşabilir ve bunu önlemek içinse farklı tavlama yapılabılır. 7075 alüminyum alaşımına uygulanan ısı işleme göre kazanılan mekanik özellikler, Tablo 2.2 ‘de gösterilmektedir.

Tablo 2. 2 - 7075 Alüminyum Alaşımının Isıl İşleme Göre Mekanik Özellikleri

7075 Alüminyum Alaşımının Mekanik Özellikleri				
Temper	Akma Mukavemeti (MPa) min - max	Çekme Mukavemeti (MPa) min - max	Uzama (%50) min - max	Sertlik (brinel) min - max
0	105	225	17	60
T - 6	460-505	530-570	10	140-160
T - 651	375-448	465-515	6	100-120

Yüksek mukavemet, çoğunlukla çelik gibi yüksek özkütleli malzemelerden yapılmış araçların meydana getirilmesi olarak görülmektedir. Araç ve yolcuların her ikisinde de yüksek oranda muhafaza sağlarken, bu malzemelerden üretilmiş araçların yüksek ağırlığı, hareket kabiliyeti ve hızları üzerinde kısıtlamalar meydana getirir. Burada oluşan güçlük, ağırlığı azaltarak artan korumayı efektif olarak ayarlamaktır. Bu kritik denge göz önüne alındığında, balansı oluşturmak için ağırlık oranlarına karşı yüksek mukavemetli çok çeşitli malzemeler üzerinde araştırmalar yapılmaktadır. Özellikle, daha yüksek mukavemetli alüminyum alaşımları geliştirilmiştir. Bazı alüminyum alaşımlar, yumuşak çelik ile kıyaslanabilir bir dayanımı oluştururken, yaklaşık üçte biri yoğunluğa sahip olmaktadır [50]. Yüksek dayanımın ve korozyon durumlarında iyi direncin istendiği koşullarda alüminyum alaşımları kullanılır. Uçak yapı elemanlarının büyük bir bölümü 7075 alaşımından yapılır. 20 °C 'deki yoğunluğu 2,80 g/cm³ tür. 260-455 ° C arasında sıcak çalışabilir. Tam tavlama 413 ° C 'de 2-3 saat bekletmeyle yapılır. Sonra havada soğutulur. Malzeme kullanılmadan önce belli bir zaman dilimi için bekletilecekse 232 ° C 'de yeni bir ısıtmaya tabi tutulmalıdır [51]. Şekil 2.1 ' de alüminyum 7075 alaşımının kullanım alanlarından olan uçak yapı eleman şekillerinden, kiriş ve yapı iskeleti bölümleri gösterilmektedir.



Şekil 2. 1 - 7075 Alüminyum Alaşımının Kullanıldığı Uçağın Yapı Elemanlarından Olan Kiriş ve Yapı İskeleti

Alüminyum 7075 alaşımı, askeri, uzay ve uçak sanayisi dışında, kauçuk ve plastik kalıplarda, kayak direklerinde, yüksek mukavemet gerektiren makine elemanlarında, otomotiv sanayisinde, perçin yapımında ve nükleer uygulamalarda kullanım alanı bulmaktadır. 7075 alüminyum alaşımının levha, çubuk, lama ve profil çeşitleri ve boru olarak temin edilebilir. Seri 7xxx alüminyum alaşımları % 4-8 Zn ve % 1-3 Mg ihtiva etmesiyle diğer seri alaşımlara nazaran sahip olduğu daha fazla dayanıklılık ve sertlik neticesinde uçak sektöründe kullanılması için uygun malzeme gruplarıdır. 7075 alüminyum alaşımın bileşiminde bulunan çinko ve magnezyum, alüminyum bünyesinde yüksek miktarlarda çözünebilme kabiliyetinden dolayı çökelti sertleşmesinin yükselmesine olanak vermektedir. Bunlar dışında ek olarak katılan bakır alaşım elementi mukavemetin biraz daha yükselmesini desteklemektedir. Tablo 2.3 'de alüminyum 7075 – T651 alaşımın kimyasal bileşim elementleri ve bunların içerik oranları sunulmaktadır.

Tablo 2. 3 - Alüminyum 7075 – T651 Alaşımının Kimyasal Bileşim ve Oranları

7075 – T651 Alüminyum Alaşımının Kimyasal Bileşimi (% cinsinden)									
Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Zi+Ti	Diğer	Al
0,5	0,5	1,2-2,0	0,3	2,1-2,9	5,1-6,1	0,18-0,28	0,25	0,15	Kalan

Alaşımsız saf malzemeler yumuşak yapıya sahip olmasıyla uçak üretimi için elverişli mukavemeti sağlamamaktadır. Ticari amaçlar için elde edilen alüminyum yapısında kalan yabancı maddeler vasıtasıyla bu malzeme mekanik işlem sonucu bir miktar sertlikte artış olur. Bu basit alaşımlar ikinci mertebe uçak elemanları yapımı için yeterlidir. Uçağı ciddi hasara uğratabilecek yük taşıyan birinci mertebe elemanların yapımında daha yüksek mukavemetli olan alüminyum ve bakır alaşımları kullanılır.

Uçaklarda sıklıkla kullanılan demir esaslı olmayan malzemeler daha çok alüminyum ve alaşımlarıdır. Diğerleri ise titanyum ve alaşımları, bakır ve alaşımları, kurşun ve alaşımları, magnezyum ve alaşımları, kompozit malzemeler olarak belirtilebilir. Alüminyum, hava taşıtların kullanımının ilk zamanlarında daha çok bilinen Al-Cu-Mg (2xxx) serisi alaşımlar kullanılmıştır. II. Dünya Savaşı sonrası ticari taşımacılık maksadıyla kullanılan hava taşıtlarının geliştirilmesi yüksek mukavemetli üst kanat alaşımlarını ön plana çıkarmıştır. Bu sıralarda Boeing-707' lerde yüksek oranlarda Zn, Mg ve Cu içeren 7178-T6 alaşımı kullanılmıştır. Fakat yüksek mukavemetli bu alaşımların kırılma tokluğu problemi ortaya çıkmıştır. Boeing-747 hava taşıtları geliştirildiğinde, bu sorun tasarım mühendislerinin daha düşük mukavemetli 7075-T6 malzemesini kullanma durumunda bırakmıştır. Diğer hava taşıtı dizayn mühendisleri, 7075-T6 alaşımın sahip olduğu korozyon dayanımını verimsiz bulup, bu alaşımın mukavemet kaybını göze alarak korozyon direncini arttırmaya çalışmışlardır [52].

2.2 Talaşlı İşlemlerin İmalat Uygulamasındaki Yeri

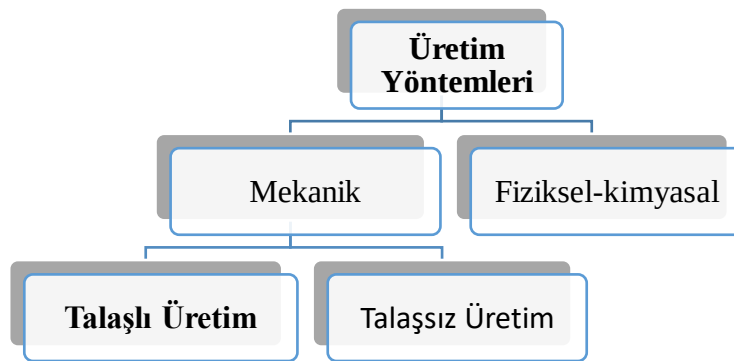
Bir ham maddenin (metal, seramik, plastik, kompozit, ahşap vb.) kullanılacak alan ve hedefe yönelik istenilen geometrik şeklin elde edilmesi ve/veya işlenmesi olarak tanımlanan üretim (imalat), insanlık tarihinin başlangıcına dayanmaktadır. En kaba hâli ile üretim (imalat), bir parçaya istenen geometrik nitelikleri oluşturmak için elle şekil verme işlemidir.

Takım tezgahına tespit edilen farklı geometrik yapılara sahip kesici uçlar vasıtasıyla hedeflenen boyut ve şekilde oluşturulan parça veya işlenen malzemeden fazlalıkların yüzeyden talaş formunda kaldırılması yöntemine, bilhassa malzeme metal ise bu işlem “Talaş Kaldırma” işlemi şeklinde tanımlanır. Bununla birlikte talaşlı üretim; iş parçası yüzeyinden, sertliği daha yüksek bir kesici takım kullanarak küçük parçacıklar halinde malzeme (talaş) koparmak için yapılan şekillendirme (vida-diş-kanal açma) işlemleridir. Talaşlı imalat tek bir işlem değil bir grup işlemlerden oluşmaktadır. Bunların ortak paydası kesici takım ile iş parçasından talaş atılmasıdır. Operasyonun yapılabilmesi için takım ile iş arasında izafi (bağıl) harekete ihtiyaç vardır [53].

Talaş kaldırma metotlarında kullanılan kesici takım geometrisi ve kalite yelpazesi, kullanılan takım tezgahı ve işleme yönteminin tipi, CNC takım tezgahlarının ve CAM yazılımlarının sunduğu zengin talaş kaldırma süreçlerinde kullanılan takım yolu

geometrileri, kesme hızı, ilerleme miktarı, talaş derinliği gibi kesme parametrelerinin farklılıkları, her kesme seviyesinde operatörün müdahale edebilmesi, kullanılan soğutma yöntemleri gibi daha sayısı arttırılabilecek birçok değişkenin var olması sonucunda, işlenebilirlik kavramının değerlendirilmesi zordur.

Uygulamalı bilimin ilerlemesine paralel olarak, üretim kelimesi tek başına elle şekil verme işlemi yerine, gelişen imalat metotları ile farklı bir önem kazanmıştır. Çevremizde gördüğümüz ve kullandığımız her türlü alet, ekipman ve araç bir veya birkaç üretim yöntemi kullanılarak imal edilmiştir. Bu açıdan en önemli nokta, üretilmek istenen bir parçanın hangi yöntem ile işleneceği veya üretileceğidir, çünkü üretim usulleri kendi arasında oldukça farklı gruba ayrılmaktadır. Üretim yöntemleri ana hatlarıyla Şekil 2.2 'de gösterildiği gibi mekanik ve fiziksel-kimyasal olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Mekanik yöntemler kendi içerisinde talaşlı ve talaşsız imalat yöntemleri olarak ikiye ayrılır. Talaşlı üretim yöntemleri; tornalama, frezeleme, planyalama ve vargelleme, delik delme, taşlama, broşlama, honlama ve lepleme olarak sınıflandırılabilir. Talaşsız üretim yöntemleri genel olarak; döküm, dövme, haddeme, ekstrüzyon, tel çekme, derin çekme, sıvama, bükme, kaynak, lehim, yapıştırma ve perçinleme olarak sınıflandırılabilir. Fiziksel-kimyasal yöntemler ise elektroerezyon, tel erezyon, kimyasal, elektro-kimyasal, lazer, plazma ve su jeti ile işleme gibi işlemleri kapsamaktadır. Daha önce de açıklandığı üzere bir mamul, bir veya birden fazla prosedürün kullanılmasıyla üretilebilir, bu bölümde tezin konusunu kapsayan talaşlı üretim yöntemlerinden delme işlemi üzerinde çalışılmış ve açıklanmıştır.



Şekil 2. 2 - Üretim Yöntemlerinin Sınıflandırılması

Kısa süre içerisinde talaşsız imalat yöntemleri kullanarak ürün elde edilmesine karşın, yüzey, ölçü tamlığı ve biçim vasfı yönünden parçada istenilen nitelik elde

edilememektedir. Bunun sonucu olarak talaşsız imal edilen parçaların kalitesini arttırmak için yüzeyin bir bölümü veya tamamı, talaşlı imalat yöntemleri ile işlenmektedir.

2.2.1 Talaşlı Üretimin Geçmiş ve Gelişim Süreci

Talaşlı imalat sanayi devrimi ile 18. ve 19. yüzyıllarda gelişimine başlamış ve 20. yüzyılda muazzam bir hızla ilerlemesini sürdürmüştür. 18. yüzyılda en bilinen ve kullanılan iş parçası malzemesi olarak ağaç kullanılmıştır. Bu yüzyılda metallerin işlenmesi ve işleme için kullanılan tezgahlar boyut açısından sınırlara sahip olup, 19. yüzyıla kadar metallerin işlenmesi sadece demirci ustalarının kol gücü sayesinde üretim devam etmiştir. İlerleyen zaman içerisinde buhar makinesinin icadı ve daha sonra elektrik enerjisiyle sağlanan gücün kullanılmasıyla artık kol gücü yerini teknolojiye bırakmaya başlamıştır. Bulunan bu yeni güç seçenekleri sayesinde takım tezgahları bulunmuş ve büyük ilerlemeler kaydetmiştir. Hareket aktarımı için miller ve kayış-kasnak mekanizmaları kullanılmaya başlanmıştır. İlk takım tezgahları vida çekme işlemlerini de yapabilen torna tezgahları, planya ve freze tezgahlarıdır. Takımı taşıyan bir kızağın kullanılmaya başlanması 19. yüzyılın başlarında önemli bir süreç olmuştur. Bunun neticesinde kızak kullanılması ile takımın elde tutulmasının önüne geçilmiş olup, bir katere monte edilmiştir.

Modern talaşlı imalatın temelleri 19. yüzyılda Avrupa ve Amerika’ da atölyelerde bulunan tezgah parklarında önemli gelişmeler olmuştur. Amerika kıtasında silah imalatı yapanlar sayesinde yeni tezgahlar kullanılmaya başlanmış, birbirinin yerine geçebilen parçalar, standartlaştırılmış, ölçüler seri üretim teknolojisinin ortaya çıkmasına vesile olmuştur. Bu yüzyılın ortalarında üniversal freze ve taşlama tezgahları kullanılırken, yüzyılın sonuna doğru sanayisi olan ülkelere, takımların hızlı değiştirilmesine olanak veren revolver tornalar ve otomatik çubuk işleme tezgahlarına kapsamlı olarak baş vurulmuştur. 19. yüzyıl süresince ve bilhassa 20. yüzyılda talaşlı imalat alanında olan aynı oranda gelişmeler olmuştur.

19. yüzyıl başlarında demir ve daha sonra çelikler için gelişmeler kaydedilmiş ve takım çelikleri üretilmiştir. Bu zamandan itibaren yüksek karbon çelikleri ve alaşımlı karbon çelikleri en iyi takım malzemeleri konumuna gelmiştir. Bu tip malzemelere uygulanan ısıt işlemlerle önemli ölçüde sert malzemeler olmalarına rağmen kesme hızları sonucu ortaya çıkan ısı nedeniyle yumuşamaları en büyük dezavantajdır. Takım ömrünü

olumsuz etkiler ve kullanım için güvenilirmez özellikler sunarlar. Bu süreçte iş parçası malzemeleri olarak gri dökme demir, bronz ve dövme demir gibi işlenmeleri fazla efor gerektirmeyen malzemeler kullanılmıştır. Çelik ve özellikle alaşımlı çelik büyük oranda işlenmesi zor ve oldukça pahalı malzemeler olmuşlardır. Dayanım için birincil olarak geliştirmiş takım malzemesi hız çeliği olup daha sonra takım tezgahların teknolojik açıdan gelişme göstermesiyle güvenli, performanslı, seri parçaların üretilmesi için kaplamalı karbür, seramik ve kübik bor nitrür gibi yeni nesil takım malzemelerinin uygulanmasına olanak bulunmuştur. İmalat maliyetini azaltmak, takım kullanım süresini artırmak ve iyileştirilmiş yüzey niteliği oluşturmak için talaş kaldırma metotları kapsamında araştırmaların yapılması mecburi olmuştur.

2.3 Delik Delme

2.3.1 Giriş

Helisel yapılı delik oluşturmak için matkap ucu (drilling bit) kullanılması ile uygulanan işlemdir. Matkap uç yapısında iki adet kesici kenar bulunmaktadır. Belirlenmiş bir devir hızında dönen matkap ucuna sabit şekilde bağlanmış malzeme yüzeyine dik düzlemde bir ilerleme hareketiyle yüzeyden talaş atarak delik açılmaktadır [2]. Kesici takımlarla yapılan talaş kaldırma yöntemlerinde sarf edilen sürenin %25 'i delme işlemi için tezgahta harcanmaktadır. Delme prosesi genellikle talaş kaldırma işlemlerinin son bölümünü oluşturur. Tornalama ve frezeleme işlemleri ile delme uygulamaları kıyaslandığında, yöntemler için gerekli olan kinematik ve dinamik hareketin benzerliği, talaş akışı ve kesme sıcaklık yayılımının aynı formda olduğu görülmektedir.

Kısa delik açma ve derin delik açma yöntemleri değişiklik göstermektedir. Derin delik açma, çap değerinden çok daha fazla derinliğe sahip deliklerin açıldığı, ayrıcalık gerektiren bir yöntemdir ve oluşturulan derinlik, çapın 150 katına kadar çıkabilir. Kısa delik delme sürecinde modernize edilmiş takımların gelişmesiyle beraber, ön çalışma ve ilave muamele gereksinimi büyük oranda farklılaşmıştır. Modern takımlar, normal olarak merkez ve kılavuz deliklerini önceden işlenme gereksinimi olmadan, dolu şekilde delmenin başka çaba harcamadan bir işlemde oluşturulmasına olanak sağlamıştır. Delik niteliği oldukça yüksek olup, boyut hassasiyetini ve yüzey pürüzlülüğünü arttırmak için başka bir işlem yapılması gerekmez.

Delik delme usulü, bazı tarafları ile tornalama ve frezeleme yöntemleriyle mukayese edilse de delik delme için talaş kırma ve talaşın boşaltılması ciddi bir önem teşkil eder. Yapılan işlem istenilen delik derinliği ile limitlidir, sonuçta delik derinliği ne kadar büyükse süreci kontrol etmek ve talaş kaldırmak o kadar zorlaşır. Talaş, bir iş parçası işlenirken ortaya çıkan atık metal parçalardır.

Delik işleme tezgahlarında, delme prosesi kısa veya derin delik delme işlemlerin dışında, broşlama, raybalama, havşa başı oluşturma işlemleri ve ovalama gibi farklı işlemlerin son adımı da uygulanır. Bu yöntemlerin paydaş bölümü, takımın kendi eksenini çevresinde dönme eylemi ile takım eksenini doğrultusunda ilerleme hareketi yaparak talaş ayırma işleyişinin olmasıdır.

2.3.2 Delik Delme İşleminde Kullanılan Matkap Tezgahları

Delik oluşturma metodu, torna ve freze gibi tezgahlarda uygulanabilir olmasının dışında delme için imal edilmiş spesifik matkap tezgahları da bulunmaktadır. Delme tezgahları çoğunlukla iş mili, gövde, iş tablası ve kontrol-tahrik sistemi bölümlerini içerirler. Matkap tezgahı olarak bilinen delik oluşturma ve şekillendirme tezgahları, çeşitli ebat ve büyüklükte olabilirler. Derin delik delme metodundan başka matkap tezgahlarında, varolan bir deliği genişletmek ve deliğin yüzey kalitesini arttırmak maksadıyla rayba işlemi, varolan bir deliğin yüzeyine iç vida dişi açma işlemi ve havşa açma yöntemleri de uygulanabilir.

Delme tezgahları; sütunlu matkap tezgahı (upright drill press), masa tipi matkap tezgahı (bench drill), radyal matkap tezgahı (radial drill), çok millî matkap tezgahı (multiple spindle drill), yatay delik delme tezgahı (borwerk) ve CNC tezgahlar şeklinde sınıflandırılabilir.

Günümüz teknolojisinde, sayısal kontrol (NC Numerical Control), takım tezgahlarının sayı, harf gibi simgelerden meydana gelen ve belirli bir yapıya göre şifrelenmiş talimatlar ile işletilmesidir. Talimatlar, takım tezgahına veri blokları şeklinde aktarılır. Her veri bloku tezgahın işlem yapacağı bir dizi komuttan oluşur. Sayısal kontrol, metal ve metal olmayan herhangi bir malzemelerin talaş kaldırmak amacıyla üretilmesinde kullanılan bütün takım tezgahlarında kullanılır. Bilgisayar destekli Sayısal Kontrol (CNC-Computer Numerical Control), takım tezgahlarının sayısal talimatlar kullanarak bilgisayar vasıtasıyla denetlenmesidir. CNC tezgahlar ile NC tezgahlar arasındaki fark

bilgisayar destekli bir kontrol ünitesi bulunmasıdır. Bilgisayar destekli sayısal kontrole sahip tezgahlarda, denetim ünitesinin bilgisayarla işletilmesi neticesinde, programların saklanabilmesinin dışında parça imalatının her seviyesinde programı durdurma, programda istenilen farklılıkları yapabilme, durdurulan programı tekrar sürdürebilme ve programı son biçimi ile bellekte saklamak olasıdır [54].

2.3.3 Delik Delme Yöntemi

Delik delme yönteminde, çeşitli takımlar kullanarak işlenmemiş bir üründen istenilen biçimde talaş kaldırma suretiyle silindirik delik açma prosedürlerin tamamına verilen bir isimdir. Derin delik delme yönteminde yüzey ve delik niteliği daha çok önem oluştururken, kısa deliklerde daha hesaplı bir yöntem için daha fazla talaş akışlarında işleme kıymet taşımaktadır. Kısa delik delme metodu ile derin delik metodunda görülen ayırım, sadece çap ve delik derinliğinden oluşmamaktadır. Talaş tahliyesi, nitelik ve talaş akışı ile bağlantılı değişkenler, derin ile kısa delik delme işlemlerinin belirleyici hususlardır.

En çok kullanılan yöntem olan delik delmede, sabit bir iş parçasına doğru takımın kendi ekseninde dönerek ilerleme hareketi yapması şeklindedir. Kısa delik delme uygulanacağı zaman, NC ve CNC tezgahların kullanılması ile işlenecek malzemenin dönüp takımın sabit kaldığı delme işlemleri de mevcuttur.

Delme makinesi, yuvarlaklık, düzlük ve pürüzlülük açısından kabul edilebilir hassasiyette iç silindirik yüzey (delikler) oluşturur. Delme olayı, bir iletim yolundaki özel matkap preslerine veya özel istasyonlara ek olarak, torna tezgahlarında veya freze makinelerinde yapılabilir. Delme sonucu elde edilen delikler çoğunlukla cıvata veya perçin gibi mekanik bağlantı elemanları için kullanılır. Delme, kılavuzla dış açma, delik işleme veya raybalama gibi işlemler için bir ön süreç olup kompozit malzemelerde çok fazla uygulanan işleme usulüdür [55].

En bilinen delik delme yöntemi, içi dolu malzemeden *tekgövde* bir kesici aletle belirlenen ölçüye bir işlemde delinmesidir. *Trepanasyon* (çevreden kesme) işlemi, deliğin tamamının atık malzemeye dönüştüğü geleneksel delik delme kadar efor harcanmamasından dolayı tezgah gücünün sınırlı olduğu daha büyük delik çaplarını delmek için yapılan bir uygulamadır. Trepanasyon matkabı bütün çapı değil, sadece çevresel bir yüzeyi işler. Tüm malzemeleri talaş haline getirmek yerine deliğin orta

bölümünde bir öz bırakılır. Sonuç olarak bu metot baştan sona delik istenilen uygulamalar için yapılır [56].

2.4 Delme İşleminin Özellikleri

2.4.1 Matkapla Delik Delme

Matkap adı verilen takımlarla, takımın malzemeye doğru ilerleme hareketi yapması sonucu talaş kopararak delik oluşturma işlemidir. Yöntemde iş parçası çoğu zaman sabit olup, işlem matkap uç sayesinde tamamlanır.

Delik tipi ya boş olarak üretilir ya da işlenerek son şekli verilebilir. Birçok iş parçası en az bir deliğe sahiptir. Bu delik, işlevselliğine ilişkili olarak farklı sınırlamalarla işlenmesi gerekir. Bir deliği işleme yönünden anlatan en uygun parametreler; çap, derinlik, kalite, malzeme, işleme şartlar, güvenilirlik ve performanstır.

Talaş oluşumu ve talaş boşaltılması, delik delme işleminde çok önemli unsurlar olmuştur. Bu ikili, iş parçası malzemesine, matkap uç geometrisine, kesme sıvısı basıncına, kullanılan sıvı cinsine ve kesme şartlarına göre değişkenlik gösterir. Talaş sıkışması matkap uçta radyal harekete neden olup delik kalitesini, matkap uç ömrü ve aşınmasını, güvenilirliğini etkileyebilir ve yanlış belirlenen değişkenler sonucunda matkap uç kırılması ortaya çıkabilir.

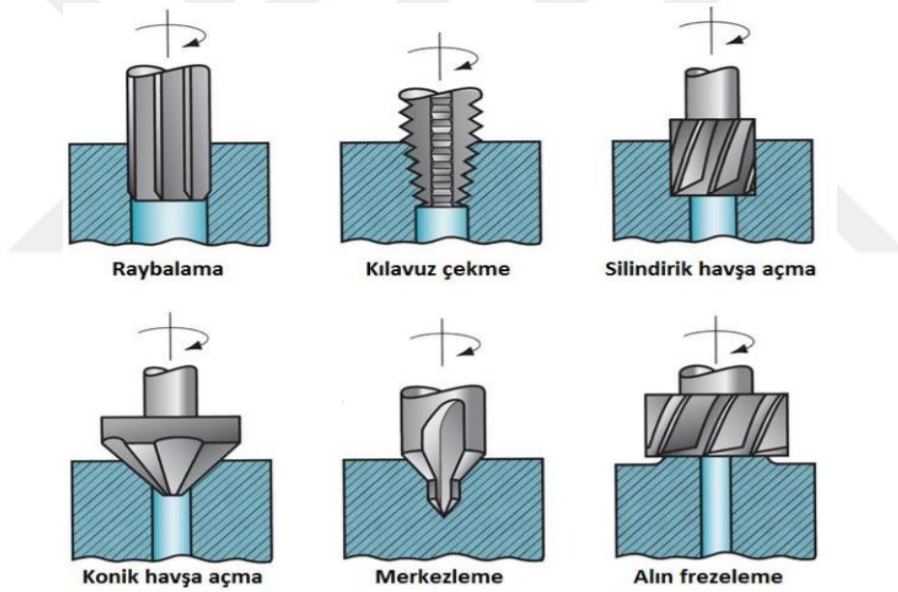
Matkap uç kullanarak oluşturulan deliklerin pürüzlülük değerleri hayli yüksektir. Yüzey pürüzlülüğünü azaltmak nedeniyle rayba adlı takımlar kullanılır. Rayba takımları hem matkap tezgahında hem de elle kullanılabilirler. Matkap uç kullanarak delme işleminde, hedeflenen delik özellikleri tamamen talep eden ve kullanım yeri ile bağlantılıdır. Örnek vermek gerekirse; küçük çapta bir delik işlenecekse bu işlem tek seferde yani delik genişletme ve raybalama gereksizdir uygulanabilir. Aynı şekilde delik delme işleminden sonra parçanın yüzey pürüzlülüğü kullanım amacı ve yerine göre makul değerlerde ise raybalama işlemine ihtiyaç duyulmayabilir.

Matkap tezgahında yapılabilen bazı işlemler şu şekildedir:

- ✓ Delme: Matkap uç kullanarak parçadan talaş kopması sonucu helisel biçime sahip delik meydana getirme işlemidir.

- ✓ Raybalama: Üzerinde birden çok kesici ağız bulunan bir raybalama takımı ile delik yüzeyini iyileştirme ve duyarlı yüzey oluşturmaktır.
- ✓ Delik büyütme: Yalnız bir kesici ucu bulunan ve ayarlanabilen bir kalemle delik çapını büyütme yöntemidir.
- ✓ Silindirik havşalama: Deliklerin başlangıç bölümüne ve vidaların başlangıç bölümünü yuva olacak şekilde büyütme yöntemidir.
- ✓ Konik havşalama: Bir deliğin ve vidaların başlangıç bölümünü yuva olacak şekilde konik bir yüzey şeklinde büyütme yöntemidir.
- ✓ Alın havşalama: Delik çevresini somun veya cıvata başının düzgün oturması için eksene dik olacak şekilde ayarlama işlemidir.
- ✓ Kılavuz çekme: Kılavuz denilen takımla dişi vida açma yöntemidir.

Şekil 2.3 'de matkap tezgahlarında yapılabilecek uygulama yöntemleri gösterilmektedir.



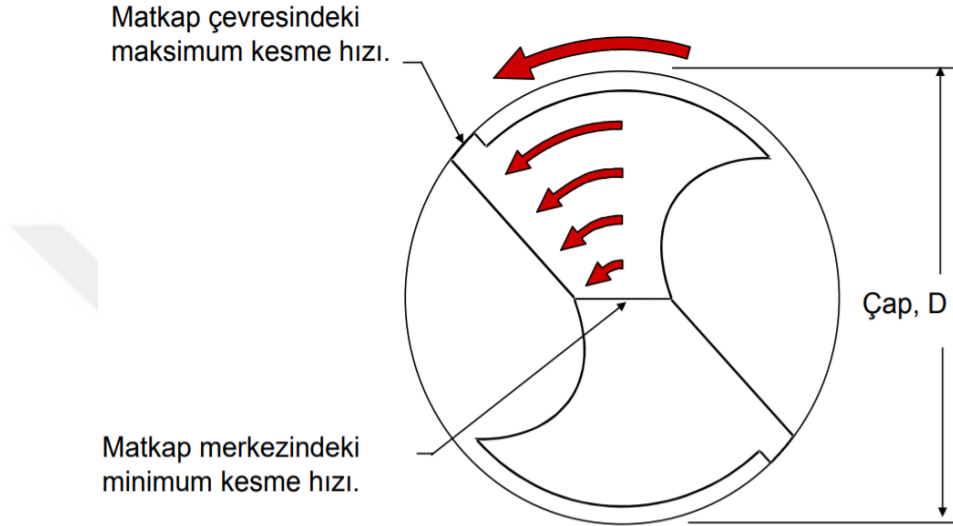
Şekil 2. 3 - (a) Raybalama, (b) Kılavuz Çekme, (c) Silindirik Havşa Açma, (d) Konik Havşa Açma, (e) Merkezleme, (f) Alın Frezeleme

Delme metodunda işlem koşulları için başvuru alan esas tanımlar, tekgövde takım ve değiştirilebilir uçlu takım için eş özelliktedir.

Delik delme için **kesme hızı** veya **yüzey hızı**, (V_c) çevre hızı olarak tanımlanır ve denklem (2.4.1.1) kullanılarak kesme hızı hesabı yapılır.

$$V_c = \frac{D \cdot \pi \cdot n}{1000} \quad [\text{m/dak}] \quad (2.4.1.1)$$

Ana mili hızı (n), dakikadaki devir sayısı olarak ifade edilir. Bir devir boyunca matkabın yüzeyi, $\pi \cdot D$ olan bir çemberi belirtir. Buradaki ' D ' ifadesi takım çapını ifade eder ve Şekil 2.4 'de gösterilmektedir. Kesme hızı, kesme kenarının hangi matkap uç yüzeyi etrafında çalışacağına ilişkili olarak da değişiklik gösterir. Delik delme takımları için işlemede karşılaşılan zorluk, matkabın çevresinden orta noktasına doğru kesme hızının düşmesi ve merkezde sıfır olmasıdır.

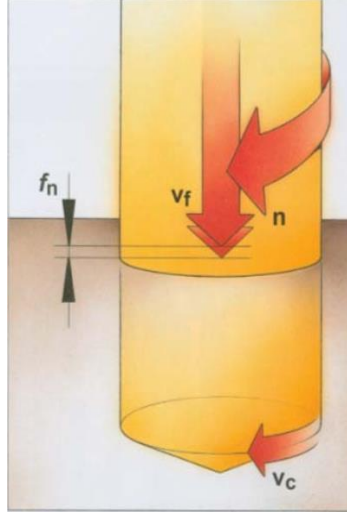


Şekil 2. 4 - Delik Delme Takımları için Kesme Hızı Değişimi

Önerilen kesme hızları çevrede sağlanan en yüksek hızı içindir. Devir başına ilerleme bir devir zamanında ucun yaptığı eksenel hareketi tanımlar. Bu tanım giriş oranını hesaplamada kullanılır ve matkabın ucun ilerleme sığasını belirler. **Giriş oranı** veya **ilerleme hızı** (V_f) birim zamanda mesafe olarak takımın iş parçasına izafi olarak ilerlemesi olup denklem (2.4.1.2) ile hesaplanır.

$$V_f = f \cdot n \quad [\text{mm/dak}] \quad (2.4.1.2)$$

Devir başına ilerleme ve devir sayısının çarpımları matkap ucun malzemeye **giriş hızını** oluşturur (V_f). Matkap ucun bir devirde işlenecek parçaya dik düzlemde girme uzaklığına ilerleme denir. (f_n) ile tanımlanır ve birimi mm/dev' dir. **Bir devirdeki ilerleme** (f_n - mm/dev), ilerleme hız değerini bulmak için gerekli olan bir niceliktir. Şekil 2.5 'de kesme parametrelerinin işlem esnasında oluşma biçimi gösterilmektedir.

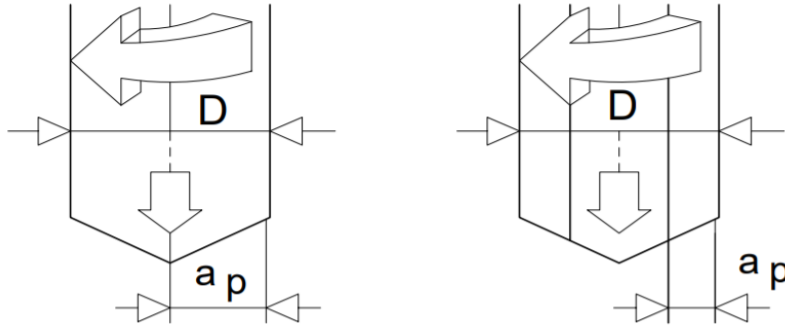


Şekil 2. 5 - Kesme Hızı (V_c), İlerleme Hızı (V_f), Devir Sayısı (n) ve Devir Başına İlerleme (f_n)

Delik delme işlem koşulları göz önüne alındığında radyal **kesme derinliği** (a_p) ve **kenar başına ilerleme** (f_z) ve **delik derinliği** (L) de önemli bir etkindir.

Kesme derinliği (a_p - mm), takımın temasta olduğu iş parçası kısmıdır ve yarıçap kullanılarak denklem (2.4.1.3) vasıtasıyla bulunur. Şekil 2.6 'da matkap uç için keme derinliği gösterilmektedir.

$$a_p = \frac{D-d}{2} \quad [\text{mm}] \quad (2.4.1.3)$$



Şekil 2. 6- Talaş Derinliği

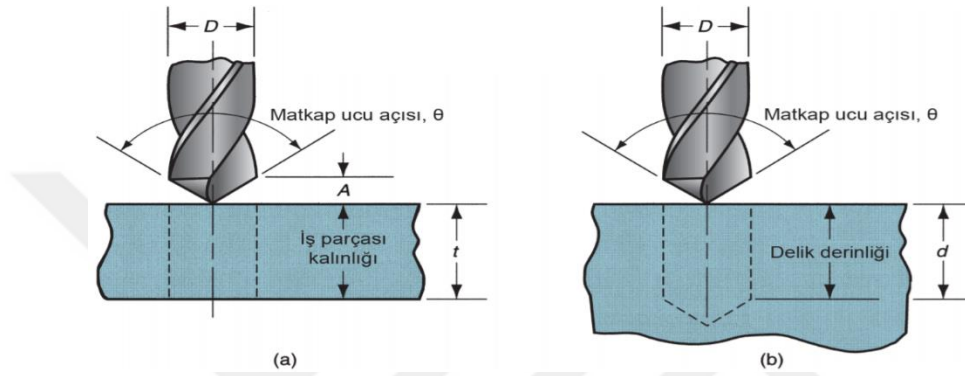
Takımda bir yüzeyden çok kesici yüzey bulunması (z kesici kenar-sayısı) talaş kesim alanının (A - mm^2) bulunmasında **kenar başına ilerleme** (f_z - mm/z) değerinden yararlanır. Kenar başına ilerleme değeri, denklem (2.4.1.4) hesaplanarak bulunmaktadır. Bu alan bir kenar yardımıyla sıyrılan malzemenin alanı olup, radyal kesme derinliği ile

kesici kenar başına ilerlemenin çarpımından yani denklem (2.4.1.5) kullanılarak elde edilir.

$$f_z = \frac{f}{z} \quad [\text{mm/kenar}] \quad (2.4.1.4)$$

$$A = a_p * f_z \quad [\text{mm}^2] \quad (2.4.1.5)$$

Şekil 2.7 'de boydan boya açılmış delik ve nispi açılmış delik formları gösterilmektedir.



Şekil 2. 7- a) Açık Delik, b) Kır Delik

İş parçası malzemesi, takım geometrisi, kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme sıvısının talaş oluşumu üzerinde farklı etkileri vardır. Çoğunlukla, arttırılan ilerleme ve azaltılan kesme hızı değerlerinde kısa talaş şekli elde edilir. Talaşlar güvenli bir yolla kesme bölgesinden uzaklaşabiliyorsa, oluşan talaş uzunluğu ve biçimin geçerliliği vardır. Kesme hızı çevreden eksene doğru azaldığı için kesme kenarı matkabin uç noktasında verimli bir şekilde çalışmayacaktır. Matkabin uç kısmı malzemeyi kesmek yerine malzemeye kuvvet iletir ve basınç oluşur, sürtünme artar kesme açısının negatif ve kesme hızının düşük olduğu bölgede plastik deformasyon süreci başlar. Tezgah, açılması istenilen deliğin büyüklüğüne ve tatbik edilen ilerleme kuvvetine göre güçsüz kalırsa, tezgahın ana mili eksenden ayrılır veya tam simetrik olmayan oval delik oluşabilir.

2.5 Delik Delmede Kullanılan Kesici Takımlar (Matkap Uçlar)

Delme süreçlerinde kullanılan kesici takımlara yaygın şekilde matkap uç denir. Matkap uçlar, talaşlı imalat yöntemlerinde sıklıkla kullanılan kesici takımlardır. Kesici takımlar, bir takım tezgahına tutturulan endüstriyel bir mamule şekil veren kesicilerdir. Bu şekil verme işlemi çoğunlukla malzemeden talaş koparma yoluyla oluşmaktadır.

2.5.1 Matkap Uçları

Talaşlı üretim takımları bünyesinde özel bir bölüme ait olan matkap uçları, nicelik bakımından fazla oranda üretimi olan malzemelerdir. Sanayide değişik uygulamalar için farklı kesici takım malzemelerinden faydalanılmıştır. Havacılık ve nükleer programlar yardımıyla 20. yüzyılda bir sürü gelişme olmuş ve bu programlarda kullanılan malzemelerin çeşitliliğini sağlamak için değişik kesme malzemeleri yapılmıştır.

Birbirinden ayrı mekanizma ve parçaların üretimini karşılamak amacıyla kullanılan kesici takımın, talaş oluşum anında beliren kuvvetleri karşılaması önemlidir. Talaşlı imalat sürecince ortaya çıkan güç ve sıcaklık, takımlar için zor koşulları ortaya koymaktadır.

Kesici takımlar, niteliği yüksek ve maliyeti düşük parçalar imal etmek için çeşitli mekanik özelliklere ihtiyaç duymaktadır. Çatlama kırılması, sürünme ve aşınma sonucu takımlar ilerleyen sürelerde hasarlı konuma gelebilirler. Bu gibi problemlerin oluşmaması için kesici takım malzemesinin aşağıda ifade edilen hususlara gereksinimi vardır.

- Sertlik ve basınç mukavemeti,
- Eğilme mukavemeti,
- Kenar mukavemeti,
- Oksitlenmeye karşı hassasiyet,
- Difüzyon yayılma meylinin az olması,
- Sürtünmeye karşı dirençli olması.

Bu gibi mukavemet özelliklerinden başka uçların tokluğunun, sıcak sertliğinin ve aşınma diren yüksek önem arz etmektedir. Farklı kesici takım malzemelerinin sertlik ve kopma dayanım değerleri aşağıda gösterilen Tablo 2.4 'de mevcuttur.

Tablo 2. 4 - Çeşitli Kesici Takım Malzemelerinin Sertlik ve Kopma Dayanım Değerleri

Malzeme Cinsi	Sertlik Değeri	Enine Kopma Dayanımı (MPa)
Yalın Karbon Çeliği	60 HRC	5200
Yüksek Hız Çeliği	65 HRC	4100
Alüminyum Oksit	2100 HK	400
Kubik Bor Nitrür	5000 HK	700
Doğal Elmas	8000 HK	1500
Düşük Co içerikli Sinterlenmiş Karbür	1800 HK	1400
Yüksek Co içerikli Sinterlenmiş Karbür	1700 HK	2400

En elverişli takım malzemesi ve geometrisini işlenecek parçaya uygun belirlemek, kusursuz ve performanslı bir işleme süreci için gereklidir. Ticari olarak mevcut takım malzemelerinin çeşitli uygulamalardaki verimliliği; takım ömrüne, talaş kaldırma miktarına, yüzey duyarlılığına ve takım maliyeti ile ilişkili olarak değişkenlik gösterir. Takım tezgahlarının (CNC) en önemli yeteneklerinden birisi de yüksek talaş kaldırma değerlerine sahip olmalarıdır. Bunun için takım tutucuların, takım bağlama tertibatların, kesici uçların kıymeti oldukça önemlidir. Mandrenler, matkap tezgahında devir ile dönme hareketini gerçekleştiren mile tespit edilmiş matkap ucunun sabitlenmesine yardımcı olan aparatır. Helisel saplı matkap uçlar mandren aracılığıyla tezgah miline sabitlenirken, konik saplı matkap uçlar için mors kovanları kullanılmaktadır. Şekil 2.8 ‘de mandren ve mors kovanı şekilleri gösterilmektedir.



Şekil 2. 8 - a) Mandren



b) Mors Kovanları

2.5.2 Matkap Uç Malzeme Çeşitleri

Kesici takımlar için kullanılan malzemeler; yüksek hız çelikleri, karbürler, seramik veya oksitler, kübik bor nitrür ve elmas takımlar olarak adlandırılabilir. Genel şekilde kullanılan matkap uç malzemeleri çoğunlukla, yüksek hız çelikleri, kobalt alaşımlı yüksek hız çelikleri ve karbürlerdir. Delik başına takım maliyeti göz önüne alındığında verimlilik ve delik kalitesi bakımından karbür matkap uçların diğer matkap uç seçeneklerine nazaran sanayide daha çok kullanılmaktadır. Kesici takımlardan istenen mekanik olmayan özellikler;

- Uzun takım ömrüne sahip olması,
- Talep edilen işleme kalitesini ve toleransını sağlaması,
- Parça başı takım maliyetinin makul olması,
- Kolay tedarik edilebilir olmasıdır.

Yüksek Hız Çelikleri (Seri çelik, HSS), takım çelikleri arasında en yüksek alaşım oranına sahip olup, sertliğini, mukavemetini ve kesme kenar şeklini işlem esnasında muhafaza edebilir. Makul seçilen yöntem ve tertibatla, az kusur veya çatlama riski ile bütünü sertleştirilebilirler. HSS takımlar farklı yapılara sahip olup, delme, raybalama, frezeleme, broşlama ve diş açma metotlarında oldukça geniş bir şekilde tercih edilmektedir. Alaşım oranı fazla olan asal çelikler olup, 600° C sıcaklığa kadar sert yapılarını koruyabilirler. Üretimde, 30 -50 m/dak kesme hızlarında kullanıma uygun kesici uçlardır. Yüksek hız takım çelikleri T ve M olmak üzere iki kategoriden oluşmaktadır. İlk alaşım elementi olan tungsten ve molibdenin yüzdelik oranına göre belirlenir. T serisi, tungsten ve farklı alaşım elementi olarak vanadyum ve kromla birlikte kobalttan meydana gelirken, M serisi, molibden elementi ile başka alaşım elementlerinden olan kobalt, krom ve vanadyum bulunmaktadır. Genel itibariyle, M serisi, T serisinden daha yüksek çizilme aşınma dayanımı sağlamakla birlikte maliyeti ucuz ve tavlama esnasında daha az hasar oluşturmaktadır. Şekil 2.9 ‘da taşlanmış bir HSS matkap uç gösterilmektedir.

M ve T türünü ilgilendirmeden, yüksek hız takım çelikleri kendi içlerinde belirli özellikler açısından yüksek benzerliklere sahiptirler. Bunlar şu şekildedir:

- Hepsi alaşım oranına sahip,
- Çoğunlukla 64 Rc sertliğe izin verilmesi için yeterli miktarda ‘C’ ihtiva edebilir,
- Hepsi yüksek sıcaklıklar aralığında sertleştirilebilir,
- Merkezden yüzeye düzgün ve değişmeyen dayanıma sahiptir.



Şekil 2. 9 - Taşlanmış ø10 – ø 12 – ø14 mm Çaplarındaki HSS Matkap Uçlar

Yüksek hız çeliklerin, alaşım element cinsine ve oranına göre farklı kabiliyetleri sunmaktadır. Bu alaşım elementlerinin eklenmesi sonucu yüksek hız çeliklerinin toklukları, sertlikleri, sürünme ve aşınma dirençleri yükseltilir. Aşağıdaki Tablo 2.5 'de alaşım element oranları ve bu elementlerinin yüksek hız çeliklerine sağladıkları mekanik avantajları belirtmektedir.

Tablo 2. 5 - Yüksek Hız Çeliğinde Bulunan Alaşım Elementlerinin Görevleri ve Oranları

Alaşım Elementi	HSS İçindeki Ağırlık Olarak Yüzdesi	Yüksek Hız Çeliğine Kattıkları Özellikler
Tungsten	T - tipi HSS: 12-20	Sıcak sertliği artırır.
	M - tipi HSS: 1,5-6	HSS içinde sert karbür oluşturarak kazıma direncini artırır.
Molibden	T - tipi HSS: yok	Sıcak sertliği yükseltir.
	M - tipi HSS: 5-10	HSS içinde sert karbür oluşturmasıyla kazıma direncini geliştirir.
Krom	0,25-4,5	Isıl işlem sırasında derinlemesine sertleşme sağlar.
Vanadyum	1-5	Sıcak sertlik ve aşınma direnci sağlar.
Kobalt	5-12	Sıcak sertliği artırır.
Karbon	0,75-1,5	Aşınma direncini arttırmak için gerekli bileşimi oluşturur.

Alaşımalar yaygın şekilde; karbon, demir elementiyile bileşerek bir karbür meydana getirir ve bu yapı sertleşme eğilimini ortaya koyar. Neticede sertleşmiş, dayanımlı ve aşınma direncinde yükselme oluşmaktadır. Aşınma direnci ve malzeme tokluğunu, ilave edilen krom elementi oranı ile belirlenebilir; muhteviyat yüzdesi 0,25 ila 4,5 arasında değişmektedir. Eklenecek kobalt elementi sayesinde yüksek hız çeliklerin sıcak sertlik direnci arttırılabilir. Bu yapılan uygulamalarla kesiciler yüksek kesme hızlarında sertlik ve kesici kesme kenar yapısını işlem esnasında muhafaza edebilir; içerik oranı yüzde 5 ila 12 arasında eklenebilir. Molibden etkili karbür yapıcı element olup mukavemet, aşınma direnci ve sıcak sertliği iyileştirmektedir. Çoğu zaman diğer bileşik yapıcı elementlerle birlikte yüzde 10 'a kadar katarak kullanılır. Bir alaşım elementi olan Tungsten, yüzde 1,25 ila 20 arasında eklenerek sıcak sertlik ve mukavemeti artışında katkıda bulunur. Yüzde 1 ila 5 arasında ilave edilecek olan Vanadyum, yüksek hız çeliklerinde sıcak sertliğin ve aşınma direncinin artmasını destekler.

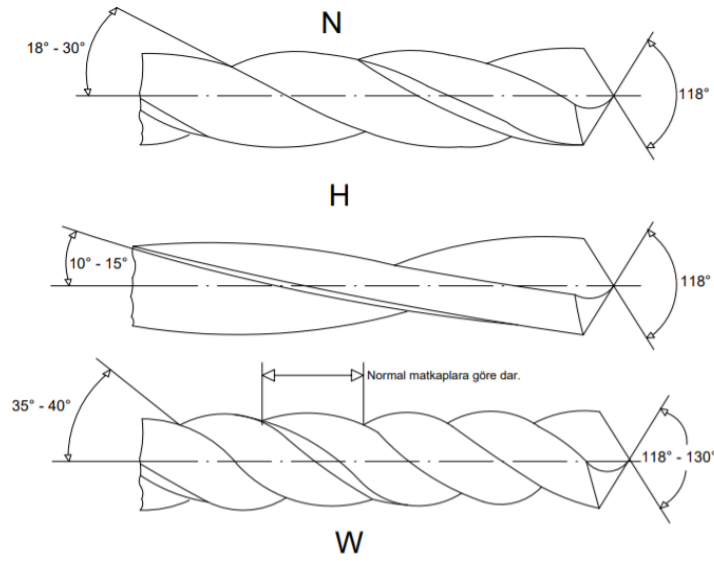
Sert Maden Uçlu Kesiciler (Karbürler), sıcaklığa oldukça dayanıklı malzeme olup sert karbür zerrecikleri ve yapısı sünek olan metaller ile bileşik yapılarak imal edilir. Toz metalürjisi yöntemi ile ince tungsten karbür tozlarla yeterli oranda demir, nikel veya kobalt tozları eklenerek sıkıştırılır. Sıkıştırılan bileşik ortalama 1300 °C 'de sinterlenir. WC + Co esaslı karbür takım malzemeler, çeşitli yapıda iş parçası ve değişik işleme usulleri için farklı karbürler geliştirilmiştir. Bu tip malzemeler 'sinterlenmiş karbür' olarak da bilinir. Oldukça güçlü aşınma direnci sergilemelerinden ötürü 40 m/dak 'dan 350 m/dak 'ya kadar kesme hızlarında sertliğini ve kesici özelliğini koruyarak kullanılabilir. Sinterlenmiş karbürlerin iki tipi geniş çapta tercih edilmektedir.

1. Tungsten karbür + kobalt alaşımlı düz karbür uçlar (WC+Co),
2. Tungsten karbür + kobalt + titanyum karbür + tantalyum karbürü uçlar (WC+Co+TiC+TaC).

Karbür takımları güçlü malzeme yapan karakteristikler; büyük bir sıcaklık aralığında sertliklerini korumaları, yüksek elastisite modülü yaklaşık çeliğin 2 ila 3 katı, fazla gerilmelerde plastik akışın oluşmaması, düşük ısı genleşme ve yüksek termal iletkenliktir. HSS matkap takımlara kıyasla kaplanabilme yeteneği oldukça yüksektir. Sinterlenmiş karbürlerin sınıflandırılması şu şekildedir:

- P serisi (mavi): Tungsten karbürü ve yüksek alaşımlı takım malzemesi olup, uzun talaş yapısı oluşturan malzemelerin işlenmesinde tercih edilir.
- M serisi (sarı): Alaşımlı tungsten karbürü takım olup, titanyum niceliği P serisinden daha azdır. Çelikler ve dökme demirlerin imalinde kullanılır.
- K serisi (kırmızı): Takım yapısında tungsten karbür kobalt alaşımı olup, dökme demir, demir olmayan metaller ve metal olmayan malzemelerin işlenmesinde kullanılır.

Kesme açısı formuna göre N, H, W ile belirtilen üç farklı matkap uç tipi Şekil 2.10 'da gösterilmektedir. Bunlar; N biçimindeki uç, çelik ve dökme demir malzemelerde, H biçimindeki uç, pirinç alaşımları gibi sert ve W biçimindeki uç, alüminyum alaşımları gibi yumuşak malzemelerin işlenmesinde kullanılabilen tiplerdir.

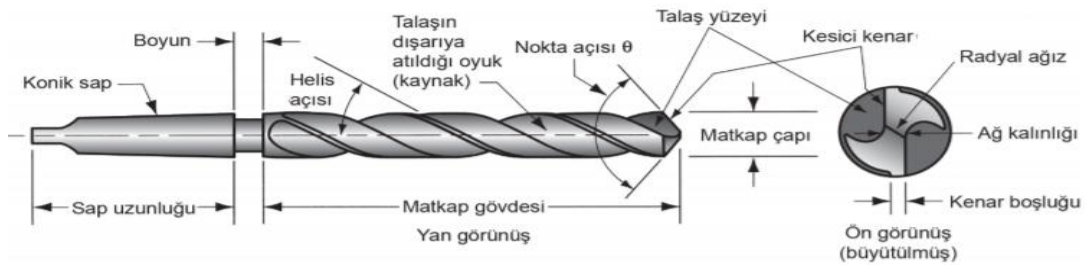


Şekil 2. 10 - Kesme Açısı Formuna Göre Matkap Uç Biçimleri

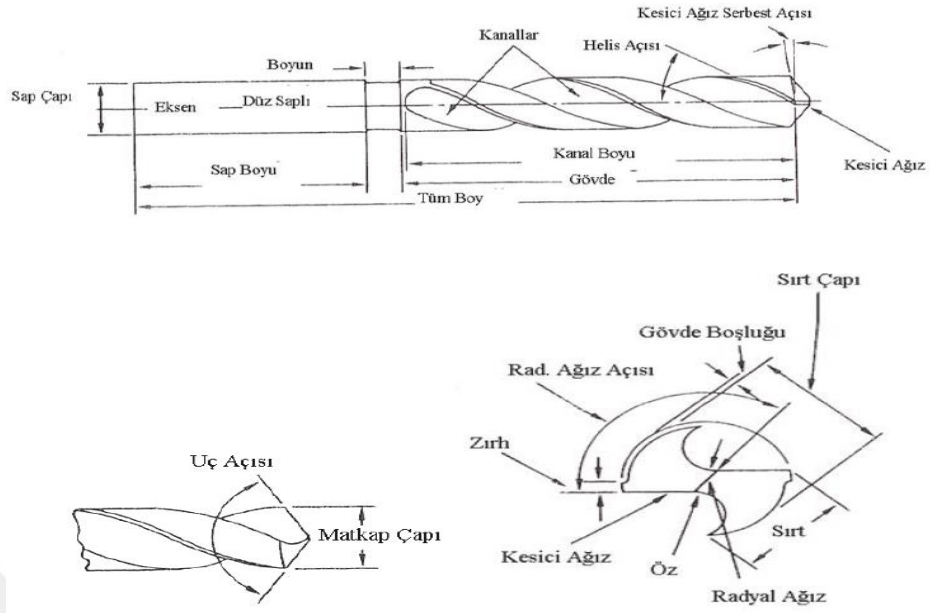
2.6 Spiral Matkaplar

2.6.1 Spiral Matkap Uç Biçimi

Matkap uçlar arasında, sanayide en çok talep edilen ve kullanılanlar spiral biçime sahiptir. Helisel matkaplar sap şekillerine göre silindirik veya konik olarak üretilirler. Deney çalışması esnasında kullanılan uçlar genel amaca uygun helisel veya silindirik saplı matkap uçlardır. 16 mm çap değerine kadar olanlar silindirik saplı, 16 mm ‘den büyük olan uçlar konik saplı olarak imal edilmektedir. Bilinen helisel matkap uçlar, iki kesici ağza ve iki radyal ağızdan meydana gelir. Spiral silindirik ve konik saplı matkap uç formu Şekil 2.11 ve Şekil 2.12 ‘de bölümleriyle gösterilmektedir.



Şekil 2. 11 - Helisel Matkap Uç Geometrisi – Konik Saplı [1]



Şekil 2. 12 - Helisel Matkap Uç Geometrisi – Silindirik Saplı [1]

Helisel – spiral matkap uçlar 2, 3 ve 4 yivli olarak üretilmektedir. 2 yivli (klasik helisel matkap uç) olan matkap uçlar düz delme yönteminde kullanılırken, 3 veya daha fazla yive sahip olan helisel matkaplar delik çapını arttırma usullerinde uygulanmaktadır.

Geometrik olarak matkap uçlar, matkap gövdesi ve saptan oluşur. Matkap gövdesi matkabın talaş oluşturan, sap bölgesiyse matkap düzeneğini sabitleyen ve çalıştıran bölümleridir. Matkap uç gövdesi, kanal kısmı ve uç geometrik kısım olarak ikiye bölünebilir [57]. Tipik bir helisel matkap ucun kısımları şu şekildedir:

Matkap eksen: Matkap uzunluğunca merkezden geçen ve var olduğu düşünülen doğru çizgisidir.

Gövde Kısmı: Matkabın kesici kenar dış köşesinden boyun veya sap bölümüne kadar olan helisel yivlerinin bulunduğu kısımdır.

Sap Kısmı: Konik veya düz olup boyun bölümünden sonra gelen matkabın tezgaha tespit edilmesine yarayan kısımdır.

Helisel kanallar: Gövde çevresinde helisel şekilde açılmış kanallardır. Kanallar, delme esnasında oluşan talaşların dışarı atılmasını ve soğutma sıvısının matkap ucuna iletilmesini sağlarlar.

Kanal boyu: Kesici ağızların en uç noktası ile talaş kanalının bitiş noktası arasındaki mesafe olarak belirtilir.

Radyal ağız: Kesme kenarlarını birleştiren öz bölümün en uç kısmıdır.

Radyal ağız açısı: Matkabin uç bölümü esas alınarak incelendiğinde, kesici kenar ile radyal ağız arasındaki açıdır.

Matkap çapı: Matkabin uç bölümünden ölçülen iki zırh arasındaki boyuttur.

Matkap uç yüzeyi: Kesici ağzın arkasında kalan yüzeydir.

Matkap kesici ağızları: Matkabin kesme kenarlarını oluşturarak, esas kesme olayını gerçekleştiren kısımdır.

Matkap zırhı: Helisel kanallar uzunluğunca oluşturulmuş geniş olmayan yüzeydir.

Zırh, matkap uç ile iş parçası arasında temastan dolayı oluşan sürtünmeyi azaltır.

Ölü merkez: Matkap ucun bilenmesi ile oluşan iki kesici ağzın birleştiği konumdur.

Matkap özü: Serbest kesitleri birleştiren matkabin merkez bölgesidir.

Uç açısı: Helisel uçların kesme anında iş parçasına giriş yapmasını sağlayan açıdır.

Matkap uç açısı, delinecek malzemeye göre 118 ° ile 130 ° arasında farklı açılardadır.

Uç kenar açısı: İki serbest kesitin bilenme esnasında verilen boşluk açlarına ilişkili olarak ortaya çıkan açıdır. Ortalama 55 °'dir.

Boyun: Matkapta gövde ile sap arasında ilişkiyi destekleyen küçük çapa sahip kısımdır.

Sırt: İki talaş atma yolunun arasında olan matkap uç gövdesinin en dış kısmıdır.

Tüm boy: Kesici ağızların köşesi ile sap kısmın bitiş noktası arasında olan ölçüdür.

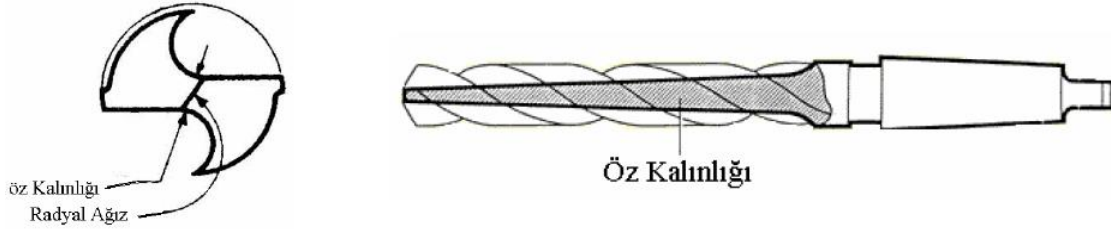
Boşluk açısı: Delme işlemi sırasında kesici ağızlarının sırt yüzeylerinin delinme yüzeyine temasını azaltmak için verilen açıdır.

Talaş kırıcı: Oluşan talaş boyutunu küçültmek için form verilmiş çentik veya yivdir.

2.6.2 Öz Kalınlığının Talaş Kaldırmaya Etkisi

Kesici takımlardan olan matkap uçların, işlem esnasında oluşan kuvvetleri karşılaması için ucun öz kalınlığı gövde kısmından sap kısmına doğru kalınlığı arttırılır. Çap değeri 20 mm ve bu değerden az olan uçlarda bu durum basitçe ayırt edilemeyebilir. Çap değeri yükseldikçe matkap uzunluğu kısalmış ve uç kısmı genişler. Bunun getirisi olarak matkap ucun iş parçasına girmesi oldukça güç olacaktır. Bu sıkıntıyı engellemek için matkap öz kalınlığının törpülenmesi gerekir, bu eylemde kullanılan taş sayesinde her iki kısımdan eşit oranda taşlanma yapılarak, merkez konumunu korumalı, öz kalınlık fazlasi şekilde inceltilmemelidir. Matkap uzunluğun az olması öz kalınlığın artmasına neden olur bu da kesme işleminde daha çok basınç gereksinimi oluşturur. Oluşan basınç kuvveti matkap

ucun daha fazla ısınmasını sağlayacak ve sonuçta oluşan yüksek sıcaklık takım ömrünü etkileyerek, daha kısa kullanım zamanı ortaya çıkacaktır. Bu yüzden matkap ucun kullanım süresinin fazla olması, öz kalınlığının inceltilmesine bağlıdır. Aşağıda bulunan Şekil 2.13 'de matkap öz kalınlık görünüşleri gösterilmektedir.



Şekil 2. 13 - Matkap Öz Kalınlığının Üst ve Yan Görünüşü

Konvansiyonel matkap uçlarda öz kalınlık için $(0,10-0,25) \times D$ bağıntısı vardır. Bu tip uçlar her amaca yönelik olup, dar olmayan talaş yollarına sahiptir. Bu yollar, talaş akışını rahatlatarak, talaş kaldırmayı basitleştirir.

2.6.3 Kesici Ağız Serbest Açının Etkileri

Delik delme sırasında ucun kesici ağız arka kısmının kesilme arakesatine temasını önlemek için olan açıdır. Boşluk açısı genel itibariyle $12^\circ - 15^\circ$ (derece) arasında belirlenir ve sadece sürtünmeyi engellemez, bu süreçte ucun kesmesini kolaylaştırır. Bu açı yeterli olarak tatbik edilmediğinde sürtünme artar, açı çok olursa da kesici ağız incelir. Boşluk açısı, delinecek malzemenin türüne, uç çapına ve kesici ağız uzunluğuna göre belirlenmelidir. Matkap çap değeri yükseldikçe serbest açı değeri düşer.

2.6.4 Helis Açısının Etkileri

Matkabın helis kanalını oluşturan açı olup, eksenel ve tork kuvvetlerini azaltır. Delme sırasında malzemeden kopan talaşlar bu kanal yolundan geçerek dışarı atıldığından bu açı talaş açısı olarak da bilinir. Matkap ucun talaş açısı (helis açısı) delinecek malzemenin türüne göre değişkenlik gösterir. Normal imalat çelikleri için $19^\circ - 40^\circ$ (derece), sert ve kırılğan malzemeler için $10^\circ - 19^\circ$ (derece) ve yumuşak malzemeler için $27^\circ - 45^\circ$ (derece) arasında uygunluk gösterir. Az verilen helis açısı kesici ağız direncini arttırırken, gerekli olan kesme kuvvetlerinin de artmasını sebep olur.

2.6.5 Uç Açısının Etkileri

Spiral matkapların kesme sırasında malzemeye giriş yapmasını kolaylaştıran açıdır. Uç açısı talaş kaldırmada önemli bir etken olup, matkabın itme ve tork kuvvetini ayrıca kesici ağız boyuna ve oluşan talaş kalınlığına tesir etmektedir.

Geniş uç açılı olmayan matkap uçlarda (118° veya 120° 'den küçük açılı uçlar) çoğunlukla yumuşak malzemelerde tercih edilir ve uç açıları yaygın olarak 90° olur.

Tekdüze uçlu matkaplarda, uç açısı 118° veya 120° olup genel kullanım sahasında tercih edilirler.

Dar olmayan uç açılı matkapların, uç açıları 130° , 135° ve 140° değerlerine sahiptir. Bu tip takımlar sert malzemelerin işlenmesinde tercih edilirler.

2.6.6 Matkap Uç Kenar Açısı (Destekleyen Kesici Kenar Açısı)

Uç kenar açısı, iki serbest yüzey bilenme esnasında yapılan boşluk açıları sonucu ortaya çıkan kenarın matkap eksenine oluşturduğu açıdır. Matkap bilenirken uç kenarının en uygun ayara sahip biçimde yapılması önemlidir. Uygun olmayan bileme, matkabın uç kenarının düzgün kesme oluşturmamasına, kazıyarak matkabın malzemeye girmesini neden olur.

2.7 Kaplama Uygulamaları

Bir maddenin kendisi hariç başka bir alanla bağlantı halinde olan bölümü, ortamla olan çizgisi, yüzey olarak ifade edilir. Bir maddenin bulunduğu ortam ile temasta halinde olduğu bütün ilişkiler yüzey vasıtasıyla gerçekleşir. Materyal yüzeyinin tanımladığı bazı özellikler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Sürtünme ve aşınma hususiyeti,
- Korozyon davranışları,
- Yüzeyle alakalı mekanik özellikleri,
- Dış görünüş ve yüzey renkleri,
- Optik kabiliyet,
- Fotoelektrik özellikleri,
- Bitişik maddeye difüzyon özellikleri,
- Yapışma özellikleri,

- Elektronik temas özellikleri,
- Termal elektron yayma özellikleri.

Bu özellikler bakımından malzemenin tutumu gerçekte yüzeyinin tutumu aracılığıyla tarif edilir. Bu tür özelliklerin istendiği malzemelerde, malzemenin bütünün kalitesini arttırmak yerine başlıca yüzeyinin kalitesini arttırmak yetkin olabilmektedir. Örnek olarak, malzemeyi korozyona karşı engellemek için metal malzemelerin boyanması verilebilir.

Kaplama bir malzeme yüzeyine farklı özellikli bir malzemenin katıştırılma veya çöktürülmesi yöntemidir.

Malzemelere uygulana kaplama işlemi, özellikle metal sektörünün son derece önemli bir faktördür. Kaplama sonrası elde edilen malzemelerin oldukça yüksek mukavemet ve direnç elde edilmesiyle, yapılan kaplamanın temel odağının neyi hedeflediğini göstermektedir. Kaplamanın yapılmasının başlıca nedenleri:

- Malzemenin niteliğini ve uygulama ömrünü arttırmak,
- Çalışma alanında varolan korozif maddelerin olumsuz tesirlerini azaltmak,
- Mekanik kabiliyetleri yükseltmek (mukavemet, sertlik, aşınma direnci).

Yüzey kaplama işleminde farklı metotlar bulunmaktadır. Bunlardan fiziksel buhar biriktirme (PVD) ve kimyasal buhar biriktirme (CVD), kesici takımları kaplamak için oldukça fazla tercih edilen ve verimliliğin oluşmasına neden olan metotlardır.

2.7.1 Kimyasal Buhar Biriktirme Yöntemi (CVD)

CVD metodunda gaz haline getirilmiş kimyasalın, katı halde tepkime ürünü olarak çöktürülmesi işlemidir. Kimyasal ısıtma, iletme ve kullanılması yöntemlerinde yüzey katmanının meydana gelmesinde metal ya da metal olmayan atomlar malzeme üzerine penetre ettirilirken, CVD metodunda sadece katman limit yüzeyinde bir difüzyon gerçekleştirir. Sert madde kaplamalarda kullanılan katman malzemeleri; çelikler, sert metal, seramik malzemeler ve demir olmayan metallerdir. Çöktürülen tabakanın kalınlığı çoğunlukla 10 μm – 30 μm arasında değişmektedir. Kaplamada oluşan sıcaklık, uygulanan kaplamanın cinsiyle ilişkili olarak 900 $^{\circ}\text{C}$ – 1100 $^{\circ}\text{C}$ arasında olmaktadır. Metot zamanı gerçekleştirilen katman kalınlığıyla ilgili olarak, 2 saat ile 4 saat arasında sürebilir.

Yapılan kaplamaların metal bilimi açısından alt katmanla bağ kurması icap etmektedir. TiC, TiN, Al₂O₃ veya çoklu kaplamalar, ekseriyetle CVD işlemi ile karbür takım uçları üzerine aktarılır. Belirlenen kaplamayı biriktirmek için esas olan kimyasal tepkime, alt katmana bitişik bir konumda yapılır. Kaplama, atomlar aracılığıyla yüzeyde bir araya getirilir ve bu şekilde kaplama ile alt katman arasında oldukça etkili bir yapışma bölgesi oluşur.

İnce film tabakası elde edilmesi bakımından CVD, PVD yönteminden daha kompleks bir işlemdir. CVD metodunda, ince tane yapılı kaplamaların oldukça yüksek biriktirme hızlarında uygulanmasına olanak sağlar.

2.7.2 Fiziksel Buhar Biriktirme Yöntemi (PVD)

Cnc tezgahların kullanılmasında ortaya çıkan sıkıntı, sert metal takımların ömrünü ne oranda tesir edeceği olmuştur. Kesme takımların ömrünü uzatmak, teknik eleman işleme zamanını en aza çekmek için yapılan incelemeler neticesinde takımlara TiN, TiC gibi sert tabakalar kaplanmıştır. Bulunan bu çıkış yolu sert metaller için yapılmasına rağmen termal işlem uygulanmış takım çeliklerinde olumlu etki göstermemiştir. CVD (Chemical Vapour Deposition) olarak bilinen metotla yapılan kaplama sadece 1000 °C -2000 °C arasında olabildiğinden, hassas işlenmiş, ısıtılmış takım çeliklerinde (yüksek hız çelikleri gibi), sertlikte düşüş ve boyutlarda sapmalara sebep olmuştur. PVD yöntemi 180 °C - 600 °C değişen sıcaklıklarda yapılmasıyla, ısıtılmış takım çeliklerinde kaplama sorununu ortadan kaldırmıştır.

PVD metodu, vakum koşullarında bulunan malzemenin buharlaştırılarak atomların yüzeyden ayrılması ve kaplanacak olan alt katman yüzeyine atomsal veya iyonik olarak biriktirilmesi temelinde olmaktadır. PVD metotları;

- Manyetik Sıçratma Katot Ark PVD,
- Termal Buharlaştırma,
- İyon Kaplamadır.

PVD kaplamanın özellikleri şu şekildedir:

- Isıtılmış takım çeliklerinin 180 °C – 600 °C arasında kaplanabilmesi ve malzemede sertlik düşüşünün oluşmaması,

- Kaplanan tabakalarda büyük yapışma kuvvetlerinin oluşması ve yüzeyden pul pul dökülmemesi,
- Sıkı kristal tabaka bünyesinin olması,
- Kaplama kalınlığının çok ince (1 μm -5 μm) yapılması ve parça boyut hassasiyetini koruması,
- Karışık geometrik parçaların döner düzeneklerde homojen yapıda kaplanabilmesi,
- Köşelerin ve keskin uçların sivrililiğini kaybetmeden kaplanabilmesi,
- Takımların bileme işleminden sonra yeniden kaplanabilmesi,
- İstenildiğinde kaplamayı yüzeyden ayırarak bir daha kaplama yapılabilmesi,
- Çalışma halindeki yüzeylerde oluşabilecek malzeme sıvanmasının engellenmesidir.

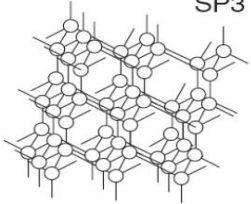
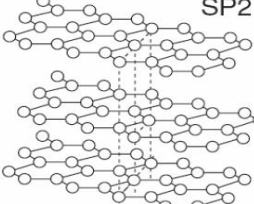
2.8 Kaplama Çeşitleri

2.8.1 DLC Kaplama

Elmas Benzeri Karbon (DLC) temel bileşeni karbon olan düzensiz (amorfl) ince bir katmandır. Yüksek sertlik kabiliyeti, güçlü tribolojik yapı ve fevkalade aşınma direnci sağlayan sert ince bir tabakadır.

Alüminyum malzemelerin işleme esnasında yapışma özelliği göstermesi, talaşlı imalatla sorun teşkil etmektedir. Elmas malzemeler, içyapı özelliklerinden dolayı anti yapışma yeteneği oldukça iyi olan malzeme tipleridir. Bundan dolayı, DLC kaplamalar alüminyum ve alaşımlarının işlenmesinde yapışma problemini engellediği için kullanılmaktadır.

DLC (elmas benzeri kaplamalar), çok kısa aralıklarla dizilmiş elmas (sp^3 tipi dörtyüzlü-tetrahedral bağlar ile belirlenmiş) ile grafit fazların (sp^2 tipi üç köşeli-trigonal bağlar ile belirlenmiş) birlikte bulunduğu düzensiz bir durumu belirtir ve Şekil 2. 12 ‘de gösterilmektedir. Bünyesinde bulunan elmas oranı yükseldikçe sertliği, grafit oranı yükseldikçe de katı yağlama özellikleri artmaktadır. DLC kaplama sisteminin performansı, kaplama etkenleriyle alakalıdır. Kaplama oluşumuna endeksli olarak sp^2/sp^3 oranı ve kimyasal bileşim belirlemektedir. Son zamanlarda, DLC kaplamaların karakteristiğini arttırmak amacıyla bu kaplamaların yapısına hidrojen, silisyum, azot ve Ti, Nb gibi farklı element atomları eklenmektedir [58]. Şekil 2.14 ‘de farklı malzemelerin kristal yapıları gösterilmektedir.

	Elmas	DLC (Elmas Benzeri Karbon)	Grafit
Kristal Yapı	SP3 	SP3 + SP2 	SP2 

Şekil 2. 14 - DLC, Elmas ve Grafitin Kristal Yapıları

Uygulamalar bakımından merak uyandırıcı mekanik yeteneklerinden başka oda sıcaklığında yarı-iletken olan DLC filmler mühim optik ve yüzey özellikleri de vardır. DLC filmler kimyasal ve ısıl açıdan oldukça stabil bir malzemedir. Fakat filmler 400 °C 'ye ve daha yüksek sıcaklıklara ısıtıldığında dikkate değer oranda hidrojen ve CH_x grubu zayıyatı oluşur.

Hidrojen içeren düzensiz karbon (a-C:H) filmler, polimerlerden kayda değer derecede daha konsantre ve sert olup, % 10-50 niceliğinde hidrojen barındıran karbon malzemelerdir. Bu malzemelerin sertlik seviyeleri en sert metallere kıyasla daha fazladır. Fakat hidrojen içermeyen DLC malzemelere göre sertlik seviyeleri daha azdır. Çünkü hidrojenin DLC bünyesine eklenmesiyle karbon ağının sertliği düşer ve sonuçta yoğunluk ve fiziki direnç hayli düşük seviyelerdedir. Karbon ağına hidrojenin ilavesiyle optik şerit aralığı ve elektriksel direnç özellikleri oldukça fazla etkilemektedir. Hidrojen içeren DLC filmlerin sürtünme katsayı ederi az olmasıyla genellikle tribolojik uygulamalarda tercih edilmektedir. Hidrojen takviyeli düzensiz karbon filmler kimyasal buhar biriktirme metoduyla metan veya asetilen gibi hidrokarbonların plazmada ayrıştırılması ile yapılabilirler.

DLC filmlerin güçlü mekanik özellikleriyle alakalı olarak sertlik ve elastisite modül seviyeleri çok fazla olabilir ve yapıdaki sp^3 oranı ile takip edilebilir. DLC filmlerin sertlik değerleri 10-40 GPa arasında olmasına rağmen, filmlerde bulunan ağ yapısından dolayı 0,5-7 GPa arasında değişen gerdirici bir iç gerilim meydana gelir. Bu oluşan fazla gerilim, hazırlanan DLC filmlerin kalınlıkları üzerinde bir limit oluşturması oldukça olumsuz bir etkiye neden olur.

Yüzey pürüzlülüğün hayli az olmasıyla DLC filmlerin önleyici kaplama tatbikindeki kullanımına son derece elverişlidir. DLC katmanların düz, düzgün ve pürüzlülüğü olmayan yüzeyleri mevcuttur [59].

DLC Film Kaplama Metodu; elmas gibisinden karbonlar yarı-stabil malzemeler olmasıyla elmas benzeri kabiliyetleri sağlamak için, film yüzeyinin çok enerjili iyonlarla kesintisiz bombardımana tabi tutarak çöktürülmesi koşulu önemlidir. DLC kaplama tipleri, PVD metodunda kullanılan materyal kalıbının yenilenmiş şeklini göstermektedir. Aynı PVD metodunda olduğu gibi DLC yönteminde de bir vakum altında, hazırlanan malzemeye iyon yığılmasıyla kaplama süreci yapılmaktadır. Şekil 2.15 'de DLC kaplamalı matkap uç ve Şekil 2.16 'da DLC kaplama özellikleri gösterilmektedir.



Şekil 2. 15 - Deneyde Kullanılan Farklı Çaplara Sahip DLC Kaplamalı Matkap Uçlar

	BALINIT® TRITON
Kaplama Malzemesi	DLC (a-C:H)
Mikrosertlik (HV 0,05)	2.500
Çeliğe Karşı Sürtünme Katsayısı (kurul)*	0,10 - 0,20
Kaplama Kalınlığı (µm)	
Kalıntı Gerilmesi (GPa)	-
Maksimum Çalışma Sıcaklığı (°C)	350
Kaplama Sıcaklığı (°C)	< 260
Kaplama Rengi	siyah
Kaplama Yapısı	Tek Katmanlı
	Çok iyi yapışma önleme özellikleri, düşük sürtünme katsayısı, iyi aşınma dayanımı

Uygulamaya
bağlı

Şekil 2. 16 - Balinit Triton Kaplama Özellikleri [60]

2.8.2 TiN Kaplama

Yüksek sertlik, düşük sürtünme katsayısı ve oksidasyon dayanımı olan TiN kaplama, bütün tip kesici takım ve sert metal uçların yüzeyine 1(µm) – 3(µm) kalınlığa sahip ve her tür kullanıma uygun olan bir kaplamadır.

Aşınma olayını engellemek için uygulanan PVD kaplamalar arasında en kapsamlı yapılan kaplamaların ilki olan TiN kaplamanın üstünlükleri ve özellikleri şu şekilde sıralanabilir;

- Yüksek sertliği (2800 HV – 3200 HV) ve düşük termal iletimi sayesinde talaş parçaların takıma ısı iletimini önleyerek takımın aşırı ısınması sonucu yumuşamasını engeller.
- Kimyasal kararlılığı fazla olması neticesinde iş parçasına yapışma eğilimi göstermez, kaygan yapısı artar.
- Kimyasal tepkimelere girmediğinden iş parçasının çalışma yüzeyi uzun zaman dilimi içinde hareketli olur.
- Kalınlığı 1(µm) – 3(µm) arasında uygulanmasından dolayı takım ölçü hassasiyetini etkilemez.
- Kaplama malzeme yüzeyine kuvvetli yapıştığından dolayı kesici kenarlarda kaplama ayrışması görülmez.

Şekil 2.17 ‘de TiN kaplamalı HSS matkap uç gösterilmektedir.



Şekil 2. 17 - Deneyde Kullanılan Farklı Çaplara Sahip TiN Kaplamalı HSS Matkap Uçlar

2.8.3 TiAlN Kaplama

TiAlN kaplama, 900 °C sıcaklığa ulaştığında bile elektronların bir atom ya da molekülden ayrılması olayı gözlenmez. Yüksek sertlikleri ve çok katlı (7 kat – 9 kat) yapıda olmasıyla tokluk ve aşınma direncini aynı anda barındıran bir kaplama türüdür. Hususiyetle yüksek sıcaklıklarda kullanılan takımlar için oldukça uygundur. Yüksek kesme sıcaklığında, iyi ısıl geçirgenliği ve kimyasal tepkimeye girmemesi ile kesici uçta meydana gelen fazla ısıyı talaş parçalarına iletir. Bundan dolayı daha çok kesme hızlarında çalışmayı sağlayarak daha çabuk imalat, daha az bakım, daha az bileme yapılarak imalatın daha performanslı olmasını destekler. Sürekli talaş ayıran takımlarda yeterli verimlilik elde edilir ve takım ömrünün artmasına yardımcı olur. Şekil 2.18 ‘de TiAlN kaplamalı KARBÜR matkap uç gösterilmektedir.

Matkap uçlarına dayanım arttırmak için uygulanan çeşitli kaplama tiplerinin sahip olduğu kimyasal ve fiziksel özellikler, Tablo 2.6 ‘da belirtilmektedir.



Şekil 2. 18 - Deneyde Kullanılan Farklı Çaplara Sahip TiAlN Kaplamalı Karbür Matkap Uçlar

Tablo 2. 6 - Bazı Kaplama Türlerinin Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri

Kaplama Türü	Kaplama Kalınlığı (µm)	Micro Sertlik (HV 0.05)	Sürtünme Katsayısı	Çalışma Sıcaklığı (°C)	Kaplama Rengi
TiN	2 - 4	2800-3200	0,55	450	Altın Sarısı
TiAlN	2 - 5	3200-3600	0,42	900	Siyah, Füme
TiCN	2 - 4	2800	0,15-0,30	300	Mavi, Gri
CrN	4 - 6	2300	0,55	700	Gümüş grisi
DLC	1 - 3	2000-2800	0,1	300	Siyah

2.9 Kesme Sıvısı ve Minimum Miktarda Yağlama

2.9.1 Kesme Sıvılarının Özellikleri ve Sınıflandırılması

Talaşlı üretim yöntemlerinde verimlilik artışı sağlamak amacıyla yüksek kesme hızı ve ilerleme oranlarının kullanılmasıyla kesme kalitesinin yükseltilmesi, kesme sıvılarının uygulamadaki gereksinimini artırmıştır. Son zamanlarda talebi gitgide fazlalaşan kesme sıvılarının uygulama verimliliğine pozitif olarak destek vermesine rağmen bütün işlem maliyetini arttırmaktadır [61]. Kuru şartlar altında yapılan uygulamalarda, kesme sıvılarının bedelini azaltma ve çevreci nitelikte olma yolunda önemli bir işleyişe sahiptir. Kuru koşullar altında, talaş parçalarının geri dönüşüm maksadıyla depolanması oldukça basittir, lakin yüzey pürüzlülüğü ve takımın olması muhtemel aşınmaya benzer etkenlerle alakalı olarak olumsuzlukları bulunmaktadır [62].

İşleme anında oluşabilecek sorunların çözüm yolunda, kesme sıvısının tatbik edilmesi oldukça önemlidir. Talaşlı üretimde kesme sıvısı uygulamaları, ister yağlama şekli ile kesici takım-talaş ara bölmesinde oluşan sürtünmeyi düşürmesi, isterse de kesme alanında ortaya çıkan ısının azaltılmasında kuvvetli bir yardımda bulunmaktadır [63]. Elde edilen talaşın kesme ortamından atılmasını da destekler. Metal kesme işlemlerinde uygulanan kesme sıvısı, talaş akış ve takım verimliliğinin, ekseriyetle takım ömründe artış ve talaş kaldırma imalatının iyileştirilmesi amacıyla oldukça değerli bir tesir oluşturmaktadır [64, 65]. İşleme sıvıları soğutucu ve yağlayıcı olarak iki grupta belirtilir. Soğutucu tarafı iyi bir ısı transfer yeteneği, yağlayıcı tarafı da iyi bir ıslatıcı yeteneği vardır. Bunların dışında, kesme sıvılarının birçok fonksiyonunu şu şekilde belirtmek olasıdır:

- Oluşan talaşın şekli üzerinde etkili olmak ve uzaklaştırmak,
- Talaş takıma sıvanması ve yığıntı kenar (BUE) oluşumunu kontrol altına almak,
- Fazla güç harcanmasının önüne geçmek,
- Korozyonu önlemek,
- Takım ömrünü arttırmak ve performansını yükseltmek,
- Zehirli ve yanıcı etkisi olmayan tehlikesiz bir çalışma alanı sağlamaktır.

Eklenen bazı katkı maddeleriyle kesme sıvılarının fonksiyonları daha etkili durum oluşturabilecek tipte güçlendirilebilir. Kesme sıvılarına işleme koşullarına bağlı olarak elverişli ek maddeler eklenmelidir. Örnek olarak, düşük kesme hızlarında yağlama etkisi,

yüksek kesme hızlarında soğutma etkisini arttıracak ilavelerin yapılması elverişli olacaktır.

Soğutma sıvıları, genellikle olarak madenî yağlar, hayvansal ve bitkisel yağlar ya da bunlardan elde edilen asitleri, sabunlar, sentetik deterjanlar, aktif ya da nötr katı dolgu maddeleri, farklı cinsten ve hedefe yönelik uygulamalar için kullanılan kimyasal katıklar, mumlar, reçineler ve su gibi birçok maddeyi bünyesinde bulundurlurlar.

Günümüzde farklı soğutma gayesini oluşturmak için uygulanan soğutma sıvılarını iki ana grupta belirtmek olasıdır. Bunlar:

- Su eklenmeden uygulanan, su ilavesiz soğutma sıvıları,
- Su ile karıştırılarak uygulanan soğutma sıvılarıdır.

Su ile eklenmeden uygulanan soğutma sıvıları, suyun tezgah yağını olumsuz etkilemesi ve korozyon olayının dezavantajından dolayı tercih edilebilir. Kaliteli belirlenmiş bir su ilavesiz soğutma sıvısı, tezgahın yağlanması için bir de talaşlı üretim anında ortaya çıkan ısıyı azaltılmasına yardımcı olur fakat su katkılı kesme sıvılarına kıyasla soğutma yeteneği iyi değildir. Su ilavesiz soğutma sıvılarının yapımında iki ana grupta ifade edilen yağlar mevcuttur. Bir tanesi petrolden sağlanan madenî yağlar, diğeryse bitki ve hayvanlardan sağlanan yağlardır. Hedeflenen amaçlar ışığında bu tip yağlara, su dışında farklı katkı maddeleri eklenerek farklı etkilere sahip sıvılar elde edilir. Su eklenmeden elde edilen katkısız kesme yağları şu şekilde ana gruplara ayrılabilir:

- Saf madenî yağlar,
- Saf organik yağlar,
- Organik ve madenî yağ bileşimleri,
- EP (ağır basınç) yağları,
- Çok amaçlı yağlar.

Su eklenerek uygulanan soğutma sıvılarında, sıvı olarak kullanılacak maliyet açısından en ekonomik olanı sudur. Masrafsız olması bakımından su dışında farklı bir madde yoktur. Fakat su kullanılması durumunda korozyon etkisinden dolayı bir olumsuzluk oluşmaktadır. Talaşlı üretimde, soğutma sıvısından beklenen özellik hem soğutma, hem de yağlama fonksiyonunu gerçekleştirmesi istendiğinden, suyun korozyon oluşturma işlevini engelleyecek maddeler seçilerek soğutma sıvıları kullanıma hazırlanır. Bundan dolayı su bünyesine eklenebilen likitlerden destek alınır.

Soğutma sıvısı kullanımları yükselen kategoride su ile homojen olarak karışabilen kimyasal maddeler bulunmaktadır. Sulu çözeltiler olarak da bilinen kimyasal maddeler, paslanmaya karşı güçlendirilmiş ve yoğun yapıdadır. Bunlardan birkaçı şu şekildedir:

- Sodyum nitrat,
- Sodyum borat gibi inorganik tuzlar,
- Suda çözülebilen deterjanlar,
- Aminler,
- Polyglikol,
- Potasyum karbonat,
- Boraks,
- Sodadır.

Sentetik, yarı sentetik veya mineral esaslı ilaveler suda çözülerek, soğutma sıvısı formunu elde edilir. Bu tarz soğutma sıvılarının elverişli bir yağlayıcı işlevi yoktur. Kötü tatbik edilen yağlama, kesici takımın kullanım ömrünü olumsuz etkiler. İşlem sonucu ortaya çıkan yüzey kalitesini kötüleştirir, pürüzlülük artar. Yağlama işlevselliğinin yeterli olmamasının eksikliğini önemli oranda soğutma imkanı oluşturmasıyla giderilir.

Emülsiyonlar; birbirini içinde çözülmeyen bu tip kimyasallar % 60 ‘dan daha fazla mineral yağ ihtiva eder. Emülsiyon, yağın emülsiyon oluşturan araçlarla ve başka ilavelerle aynı anda suda karıştırılmasıyla yağ zerreciklerinin su yapısında askıda tutulmasıyla elde edilen bir karışım malzemesidir. Hayvansal ve bitkisel esaslı yağların veya esterlerin eklenmesi emülsiyonların yağlama yapıcı fonksiyonunu yükseltir. Bor yağı, su yapısında erime yapmaz. Suyun bünyesinde küçük damlacıklar şeklinde durur. Bundan dolayı, epeyce soğutma işlevi ve yeterli yağlama işlevi ortaya koyar. Su içinde serpilmiş olarak bulunan yağ damlacıkları yüzeylere tutunarak yağlamaya vesile olur ve paslanma oluşumunun önüne geçer. Tablo 2.7 ‘de belirtilen farklı metal işleme sıvılarının, şekillendirilecek malzeme cinsine göre işleme zorluğunu belirtmektedir.

Tablo 2. 7 - Malzemeye Göre Kesme Sıvısı Seçimi

Ürün Cinsi	Metal Cinsi	İşleme Zorluğu
Metal İşleme Yağı	Titanyum Alaşımları Nikel Paslanmaz Çelik Takım Çeliği	 Zor Kolay
Metal İşleme Yağı veya Emülsiyon Yapan Metal İşleme Sıvısı	Yüksek Alaşımlı Çelik Yüksek Karbonlu Çelik Dövme Demir	
Emülsiyon Yapan Metal İşleme Sıvıları	Yumuşak Çelik Alüminyum ve Alaşımları Kır ve Temper Döküm Yüksek Dirençli Bronz Bakır Alaşımları Çinko Bazlı Alaşımlar Pirinç	
Metal İşleme Yağı	Magnezyum Alaşımları	

Deney çalışmasında kullanılan 7075 – T651 alüminyum alaşımının CNC tezgahta delme işlemi anında, birbirinden farklı malzemelerin işleme ve taşlama yöntemleri için etkinliği arttırılmış biostabil, neo-sentetik, evrensel yeni nesil metal işleme sıvısı olan sentra 250 H kullanılmıştır. İçinde ki yüksek performans ilaveleri iyi kesme fonksiyonu sağlar. Hafif ve orta ağırlıktaki işleme ve taşlama operasyonları için elverişlidir. Bu sıvı, sert sular ile kullanılmaya uygun olup nitrit, fenol, sülfür, klor, ikincil aminler ve NPE ihtiva etmez. Bu sıvının genel yapısı arasında; bütün operasyon uygulamalarına elverişli, iyi işleme özelliklerine sahip, çok iyi yıkama özelliği, iyi pas kontrolü, takım ömrünü arttırması ve mineral yağ içermemesi bulunmaktadır [66]. Bu kesme sıvısı, cnc dik işleme tezgahı için % 3-5 oranında su ile karıştırıldıktan sonra kesme sıvısı olarak tatbik edilmektedir. Şekil 2.19 ‘da deney esnasında kullanılan kesme sıvısı uygulaması gösterilmektedir.



Şekil 2. 19 - Deneyde Kullanılan Kesme Sıvısı Uygulaması

2.9.2 Minimum Miktarda Yağlama (MMY) Prensibi

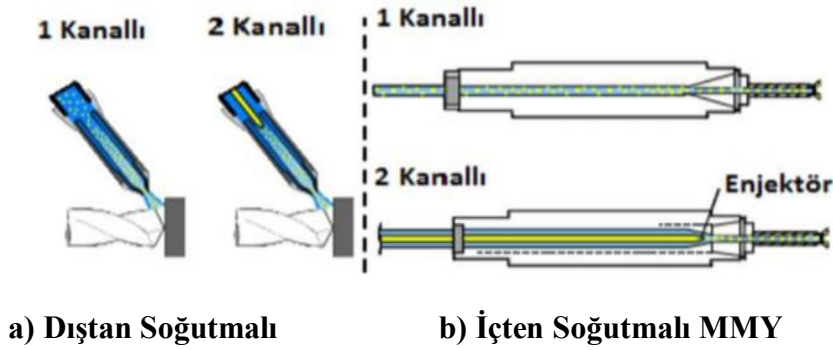
MMY tertibi, talaşlı üretimde kesme alanına çok az oranda yağlama-soğutma sıvılarını fışkırtarak, kesme işlemine avantaj sağlaması için yapılmış düzendir. Kuru kesme metodu, farklı kesme yöntemlerinde kullanılabilir ancak kesici takım ömrü ve oluşan yüzey niteliğinin iyi olmaması, elverişsiz talaş geçişinin olmasına neden olabilir. Bu olumsuzlukların neticesinde az miktarda kesme sıvısı kullanımının hedeflenmesi ve yarı-kuru işleme olarak da tariflenen soğutma-yağlama tertibatının görevi oldukça önemlidir. MMY ‘nin elverişli takım ömrüne ve yüzey kalitesi açısından olumlu etkilediği görülmüştür. Daha önce yapılan çalışmalar, MMY ‘nin zahmetsiz kesme yöntemlerinde memnun edici çıktılar oluşturduğunu ve edinilen yüksek verimliliği olanaklı olduğunu onaylamıştır [67, 68]. MMY uygulaması yardımıyla takım yüzeyine ve malzemeye nüfuziyetli şekilde erişilebilir [69]. MMY ‘nin sağladığı olanaklara karşın, ilave bir tertibata gereksinim olmasından başka ıslak toz ve duman meydana getirmeye hassas olmasıdır [70].

MMY, metalik ve kompozit malzemelerin geleneksel ve yüksek hızlarda çalışılmasında masrafsız, teknolojik ve çevre koruyucu yararları gösterilmiş bir soğutma-yağlama

düzenegidir. Yaygın olarak bitkisel yağ tatbik edilen metot; minimum miktarda yağlama olarak belirtilirken, su esaslı kesme sıvısı tatbik edilen metot; minimum miktarda soğutma olarak belirtilmektedir.

MMY yönteminde, püskürtme niceliği 10 µm 'den fazla olma mecburiyeti var olup, farklı durumda sıvı yapıdaki parçacıklar sağlık saçılarından olumsuzluklara sebebiyet verebilir. Yağlayıcı geçiş hızı MMY 'de yaygın şekilde 10-100 ml/saat 'tir. MMY 'de olan bu geçiş hızı konvansiyonel sulu kesme metoduna göre yirmi bin kat daha azdır. Bu yüzden MMY 'de uygulanan kesme sıvısı oldukça az oranlara kullanılır. MMY tertibatının başka olumlu yanlarıysa su kullanılan kesme yöntemlerine kıyasla iş parçası ve bundan kopan talaşların oldukça kuru bir yapıda elde edilmesine olanak vererek, talaşların geri dönüşüm masrafının azaltılmasını sağlamıştır [71].

Minimum miktarda yağlama yönteminde stabil bulunan nozullar ile harici püskürtme ve kesici takım yapısına açılmış boşluk aracılığıyla püskürtme olarak iki şekilde tatbik edilebilir ve Şekil 2.20 'de şematik gösterimi bulunmaktadır.



Şekil 2. 20 - MMY 'nin Dıştan ve İçten Püskürtülmesinin Görseli

2.10 İşlenebilirlik

2.10.1 İşlenebilirliğin Tanımı ve Önemi

Talaşlı imalatla esaslı olarak ortaya çıkan sorunlardan bir tanesi işlenebilirlik olgusudur. Tüm üretim yapan birimler yapmakta oldukları mamullerin nasıl daha hesaplı ve daha kısa zaman içerisinde kaliteli üretebilirim sorununa çare araştırmaktadır. İşlenebilirlik eksiksiz şekilde tarif edilememekle birlikte değişik tarifleri mevcuttur [72]. Bunlardan birkaçı şu şekildedir:

“ İşlenecek malzemenin, talaş koparma metoduna tesirde bulunan bütün özellikleridir ”.

“ Talaş kaldırmak maksadıyla biçimlendirme yöntemlerinde, çalışma parçası malzemesinin performanslı ve basit olarak imal edilmesidir ”.

“ İş parçası malzemesinin talaşlı olarak biçim kazanabilme yeteneğidir ”.

“ İş parçası malzemesinin, kesici takım kullanarak biçimlendirilmesinin pratikliğinin veya meşakkatli olmasının ibaresidir ”.

“ İşlenebilirlik, şekillendirilecek malzemeye uyumlu kesici takım ve kesme koşullarını seçilerek, çoğunlukla metal yapısında olan bir malzemeyi talaşlı üretim yöntemleriyle biçimlendirebilmenin bağlı hafifliği veya ağırlığıdır. ”

“ İşlenebilirlik, şekillendirilen malzeme örneğinin hedeflenen yüzey pürüzlülüğü ve boyutsal hassasiyet eldesi için belirlenen kesici takım ve işleme etkenleriyle alakalı olarak, ne biçimde malzemedan talaş kaldırılacağıdır. ”

Talaş kaldırma metotlarında kullanılan kesici takım geometrik formu ve niteliğinin farklılığı, kullanılan takım tezgahı ve işleme yöntemlerinin çeşitliliği, CNC takım tezgahlarının ve CAM yazılımlarının sağladığı birbirinden farklı talaş ayırma işlemlerinde kullanılan takım yolu geometrik yapısı, kesme hızı, ilerleme oranı, talaş derinliği gibi kesme şartlarının değişkenliği, bütün kesme düzeyinde malzemeye giriş hareket ve hızların operatör kontrolünde olması, kullanılan soğutma tipleri gibi daha birçok parametrenin var olması sonucunda işlenebilirlik açıklanması oldukça karmaşık bir tanımdır.

Genel itibariyle işlenebilirlik aşağıdaki hususlar dikkate alınarak açıklanabilir:

- Kesme anında oluşan yükler,
- Talaş oluşumunun meydana gelmesi,
- Yüzey pürüzlülük değeri,
- Takım aşınması, çatlaması, kırılması,
- Kaldırılan paso oranıdır.

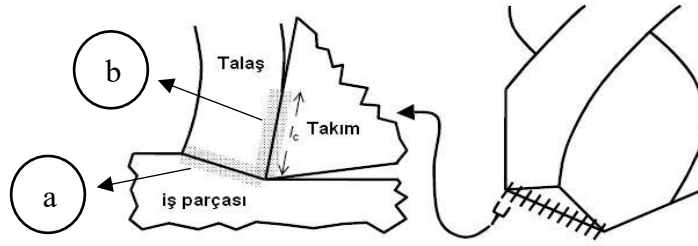
2.10.2 Talaş Oluşum Mekanizması ve Talaş Şekilleri

Talaş kaldırma kuramının ana merkezi talaşın oluşumudur. Talaş, esas malzemedan plastik biçim değiştirmenin neticesinde oluşmaktadır. Keskin yapıda olan takımın malzemeye giriş yaparak ilerlediğinde, malzeme ile temas yerinde malzemenin plastik

şekil değiştirmesini sağlayacak fazla gerilmeler ve temastan dolayı oluşan sıcaklıklar ortaya çıkmaktadır. Oluşan zorlamalar malzemenin akma seviyesini geçtiğinde talaş olarak nitelendirilen yüzey katmanını işleme esnasında iş parçası uzunluğunca takımın kesme yüzeyinden kurtularak parçadan kopar. Talaşın, ucun kesme yüzeyinden kurtulması yüksek basınç koşulunda oluşur ve ortaya çıkan sürtünme, takım yüzeyinde fazla sıcaklık aralığına neden olur. Talaş oluşum sistemini belirlemek için 2 tip kesme modeli geliştirilmiştir. Bunlar şu şekildedir:

- 2 Boyutlu Ortogonal (Dik) kesme model,
- 3 Boyutlu Oblik (Eğik) kesme modelidir.

İşlem esnasında takım - malzeme arasında ve takım – talaş arasında oluşan deformasyon bölgeleri Şekil 2.21 'de gösterilmektedir.



Şekil 2. 21 - Takım (Matkap Uç) Kesici Ağzı - a) Birinci Deformasyon Bölgesi,
b) İkinci Deformasyon Bölgesi

Talaş kaldırma prosedürü sırasında meydana gelen talaşlar atık malzemeler olarak tanımlanabilir ve talaşlı üretimde sarf edilen enerjinin oldukça büyük bir bölümü talaşın oluşması esnasında tüketilmektedir. Talaşlı üretim metotlarında, şekillendirilecek malzeme ile eşleşebilecek kesme takımı belirlenmesi ve kesme parametreleri (kesme hızı, ilerleme hızı ve talaş derinliği) ortaya çıkan talaş şekli ve niceliğine tesir etmektedir. Oluşan talaşların şekli büyük oranda iş parçasının son yüzey yapısı ve talaşlı imalat yöntemi (takım ömrü, titreşim) üzerinde farklı sonuçları vardır. Talaşlı üretim metodunda talaşlar çok farklı yapıda oluşmasına karşın temel itibarıyla aşağıdaki gibi belirtilebilir:

1. Sürekli talaş,
2. Süreksiz talaş,
3. Dilimli talaş,
4. Yığıntı talaş (YT/BUE).

1.1. Sürekli talaş yapısı, yüksek kesme hızları ve/veya talaş açılarında yumuşak malzemelerin işlenmesi esnasında oluşmaktadır. Talaş oluşum anında malzemede görülen bozulma dar bir kayma alanında oluşur ve buna

birinci deformasyon bölgesi denir. Sürtünmeden kaynaklı sürekli talaş ile takım talaş arakesitinde oluşan ikinci deformasyon bölgesi ortaya çıkar. Takım ile talaş arasında sürtünme fazlaştıkça ikinci deformasyon bölgesinin genişliği artar. Sürekli talaş yapısında birinci deformasyon bölgesinin genişliği artma eylemi gösterebilir. Genellikle yumuşak malzemelerin düşük kesme hızlarında ve düşük talaş açıları ile şekillendirilmesi neticesinde görülür. Bu olay yüzey pürüzlülük değerini artırır ve yerleşik yüzey streslerine sebebiyet verir. Kaliteli bir son yüzey oluşturmaya rağmen her koşulda istenmez. Sürekli talaşın kesme alanından gönderilmesi nedeniyle süreç bekletmeye alınmalıdır. Bu olay üretim süresini ve maliyeti direkt olarak etkiler.

1.2. Süreksiz talaş yapısı, talaşlı üretim anında talaş şeklinden ötürü sürekli olarak ortaya çıkan kuvvetlerde sapmalar olur. Takım tutucunun, tutturma öğelerinin ve takım tezgahının rijitliği dilimli ve süreksiz talaş gözlenen kesme yöntemlerinde kayda değerdir. Kararınca rijitlik yoksa takım tezgahı titreşimle karşılaşır ve bu durum malzemenin yüzeyini ve ölçülerinin amaçlanan değerden farklı olmasına sebep olur. Bunların dışında, takım aşınmasını arttırarak, verimsizliği ortaya çıkarır. Süreksiz talaş yapısı genellikle aşağıdaki koşullarda meydana gelir:

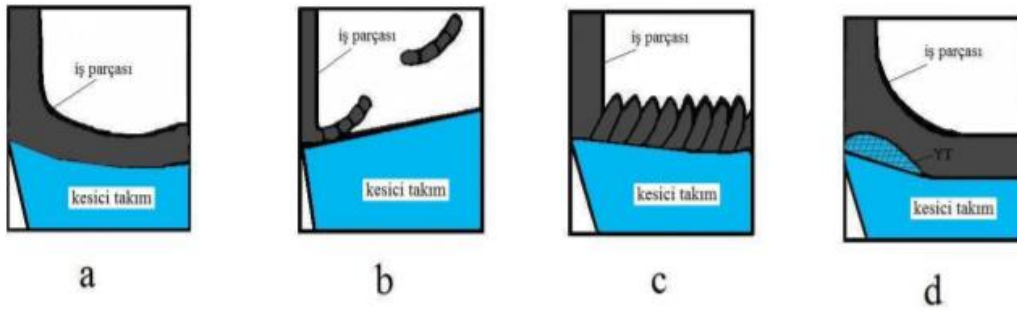
- Gevrek yapılı iş parçası malzemeleri talaşlı üretimde biçimlendirilirken oluşan fazla miktarda kayma deformasyonu ile karşılaşması,
- Sert kalıntı veya saflığı bozan maddeler içeren malzemeler veya bünyesinde grafit lameller bulunan dökme demir gibi malzemelerin işlenmesi,
- Çok düşük veya çok yüksek kesme hızlarıyla işlem yapılması,
- Yüksek oranda talaş derinliği verilmesi,
- Düşük talaş açısı kullanımı,
- Aktif bir soğutma sıvısının uygulanmaması,

- Takım tezgahın rijit yapısının elverişsiz olması, süreksiz talaş oluşumunda oldukça önemlidir.

1.3. Dilimli talaş yapısı, düşük ve yüksek kayma deformasyonu ile karşılaşmış alanları mevcut yarı sürekli talaşlardır. Termal iletkenliği düşük ve dayanım gücü sıcaklığın yükselmesi sonucunda süratlı şekilde azalan metallerde bu olay yaşanmaktadır, örnek olarak titanyum verilebilir. Fazla oranda kayma biçim varyasyonu ve düşük kayma biçim varyasyonunun art arda görüldüğü çevrimsel talaş yapısıdır. Bu talaşlar testere dişi biçiminde bir görünüm oluşturur.

1.4. Yığıntı talaş (YT) yapısı, talaş kaldırma metodu esnasında işlenen malzemenin parçacıkları kesici uç yüzeyinde tabakalar şeklinde dizili bir yapıda birikmesi ile ortaya çıkar, yöntem anında takım uç geometrik formu ile alakalı olarak kesici takım uç bölgesinde meydana gelebilir.

Belirtilen talaş biçimleri Şekil 2.22 'de gösterilmektedir.



Şekil 2. 22 - a) Sürekli talaş, b) Süreksiz Talaş, c) Dilimli talaş, d) Yığıntı Talaş

2.10.3 Aşınmanın Tanımı ve Türleri

Talaşlı üretim esnasında kullanılan kesici takımlar, işlenen malzeme ile devamlı kontak durumundan dolayı ortaya çıkan ısı ve kesme kuvvetleri takımında çeşitli aşınma yüzeyleri oluşturur [73]. Karşılıklı olarak temasta olan teknik malzemelerinin, üretim sırasında sürtünmenin oluşması kaçınılmaz olduğundan oluşan aşınma, birçok makine ve ekipmanın uygulama boyunca önemli oranda mali ziyata sebep olmaktadır. Aşınma olayı, belirli bir yüzeyden başka bir yüzeye malzeme iletimi ya da aşınma yüzeylerinin oluşumu akabinde gerçekleşen malzeme ziyandır. Şekillendirme yöntemleri süresince bütün kesici takımlar aşınır ve oluşan aşınma takımlar kullanım sürelerini bitirinceye dek sürdürürler. Hangi yöntem olursa olsun takım aşınması gerçekleşir. Talaş ayırma

sırasında kesici takımların farklı kısımları, çeşitli aşınma şekilleriyle karşılaşır ve neticede takımın ömür süresi düşer, keskinliğini yitirir ve uç bölümü kırılır. Aşınmanın oluşması, kesici takım yüzeyinde şekilsel farklılıklara neden olmasından dolayı, takım aşınması oluşacak yüzeyin niteliği için önemli bir faktördür. Takım aşınmasına tesir eden değişkenlerin neler olduğunun ve hangi koşullarla ilişkili olduğunun bilinmesi oldukça önemlidir. Takım verimliliği temel açıdan iş parçası malzemesi, kesme parametreleri (kesme hızı, ilerleme oranı ve talaş derinliği), takım malzemesi içeriği, takım geometrik yapısı ve takım kaplaması gibi çeşitli etkenlere bağlı olarak değişiklik gösterir. Fazla oranda oluşan takım aşınması, arzu edilmeyen yüzey ve kullanılan enerji miktarında artışı beraberinde getirir. Metal işlemede beliren değişik mekanizmalar ve takım aşınma şekilleri mevcuttur.

2.10.3.1 Aşınma Mekanizması

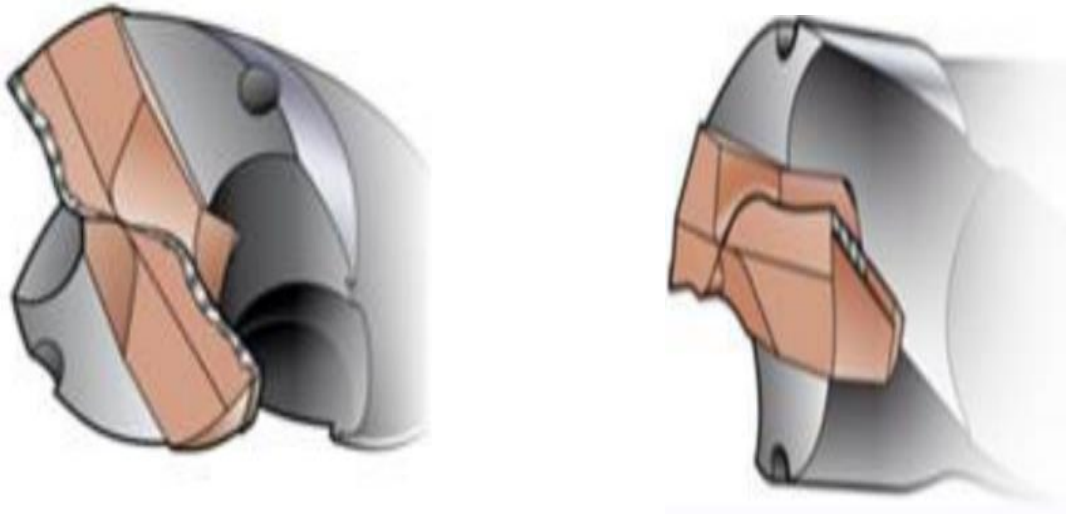
Talaşlı üretimde, abrazyon aşınması, difüzyon aşınması, oksidasyon aşınması ve yorulma aşınması esas fiziki aşınma şekilleridir. Abrazyon aşınmasında işlenen malzemedeki sert yapılı parçacıkların takım katmanından malzemeyi kazımak maksadıyla aşınma oluşturur. Bu tip aşınma, sık ortaya çıkan ve yüzeyde malzeme zayıflığının çok olduğu bir mekanizmadır. Difüzyon aşınmasında, takım ile işlenen malzeme ikilisinin kimyasal açıdan duyarlı olmasından dolayı tepkimeler gerçekleşir ve malzemede eksilme gerçekleşir. Adhezyon aşınması, kesici takım ile işlenen malzeme aralarında ısının artmasıyla yapışma etkisi sonucu bir metalin diğerinden parçacık ayırmasıyla görülen malzeme kaybıdır ve yöntemde ortaya çıkan düşük sıcaklık sonrası aşınma ile karşılaşılır. Yorulma aşınması, vibrasyon veya kararlı olmayan yükler sonucu malzemede yorulma ayrılması şeklinde belirir. Yaygın olarak çevrimsel yüklemelerle yüzeyden ya da yüzeye bitişik noktalarda içyapıda yıpranmalar meydana gelmesi dolayısıyla yüzeyden cüzi ayrışmaların oluşmasıyla ortaya çıkmaktadır [74]. Oksidasyon aşınması, takım veya iş parçası malzemesindeki atomların, hava ile etkileşim halinde olduğu kısmında başka bileşiklerin oluşmasıyla aşınma açığa çıkmaktadır.

2.10.3.2 Kesici Takımda Meydana Gelen Aşınma Tipleri

Kesici takımlar arasında bilhassa matkap ucunda gerçekleşen aşınma, ilk etapta yavaş belirir ve zaman geçtikçe hızlanarak fazlaşan aşınma sürecini oluşturur. Kesici takım işleme başladığı ilk zamandan sonra aşınma olayı görülür. Aşınma yürüdükçe işlem için gereken kuvvetler artar, oluşan ısı bu oranda yükselir ve aşınma daha da hız kazanmış olur. Aşınmanın yoğun olması, takımda işleme için önemli olan uçların kesiciliğini kaybetmesine neden olarak takım ömrünü negatif şekilde tesir eder. Belirlenen takım ve işlemeye hazır malzeme için değişiklik oluşturan üretim şartları kesme esnasında ortaya çıkan kuvvetleri değiştirirken, tercih edilen takım geometrik yapısı kuvvetleri ve oluşan sıcaklığı etkilemekte, ek olarak takım yapımı için yararlanılan malzeme de takımın aşınma biçimini tanımlamaktadır [75]. Malzeme cinsi, ilerleme hızı, devir sayısı gibi, değişkenlerle ilişkili olarak takımlar için farklı aşınma türleri görülebilir. Kesici takımlarda görülen aşınma tipleri şu şekildedir:

- Serbest yüzey üzerinde meydana gelen bir aşınma bandı (Flank wear),
- Talaş yüzeyleri üzerinde oluşan krater aşınması (Crater wear),
- Kenar aşınması (Margin wear),
- Kesici uç aşınmasıdır (Chisel edge).

Serbest yüzey üzerinde meydana gelen bir aşınma bandı (Flank wear): Serbest yüzey aşınması talaşlı biçimlendirme yöntemlerinde sıklıkla meydana gelen bir aşınma türüdür. İş parçası yüzeyinde olan sert yapıdaki alanlar, takım yüzeyine temas etmesiyle meydana gelir. Temas sonucu oluşan sürtünme, kesici takımların yan bölümlerine negatif yönde tesir eder ve bu tesirin niceliği sonucu serbest yüzey aşınma tipi ortaya çıkar. Aşınma miktarı, tehlikeli boyutları aştığında takımlar fonksiyonunu yitirirler ve işleme esnasında arzulanan vibrasyonlara neden olur. Bu olumsuz durum, iş parçasının yüzey kalitesini aksi yönde etkiler [76]. Şekil 2.23 'de matkap ucun kenar ve dairesel bölümünde meydana gelen serbest yüzey aşınma yapıları gösterilmektedir.



Şekil 2. 23 - a) Ana Kenarda Meydana Gelen Serbest Yüzey Aşınması

b) Dairesel Kısımda Meydana Gelen Serbest Yüzey Aşınması

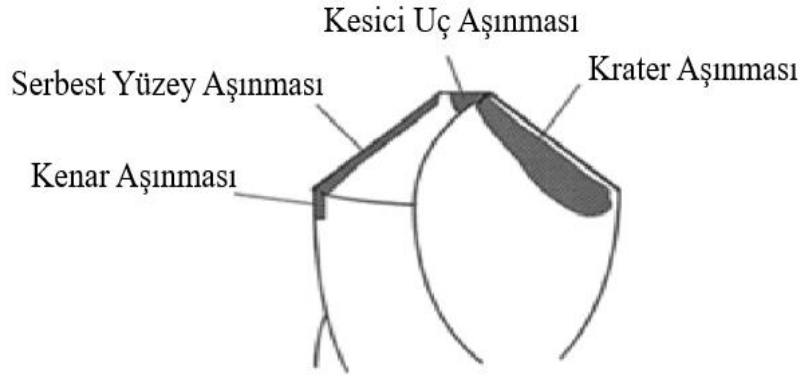
Talaş yüzeyleri üzerinde oluşan krater aşınması (Crater wear): Krater aşınması kesici takım üzerinde farklı iki olayın neticesinde ortaya çıkmaktadır. Talaş sathında abrasif ve difüzyon aşınmasının olması krater aşınmasına sebebiyet vermektedir. Krater, talaş kaldırma sırasında sert taneciklerin takımın talaş ayıran kısmında zımpara işlemi gibi bir durum akabinde veya kimyasal tepkime oluşturabilecek olan takım ve iş parçası malzemesinin takımın talaş sathında difüzyon eylemini yapmasıdır.

Krater aşınması, takım ucunun meyilli bölgesinde birikir ve farklı iki halin oluşması vaziyetinde takımın şekilsel yapısı deforme olur. Fazla oluşan krater aşınması, kesme kenarını zayıf düşürür ve kırılmaya neden olabilir.

Kesici uç (Chisel edge) aşınması: Kesici uç aşınması, takımın kesici kenar merkezinde oluşur ve abrazyon aşınması veya plastik deformasyonda sonucunda ortaya çıkar. Bu aşınma çeşidi, takım üzerinde oluşan itme kuvvetini (eksenel baskı kuvveti) iki veya üç katına arttırabilir ve takımın odaklanma duyarlılığını etkiler [77].

Kenar aşınması (Margin wear): Kesme ağzının dış köşesinde veya delik açılmış yüzeye değen noktada oluşur. Kenar aşınması, abrazyon aşınma, ısıl sertliğini kaybetme veya difüzyon aşınmasında neticesinde ortaya çıkar. Fazla oranda oluşan kenar aşınması, zayıf delik çap kontrolü ve yüzey pürüzlülüğü ile işlem tamamlanır. Yaygın şekilde, kenar aşınması, yığma kenar oluşumu veya odaklanma bozuklukları eşlik etmediği müddetçe olması gereken çap değerinden daha küçük bir delik oluşturur [77]. Şekil 2.24 'de işleme

sonrası matkap uçlarda oluşabilecek aşınma türleri belirtilmektedir. Şekil 2.25 'de takımlara uygulanan kaplama yöntemiyle aşınma yapısından korunmayı göstermektedir.



Şekil 2. 24 - Matkap Uçta Bölgelere Bağlı Oluşan Aşınma Tipleri [77]

Aşınmanın Yapısı	Aşınma Mekanizmaları	Kaplama ile Koruma
Serbest Yüzey Aşınması 	Abrasif (sürtünmeden dolayı) aşınma	Sertlik ve yüksek aşınma dayanımı
Krater Aşınması 	Difüzyon ve abrasif aşınma	Sertlik, sıcak sertlik ve oksidasyon direnci, malzeme alt katmanından farklılık
Isıl Çatlaklar 	Sıcaklık değişimine bağlı olarak ısıl şoklar	Termal direnç, ısıl yüklerle karşı koruma
Kenar Birikimi Oluşumu 	Adhesif (yapışma) aşınma, malzeme üzerine yapışma	Oksidasyon direnci, iyi kayma özellikleri, kimyasal kararlılık, malzeme ve alt katmanından farklılık

Şekil 2. 25 - Takım Aşınmasının Türleri [78]

2.10.4 Kesici Takım Ömrü

Kesici takım ömür tahmini yapmanın en makbul belirleyicisi, takımın evvelden saptanan bir aşınma oranına dek talaş kaldırma süresi olduğundan bahsedilebilir [79]. Takım ömrünü tanımlayan değişkenler işlemin metoduna uygun çeşitlilik sunar; delme, vargel, planya gibi işlemlerde bu değişken imal boyu veya uzunluğu (L) olurken, frezeleme de bu durum kaldırılan talaş hacmi olarak tanımlanmaktadır. Takım ömrü, imalat masrafını ve işlem duyarlılığını dikkate değer ölçüde tesir etmektedir. Takım makul bir aşınma noktasına eriştiği andan itibaren yapılan işlem olumsuz koşullarda devam edecek ve bundan kaynaklı, mamulde istenmeyen olaylar meydana gelecektir. Bu durumda, takım ömrü zamanının tanınması ve aşınma olayı ortaya çıktığı esnada farklı bir takım ile talaş kaldırma usulünü sürdürmek oldukça mühimdir [80]. Takım aşınması değerini az miktarlara çekmek nedeniyle doğru kesme şartlarının kullanılması önemlidir. Kesme şartlarının ve yöntem sınırlarının elverişli şekilde belirlenmesi takım ömrünü yükselteceğinden işleme performansının artması buna eşlik edecektir.

Kesici takım ömrü, talaşlı imalatla en etkili mali unsurlardan biri tanesidir. Kaba işleme yöntemlerinde değişik takım açı dereceleri, kesme hızları ve ilerleme oranları hesaplı bir takım ömrü elde etmek için belirlenmelidir. Oldukça kısa kullanım oluşturan şartlar kazançlı bir durum oluşturmaz, nedeni şu ki, takım taşlama ve takım değişikliği yapmak işletme giderlerini arttırır. Bunun yanı sıra, takımın kullanım zamanını arttırmak yani ömrünü uzatmak amacıyla epey düşük kesme hızı ve ilerlemenin verilmesi, imalat veriminin az olması yüzünden ekonomik olmaz [81]. Takım ömrünü belirlemede aşınmaya farklı tesirleri olan parça ve takım malzemesi, takım geometrik yapısı, talaş şekli ve kesme sıvısı gibi etkenler bulunmaktadır. Belli bir talaş kaldırma yönteminde işlenecek malzeme, takım malzemesi ve takım geometrik şekli belirlendiğinde takım ömrü üzerinde en büyük değişikliğe neden olacak etken kesme hızıdır. Farklı bir ifadeyle, diğer koşullar değişmediği zaman kesme hızı azaldıkça takım ömrü artmaktadır.

Kaplama tekniğiyle, yöntem uygulanırken takımda oluşacak aşınma miktarını azaltmada oldukça güçlü bir yardımda bulunmuştur. Kesici takım yüzeyine işlenecek malzemeye uygun kaplama imal etmek, takım ömrü üzerinde olumlu sonuçlar vermesine neden olmuştur. Kaplama tipleri, oldukça farklı ısı ve fiziki artıları olup, doğru bir kaplamanın belirlenmesi, takımda oluşabilecek aşınmanın değişik şekillerini azaltmaktadır [82].

2.10.5 İşleme Sonucu Oluşan Yüzey Pürüzlülüğü

İşlenen parçaların yüzey niteliğinin makbul değerlerde olması, kalitenin arttırılmasını desteklemesi doğrultusunda istenilen bir faktördür. Yüzey pürüzlülük değerleri, makina elemanlarının fonksiyonel yeteneklerine tesir edebilen bir değişkendir [83]. Talaşlı üretim metotlarında, işlenecek malzemenin cinsi, kesme hızı, ilerleme hızı, kesme derinliği, kesici takım malzemesi, kesme sıvısı ve tezgah yapısı gibi çok fazla unsur, yüzey pürüzlülüğü üzerinde farklı etkileri mevcuttur. Bu etkenlerden bir tanesinin rastgele değişmesi neticesinde yüzey pürüzlülüğü de farklılaşmaktadır [84-86].

Bir yüzey pürüzlülük sistemini ilerletmek ve en uygun hale getirmek için, çalışmanın var olan yapısını idrak etmek mühimdir. En elverişli işleme şartlarını ve en doğru kesme takımlarını belirleme ve tatbik etme gereksinimi son zamanlarda duyumsanmıştır. Yüzey pürüzlülüğü en kayda değer teknik gereklilik durumuna gelerek, mamul kalitesinin bir işaretidir [87].

2.10.5.1 Yüzey Pürüzlülüğü Ölçme Metotları

Yüzey pürüzlülük değerlerini incelemek maksadıyla epeyce farklı cihaz ve yöntem uygulanmaktadır. Mühendislik bakımından en kıymetlileri:

- Elektriksel işleyen sivri uçlu cihazlar,
- Dokunma aracılığıyla yüzeyin değerlendirildiği ve bunun mekanik çalışan aygıtlarla ölçülmesi,
- Değişik biçimli ışık interferans mikroskopları,
- Yüzey kopyaları elde ederek ölçme,
- Kesit alma yöntemi,
- Elektro- Fiber optik sistem yöntemidir.

Elektriksel sivri uçlu cihazlar, bir kol ekipmanı mevcut olup, kolun üzerine elmas bir uç oturtulmuştur. Bu elmas uç, işlenen malzeme yüzeyini tamamıyla çizer. Ucun düşeyde yaptığı hareket, elektriksel işaretlerle gösterge ya da yazıcıya aktarılır. Bu tip aygıtlar kesme derinliğini tarayarak ortalama değerleri derleyerek oluşan yüzey pürüzlülük değerini hesaplar. Bu aletlerden, işlenen yüzeyin fiziki durumu hakkında bilgi edinilemez.

2.10.5.2 Yüzey Pürüzlülüğüne Etki Eden Unsurlar

Yüzey pürüzlülüğü, bir mamulün niteliğini belirten ve iki parçanın birleşme bölgesinde müessir olan hassas bir kalite kıstastır. Yüzey pürüzlülük değerlerinin doğru nicelikler aralığında olmasıyla malzemenin yorulma direnci, kırılma dayanımı, korozyona karşı mukavemeti yükselmesine artı olarak dış görünüşün etkileyici olmasına vesile olmaktadır [88]. Oluşan yüzey pürüzlülüğü, yüzey sürtünmesine neden olan kontak, aşınma, ısı aktarımı, yağ tabakasının yayılma yeteneği, kaplama veya dayanım ömrü gibi parçaların farklı işlevsel durumlarını da etkiler. Bundan dolayı arzulanan yüzey kusursuzluğu için doğru işlemler belirlenir.

Talaşlı üretimde yüzey pürüzlülüğü aşağıdaki etmenlerden etkilenir:

- Takım tezgahının rijitliği,
- Takım sabitleyicisinin rijitliği,
- Oluşan takım aşınmasının çeşidi ve oranı,
- Takım geometrik yapısı,
- Kesme koşulları,
- Malzemenin mekanik özellikleri,
- Kesme sıvısının uygulamada kullanılıp, kullanılmadığı,
- Talaş akışının sebep olduğu bozukluk,
- Kesme hızında ve ilerleme hızında meydana gelen düzensizlikler,
- Kesme esnasındaki talaş derinliği,
- Yatak ve takımlarda oluşacak geometrik bozukluklardır.

Kesme hızı, ilerleme hızı ve talaş derinliği gibi kesme şartları, denetim altında en güvenilir şekilde tutulabilirken; takım geometrik yapısı, oluşan takım aşınması, talaş oluşumu, takım ve iş parçası malzemesinin hususiyeti denetim altında tutulamayan etmenlerdir. Takım tezgahında işlem esnasında oluşan titreşimler, işlenecek malzemenin bünyesinde mevcut olan bozulmalar, oluşan takım aşınması veya talaş oluşumunun ayarsızlığı, işleme anında yüzey hattalar oluşmasına sebep olurlar.

Talaşlı üretimde yaygın olarak yüksek kesme hızları altında çalışıldığında yüzey kalitesinde iyileşme sağlanabilir. Fakat yüksek kesme hızı takımın uç kısmının sivriliğini kaybetmesini hızlandırdığından dolayı yüzey kalitesi uzun süre stabil olarak kalmaz.

3. DENEYSEL UYGULAMA VE PARAMETRELER

3.1 Araştırma Metodu

Bu tez konusunun uygulanmasında iki farklı seviye belirlenmiştir. İlk seviyede deney şartları belirlenmiş ve deneysel çalışmalar yapılmıştır. Deney koşulları değişik ve birbirleri ile ilişkili olmayan faktörlerin belli bir sonuca olan etkilerini incelemek için kullanılmıştır. Bir etkenin tesiri diğer etkeni ve bu etkenlerin farklı düzeylerinde araştırılarak, oluşan çıktılar ve veriler ortaya konmuştur. İkinci seviyede deneysel çalışmada elde edilen dataları değerlendirmek ve optimizasyonu gerçekleştirmek için Taguchi optimizasyon yöntemi kullanılmıştır.

CNC dik işleme tezgahında ‘z’ eksen yönündeki % cinsinden zorlanmalar kaydedilmiş ve her matkap ucun işleme hangi sürede tamamladığı kayıt altına alınmıştır. Delik delme işleme sonucunda elde edilen talaşların her birinin fotoğrafları kaydedilmiş ve tez sonuçlarına eklenmiştir. Kesme koşulların her seviyesinde işlem tamamlandıktan sonra matkap uçlarda gerçekleşen aşınmalar incelenerek, belirtilmiştir. 7075 - T651 alüminyum alaşımına açılan deliklerin her biri için yüzey pürüzlülük değerleri ölçülerek, ortalama yüzey pürüzlülük değerleri tablo ve grafik olarak belirtilmiştir.

3.2 Materyal

3.2.1 CNC Dik İşleme Tezgahı

Deney çalışmasını yapmak için kullanılan düzenek; üç eksenle hareket edebilen ve dördüncü eksen eklemek için bir aparata sahip olan Fanuc kontrol üniteli 21i-MB serisi bir adet CNC dik işleme tezgahı belirlenmiştir. Tablo 3.1 ‘de CNC dik işlem tezgahın özellikleri sunulmaktadır. Şekil 3.1 ‘de kullanılan CNC dik işleme tezgahın görsel hali bulunmaktadır.

Tablo 3. 1 - CNC Dik İşleme Tezgahının Teknik Özellikleri

CNC Tezgah Özellikleri	
Model	VMC -1060
A.C.	380 ± 5 %
Faz	3
Frekans (Hz)	50
İş Mili Motor Gücü (kw)	15
En Yüksek Devir Sayısı (dev/dak)	8000
Hava (kg/cm²)	6
Makine Ağırlığı (kg)	7500
Tabla Ağırlığı (kg)	900
Tabla Ebadı (mm)	1160 x 550
Hareket Sınırları (mm)	x - eksen : 1000 y - eksen : 600 z - eksen : 600



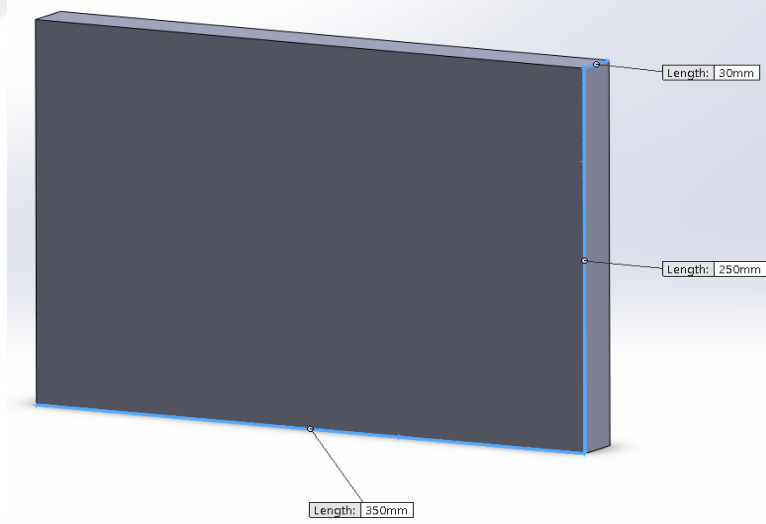
Şekil 3. 1 - Starway VMC – 1060 model CNC Dik İşleme Tezgahı

3.2.2 Deneyde Kullanılan İş parçası Malzemesi (Al 7075 – T651) Özellikleri

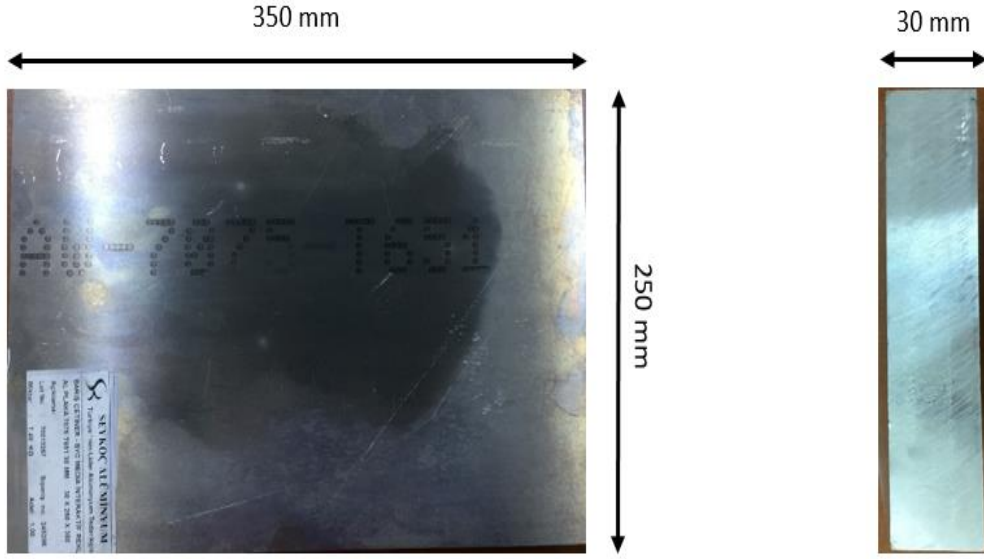
7075 alüminyum alaşımı, alaşım elemanının olarak en fazla oranda çinko elementi ihtiva eden ve havacılık sektöründe oldukça fazla tercih edilen malzeme grubudur. Uçak üretiminin yapısal bölümlerinde ve fazla stres şartlarında çalışması gereken yapı elemanları imalinde kullanılmaktadır. Mekanik yapı açısından çoğu çelik ile kıyaslanabilir kuvvette olup, yeterli yorulma mukavemetine ve ortalama şekillendirilme kabiliyeti vardır. 7075 alüminyum alaşımı, öz kütlesinin az olması, yüksek mukavemet yapısı, süneklik ve tokluk gibi cazip ve geniş avantaj sunmasından dolayı öncelikli olarak işleme yöntemlerinde kullanılmaktadır.

Deney çalışması için kullanılan alüminyum 7075 – T651 alaşımı, 350 mm uzunluğa, 250 mm genişliğe ve 30 mm kalınlığa sahip olup Şekil 3.2 ve Şekil 3.3 ‘de hem katı çizimi hem de gerçek halinin görselleri bulunmaktadır.

Deney uygulamasını gerçekleştirmek için alüminyum 7075 – T651 alaşımının CNC tezgaha bağlanmış biçimi Şekil 3.4 ‘de gösterilmektedir.



Şekil 3. 2 - Alüminyum 7075 Alaşımının Boyutları



Şekil 3. 3 - Deney Çalışması için Temin Edilen 7075 Alüminyum Alaşım Ölçüleri



Şekil 3. 4 - Deney Çalışmasında 7075 Alüminyum Alaşımın Tezgaha Bağlanmış Hali

3.2.3 Deneyde Kullanılan Kesici Takımlar ve Değişken Parametreler

Deney çalışması için belirlenen matkap uç çeşitleri ve bunlara ait boyutsal özellikler aşağıda bulunan Tablo 3.2 'de gösterilmektedir. Bu tabloda aynı zamanda matkap uç tiplerine ait kaplama çeşitleri ve kullanılmış takımların sap tutucu özellikleri de bulunmaktadır. Deney çalışmasının gerçekleşmesi için belirlenen ve kesme parametrelerinden olan devir sayısı ve ilerleme hızı Tablo 3.3 'de sunulmaktadır.

Tablo 3. 2 - Deneyde Kullanılan Matkap Uçlarının Özellikleri

	Çap $\varnothing$ (mm)	Uç Açısı (°)	L1 (mm) kesme boyu	L2 (mm) tam boy	Kaplama Türü	Tutucu sap tipi
HSS – TiN Kaplamalı Uç	10	118	90	130	TiN (sarı kaplama)	Silindirik
	12	118	100	150	TiN (sarı kaplama)	Silindirik
	14	118	105	160	TiN (sarı kaplama)	Silindirik
Karbür – TiAlN Kaplamalı Uç	10	118	45	90	TiAlN (siyah- füme kaplama)	Silindirik
	12	118	55	100	TiAlN (siyah- füme kaplama)	Silindirik
	14	118	57	108	TiAlN (siyah- füme kaplama)	Silindirik
DLC Kaplamalı Uç	10	118	86	131	DLC (siyah kaplama)	Silindirik
	12	118	100	150	DLC (siyah kaplama)	Silindirik
	14	118	110	160	DLC (siyah kaplama)	Silindirik

Tablo 3. 3 - Değişken Parametreler

Değişken Parametreler	Belirlenen Değerler
Devir Sayısı (dev/dak), N	2000
	3000
	4000
İlerleme Hızı (mm/dak), V _f	200
	400
	500

Deney şartlarında kullanılan devir sayısına bağlı olarak değişkenlik gösteren kesme hızı aşağıdaki Tablo 3.4 'de değerleri ile birlikte gösterilmektedir. Burada kesme hızı hesaplanırken, daha öncede belirtilen V_c - kesme hızı denklemi kullanılmaktadır. Bundan dolayı, denklemden de anlaşılacağı üzere devir sayısından başka matkap uç veya delik çapının (D) 'mm' cinsinden bilinmesi gerekmektedir.

$$V_c = \frac{D \cdot \pi \cdot n}{1000} \quad [\text{m/dak}] \quad (3.2.3.1)$$

Tablo 3. 4 - Devir Sayısına Göre Kesme Hızları

Çap (mm)	Devir Sayısı, N (dev/dak)	Kesme Hızı, V _c (m/dak)
ø 10	2000	62,8
	3000	94,2
	4000	125,6
ø 12	2000	75,36
	3000	113,04
	4000	150,72
ø 14	2000	87,92
	3000	131,88
	4000	175,84

3.2.4 Taguchi Deney Tasarım Yöntemi

Taguchi, çok sayıda deneysel durumu açıklamak için ortogonal dizileri oluşturmaktadır. Ortogonal dizinin en önemli özelliği, birçok faktörün az sayıda test edilmesi ve faktör seviyelerini eş zamanlı olarak değiştirme yapmaya olanak sağlamasıdır. Bu tez çalışmasında ortogonal dizilimlerden 3 kademeli olan L9 tasarım matrisi seçilmiştir. Tablo 3.5 ‘de L9 dizilimi ve Tablo 3.6 ‘da deney tasarım matrisi gösterilmektedir. Tablo 3.7 ‘de deney şartlarına göre belirlenen faktörlerin tanımlanması belirtilmiştir.

Tablo 3. 5 –Taguchi Optimizasyonunda Seçilen L9 Dizilimi

Taguchi Design Design Summary

Taguchi Array L9(3³)

Factors: 3

Runs: 9

Columns of L9(3⁴) array: 1 2 3

Tablo 3. 6 – Taguchi L9 Deney Tasarım Tablosu

Deney Numarası	Matkap Uç Çapı (mm)	Matkap Uç Tipi	İlerleme Hızı (mm/dak)
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	2	1	2
5	2	2	3
6	2	3	1
7	3	1	3
8	3	2	1
9	3	3	2

Tablo 3. 7 – L9 Dizilimi için Belirlenen Deney Çalışmasının Parametreleri

Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
matkap uç çapı (mm)	Fixed	3	10; 12; 14
ilerleme hızı (mm/dak)	Fixed	3	200; 400; 500
matkap uç tipi	Fixed	3	1; 2; 3

3.2. 5 Alüminyum 7075 – T651 Alaşımını İşlemek için Hazırlanan Program Kodları

CNC dik kesim tezgahında alüminyum 7075 – T651 alaşımını işlemek için Mastercam – X programında yazılan kodlama aşağıdaki belirtilmektedir.

N100 G21

N102 G0 G17 G40 G49 G80 G90

N104 T1 M6

N106 G0 G90 G54 X – 315. Y – 40. A0. S2000 M3

N108 G43 H1 Z10. M8

N110 G98 G81 Z – 35. R2. F200.

N112 G80

N114 S3000 M3

N116 X – 280.

N118 G98 G81 Z – 35. R2. F400.

N120 G80

N122 S4000 M3

N124 X – 245.

N126 G98 G81 Z – 35. R2. F500.

N128 G80

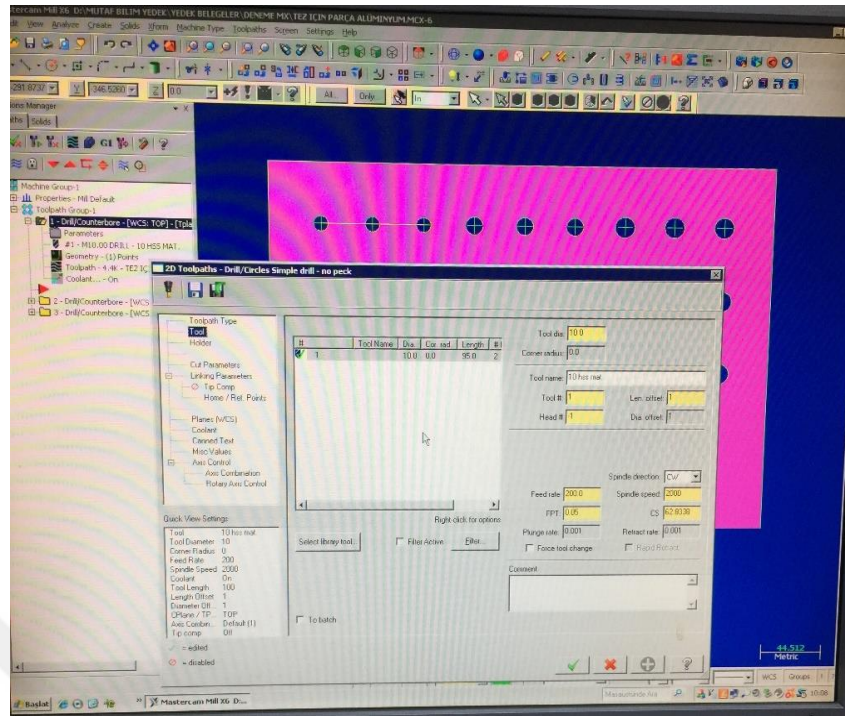
N130 M5

N132 G91 G28 Z0. M9

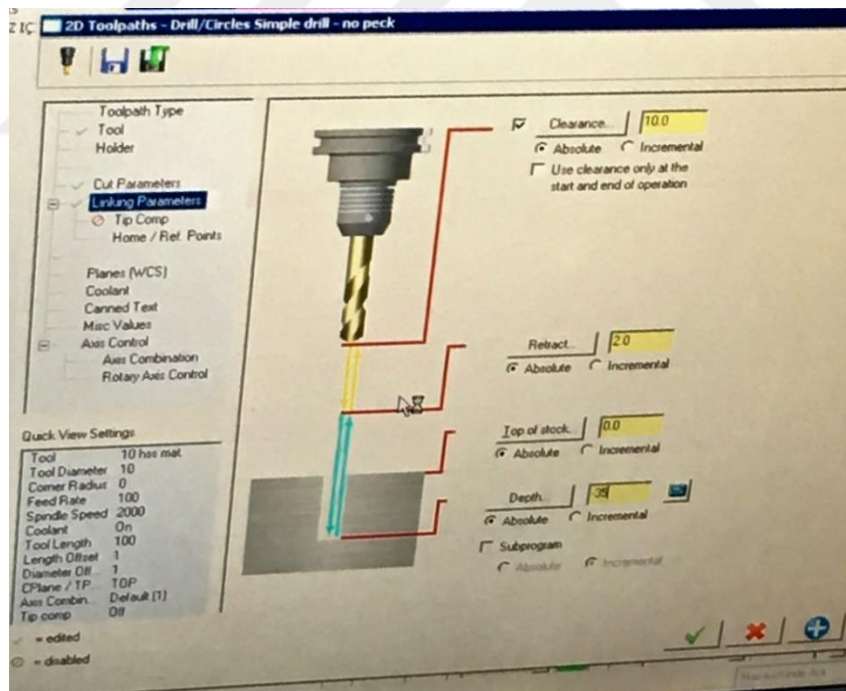
N134 G28 X0. Y0. A0.

N136 M30

Alüminyum malzemenin CNC dik kesim tezgahında işlenmesi için yazılan bu kodlama, bir satırda bulunan, konumu ve delik çapı belirlenmiş ve tanımlanan üç farklı devir sayısı ve ilerleme hızına göre her delik için atanmış olup, diğer deliklerin işlenmesinde, CNC dik kesim tezgahının kendi ara yüzünde bulunan offset komutuna başvurularak delik delme işlemi gerçekleştirildi. Şekil 3.5 ‘de program ara yüz ekranında delme işlemi için hazırlanan kodlama ve delinecek malzeme derinliğin belirlendiği görsel sunulmaktadır. Şekil 3.6 ‘da malzemeye ve konuma göre çap atanma görseli belirtilmektedir.

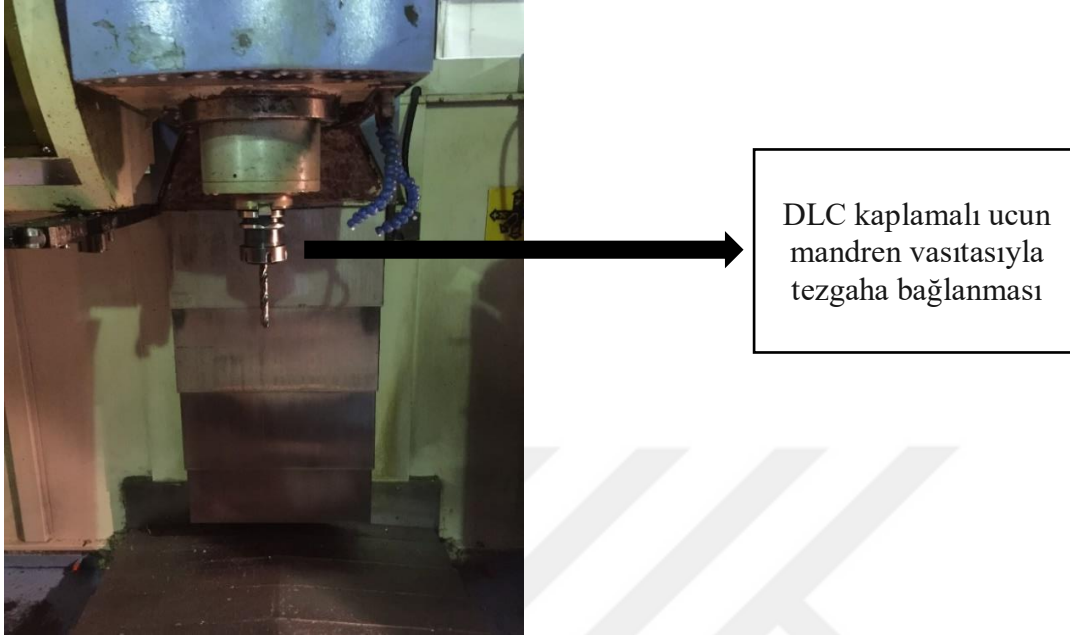


Şekil 3. 5 - Malzemeye ve Konuma Göre Çap Atama



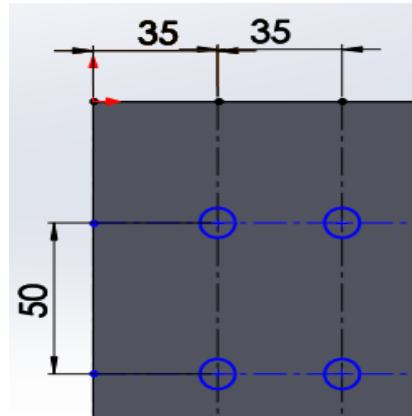
Şekil 3. 6 - Program Ara Yüz Görüntüsü

Şekil 3.7 ‘de mandren vasıtasıyla tezgaha tutturulmuş DLC kaplamalı matkap uç gösterilmektedir.

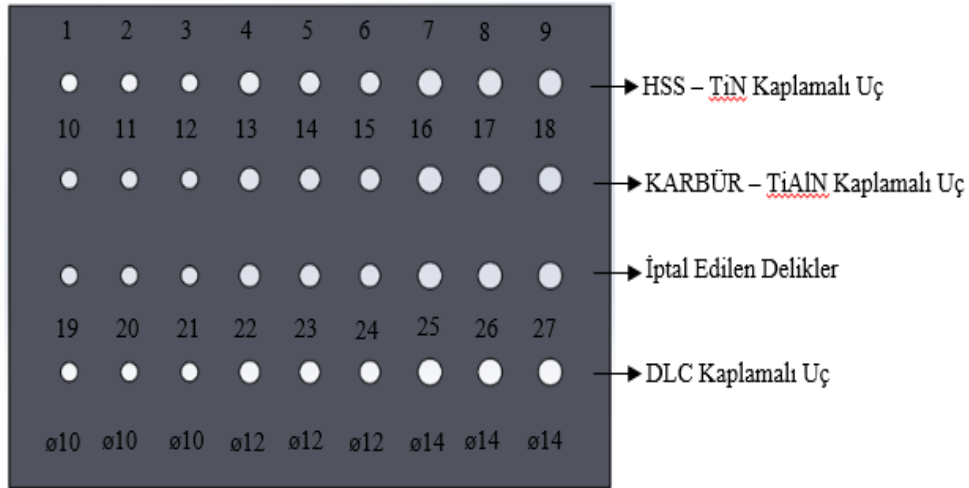


Şekil 3. 7 - Mandren Kullanarak Takımın Tezgaha Sabitlenmesi

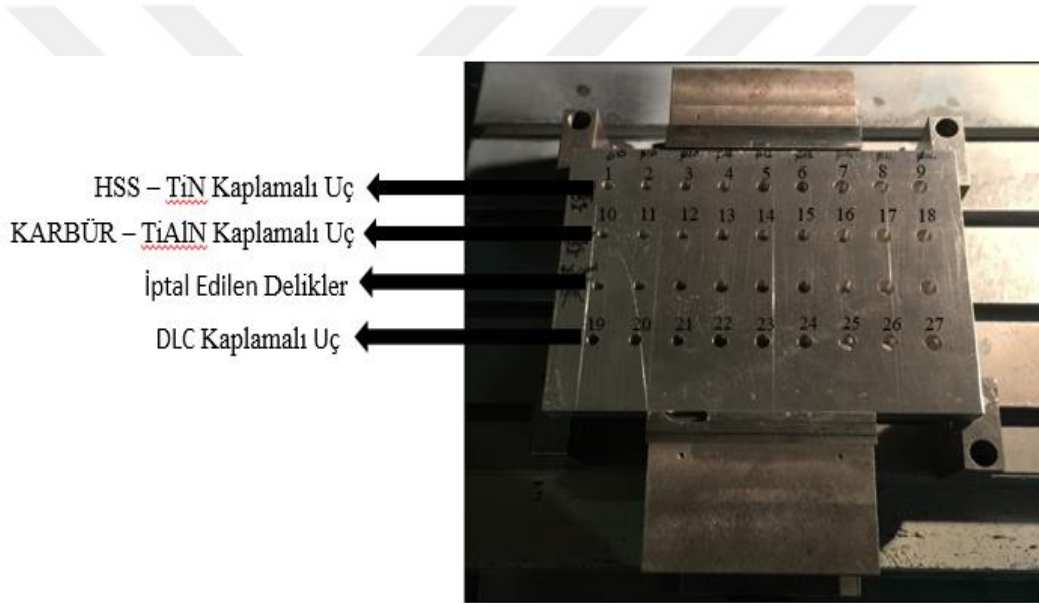
Delikler arası mesafe yatay doğrultuda 35 mm, dikey doğrultuda 50 mm olarak tasarlanarak Şekil 3.8 ‘de gösterilmektedir. Belirlenen kesme koşulları altında kesme sıvısı tatbik edilerek uygulama tamamlandıktan sonra aşağıda şekilleri gösterilen durum elde edilmiştir. Şekil 3.9 ‘da mevcut olan durum, kullanılan matkap uç tip ve çapı, delik numarası ve sırası baz alınarak oluşturulmuş bir katı çizim gösterilmektedir. Şekil 3.10 ‘da ise deney uygulaması bitiminde, alüminyum 7075 – T651 alaşımın matkap uç tipi, delik numara ve sıralamasıyla ilişkili olarak CNC tezgaha bağlanmış durumdaki görüntüsü belirtilmektedir.



Şekil 3. 8 - Deliklerin Yatay ve Dikeyde Verilen Mesafeleri



Şekil 3. 9 - Deney Çalışması Sonucu Elde Edilen Alüminyum Alaşımın Katı Çizimi



Şekil 3. 10 - Deney Uygulaması Sonucu Elde Edilen Alüminyum Alaşımın Gerçek Hali

3.3 DeneySEL Çalışma Verileri

3.3.1 Talaş Yapısının İncelenmesi

Alüminyum 7075 – T651 alaşım malzemesini belirlenen devir sayısı ve ilerleme hızı değerleri kullanılarak gerçekleştirilen deney neticesinde elde edilen talaşlar kesme sıvısından temizlenip tek tek poşetlendikten sonra, talaşlar beyaz bir yüzeye yerleştirilerek fotoğrafları çekilmiştir. Aynı zamanda talaşların yapılarına göre kıyaslamaları yapılarak, hangi tip talaş yapısı olduğu gösterilmiştir. Deney sonucunda malzemedan çıkan talaşlar; sürekli talaş, süreksiz talaş, dolaşık bant talaş, sıkışmış talaş

ve helisel yapısı bozulmuş talaş biçiminde tanımlanmıştır [89]. Aşağıda gösterilen Tablo 3.8 'de alüminyum 7075 – T651 alaşım malzemesinden kopan talaşların şekilleri ve isimleri belirtilmektedir.

Tablo 3. 8 - Delmesi Sonucu Elde Edilen Talaş Şekillerin Sınıflandırılması [89]

Takımların Alüminyum 7075 – T651 Alaşımını Delmesi Sonucu Meydana Gelen Talaş Biçimleri				
Sürekli Talaş	Süreksiz Talaş	Dolaşık Bant Yapılı Talaş		
				
		Sıkışmış Talaş	Helisel Yapısı Bozulmuş Talaş	
				

Tablo 3. 9 - 10 mm Çap Değerine Sahip Matkap Uçların Devir Hızı 2000 dev/dak ve İlerleme Hızı 200 mm/dak’ da Delme Sonucu Meydana Getirdiği Talaş Biçimleri

ø 10 (mm)		
HSS (TiN Kaplamalı) Matkap Uç	DLC Kaplamalı Matkap Uç	Karbür (TiAlN Kaplamalı) Matkap Uç
Devir Hızı 2000 dev/dak, İlerleme Hızı 200 mm/dak		
		

Talo 3.9 ‘da belirtilen 10 mm çaplı matkap uçların işleme sonucu oluşan talaş yapıları incelendiğinde, ilk kesme koşulu olan 2000 dev/dak devir sayısı ve 200 mm/dak ilerleme hızında, sürekli talaş yapısı HSS – TiN kaplamalı takımın delmesi sonucu elde edilmiştir. KARBÜR – TiAlN kaplamalı ucun işlem sonrasında alaşım malzemesinden kopan talaşlar, parçacıklar halinde olup süreksiz yapıya sahiptir. DLC kaplamalı matkap ucun işlemede görülen talaş yapısı ise kısa ve kısmen sürekli talaş formunda oluşmuştur.

Tablo 3. 10 - 10 mm Çap Değerine Sahip Matkap Uçların Devir Hızı 3000 dev/dak ve İlerleme Hızı 400 mm/dak’ da Delme Sonucu Meydana Getirdiği Talaş Biçimleri

ø 10 (mm)		
HSS (TiN Kaplamalı) Matkap Uç	DLC Kaplamalı Matkap Uç	Karbür (TiAlN Kaplamalı) Matkap Uç
Devir Hızı 3000 dev/dak, İlerleme Hızı 400 mm/dak		
		

10 mm ϕ değerine sahip takımların, devir sayısı 3000 dev/dak ve ilerleme hızı 400 mm/dak kesme sıvısı altında işleme sonucu elde edilen talaşlara bakıldığında, HSS – TiN ve KARBÜR – TiAlN kaplamalı takımlardan delme sonucu oluşan parçacıklarda süreksizlik gözlenmiştir. DLC kaplamalı matkap ucun alaşımı şekillendirmesi sonucu meydana gelen taneler sıkışmış talaş şeklini aldığı Tablo 3.10 ‘da gösterilmiştir.

Tablo 3. 11 - 10 mm ϕ Değerine Sahip Matkap Uçların Devir Hızı 4000 dev/dak ve İlerleme Hızı 500 mm/dak’ da Delme Sonucu Meydana Getirdiği Talaş Biçimleri

ϕ 10 (mm)		
HSS (TiN Kaplamalı) Matkap Uç	DLC Kaplamalı Matkap Uç	Karbür (TiAlN Kaplamalı) Matkap Uç
Devir Hızı 4000 dev/dak, İlerleme Hızı 500 mm/dak		
		

Deney çalışması için belirlenen en yüksek kesme parametre değeri olan 4000 dev/dak devir sayısı ve 500 mm/dak ilerleme hızında, ϕ değeri 10 mm olan KARBÜR – TiAlN ve DLC kaplamalı uçların delme sonucu oluşan talaşlar sıkışmış biçimde ortaya çıkmıştır. HSS – TiN kaplamalı takımın alaşımı delmesi sonucu incelenen atık malzemenin süreksiz talaş yapısına sahip olduğu gözlenmiştir. Tablo 3.11 ‘de şekilleriyle birbirine talaşlar gösterilmektedir.

Tablo 3. 12 - 12 mm Çap Değerine Sahip Matkap Uçların Devir Hızı 2000 dev/dak ve İlerleme Hızı 200 mm/dak’ da Delme Sonucu Meydana Getirdiği Talaş Biçimleri

ø 12 (mm)		
HSS (TiN Kaplamalı) Matkap Uç	DLC Kaplamalı Matkap Uç	Karbür (TiAlN Kaplamalı) Matkap Uç
Devir Hızı 2000 dev/dak, İlerleme Hızı 200 mm/dak		
		

Tablo 3.12 ‘de belirtilen 12 mm çap değerine sahip matkap uçların devir sayısı 2000 dev/dak ve ilerleme hızı 200 mm/dak ilerleme hızında uçların oluşturduğu bütün talaşlar sürekli yapıya sahiptir. HSS – TiN ve DLC kaplamalı uçların biçimlendirme sonucu elde edilen sürekli talaşların, helisel yapısı sıkışmış forma sahip olduğu görülmüştür.

Tablo 3. 13 - 12 mm Çap Değerine Sahip Matkap Uçların Devir Hızı 3000 dev/dak ve İlerleme Hızı 400 mm/dak’ da Delme Sonucu Meydana Getirdiği Talaş Biçimleri

ø 12 (mm)		
HSS (TiN Kaplamalı) Matkap Uç	DLC Kaplamalı Matkap Uç	Karbür (TiAlN Kaplamalı) Matkap Uç
Devir Hızı 3000 dev/dak, İlerleme Hızı 400 mm/dak		
		

Artan devir sayısı ve ilerleme hızında 12 mm çap değerine sahip takımların delme sonucu; HSS – TiN kaplamalı ucun oluşturduğu talaşlar sıkışmış, DLC kaplamalı takımından elde edilen parçacıklar helis yapısı sıkışmış sürekli talaş ve KARBÜR – TiAlN uçtan meydana gelen talaşlar ise kısmen süreksiz talaş biçiminde oluşmuş olup Tablo 3.13 ‘de gösterilmektedir.

Tablo 3. 14 - 12 mm Çap Değerine Sahip Matkap Uçların Devir Hızı 4000 dev/dak ve İlerleme Hızı 500 mm/dak’ da Delme Sonucu Meydana Getirdiği Talaş Biçimleri

ø 12 (mm)		
HSS (TiN Kaplamalı) Matkap Uç	DLC Kaplamalı Matkap Uç	Karbür (TiAlN Kaplamalı) Matkap Uç
Devir Hızı 4000 dev/dak, İlerleme Hızı 500 mm/dak		
		

Tablo 3.14 ‘de gösterilen biçimler, deney çalışmasında kullanılan 12 mm çap değerine sahip olan takımların devir sayısı 4000 dev/dak ve ilerleme hızı 500 mm/dak ilerleme hızında alüminyum alaşımını delmeleri sonucu, HSS – TiN kaplamalı uçtan oluşan talaşlar sıkışmış yapıya, DLC kaplamalı uçtan elde edilen parçalar helis yapısı gevşek kısa sürekli talaş şeklinde olmuştur. KARBÜR – TiAlN kaplamalı takımından oluşan talaşlar, süreksiz talaş yapısında meydana gelmiştir.

Tablo 3. 15 - 14 mm Çap Değerine Sahip Matkap Uçların Devir Hızı 2000 dev/dak ve İlerleme Hızı 200 mm/dak’ da Delme Sonucu Meydana Getirdiği Talaş Biçimleri

ø 14 (mm)		
HSS (TiN Kaplamalı) Matkap Uç	DLC Kaplamalı Matkap Uç	Karbür (TiAlN Kaplamalı) Matkap Uç
Devir Hızı 2000 dev/dak, İlerleme Hızı 200 mm/dak		
		

Tablo 3.15 ‘de belirtilen ilk kesme parametre değerlerinde, HSS – TiN kaplamalı ucun delme sonucu malzemeden kopan parçacıklar helis yapısı bozulmuş sürekli talaş meydana getirmiştir. DLC kaplamalı takımın malzemeyi delme sonrası elde edilen parçacık yapısı sürekli uzun talaş ve KARBÜR – TiAlN kaplamalı ucun işlem sonrası görülen talaşlar ise helis yapısı geniş talaş ve kısa sıkışmış talaş formunda olduğu görülmüştür.

Tablo 3. 16 - 14 mm Çap Değerine Sahip Matkap Uçların Devir Hızı 3000 dev/dak ve İlerleme Hızı 400 mm/dak’ da Delme Sonucu Meydana Getirdiği Talaş Biçimleri

ø 14 (mm)		
HSS (TiN Kaplamalı) Matkap Uç	DLC Kaplamalı Matkap Uç	Karbür (TiAlN Kaplamalı) Matkap Uç
Devir Hızı 3000 dev/dak, İlerleme Hızı 400 mm/dak		
		

İkinci kesme şartlarında yani, 3000 dev/dak devir sayısı ve 400 mm/dak ilerleme hızında 12 mm çap değerindeki takımlarda, HSS – TiN kaplamalı matkap ucun delmesi sonucu dolaşık bant yapılı talaş biçimi oluşmuştur. DLC kaplamalı ucun işlemden sonra alaşımdan kopan parçacıklar, helis yapısı sıkışmış sürekli talaş biçimini almıştır. KARBÜR – TiAlN kaplamalı takımın şekillendirme sonucu meydana getirdiği talaşlar, uzun sıkışmış talaş ve süreksiz talaş şeklinde elde edilmiştir. Oluşan talaş biçimleri Tablo 3.16 ‘da gösterilmektedir.

Tablo 3. 17 - 14 mm Çap Değerine Sahip Matkap Uçların Devir Hızı 4000 dev/dak ve İlerleme Hızı 500 mm/dak’ da Delme Sonucu Meydana Getirdiği Talaş Biçimleri

ø 14 (mm)		
HSS (TiN Kaplamalı) Matkap Uç	DLC Kaplamalı Matkap Uç	Karbür (TiAlN Kaplamalı) Matkap Uç
Devir Hızı 4000 dev/dak, İlerleme Hızı 500 mm/dak		
		

Tablo 3.17 ‘de belirtilen en yüksek kesme şartları, matkap uç çap ve tipleri sonucu, HSS – TiN kaplamalı ucun delme sonucu meydana gelen talaş yapısı dolaşık bant formunu ve DLC kaplamalı ucunda oluşturduğu parçacıkların helis yapısı sıkışmış sürekli talaş formunu koruduğu gözlenmiştir. KARBÜR – TiAlN kaplamalı takımın alüminyum alaşımı işlemesi sonrası malzemeden kopan taneler, süreksiz talaş biçiminde ortaya çıkmıştır.

3.3.2 Matkap Uç Zorlanmaları ve Çalışma Süreleri

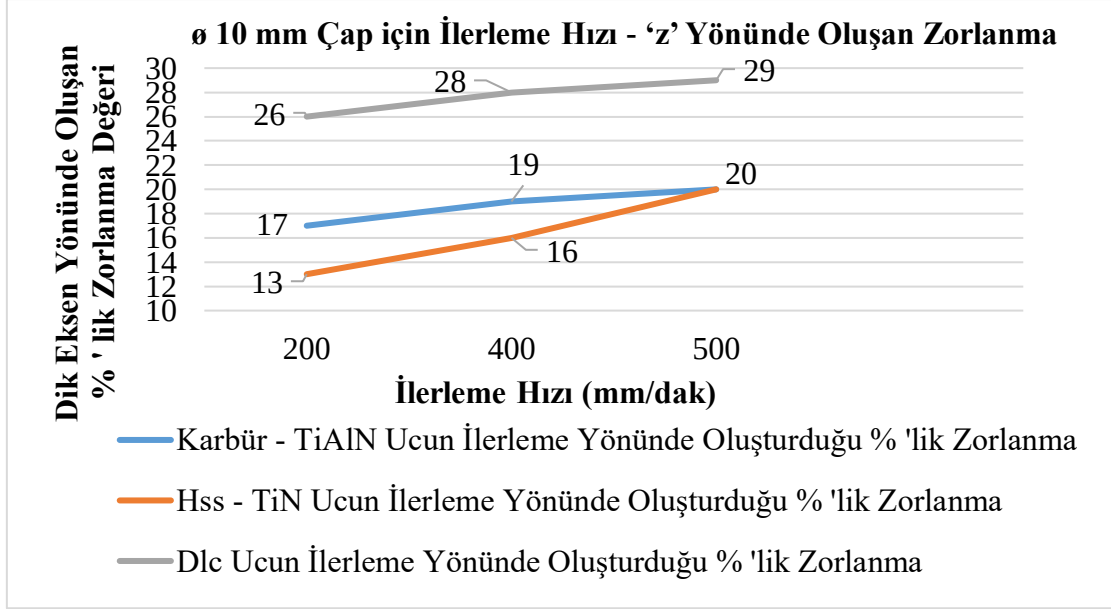
CNC dik işleme tezgahında işleme sırasında dik eksen üzerinde oluşan maksimum zorlanmalar (‘z’) tezgah ekranından takip edilerek, kayıt altına alınmıştır. Bu veriler değerleriyle birlikte Tablo 3.18 ‘de gösterilmektedir. Delme esnasında, bütün matkap uçların delme işlemini tamamladığı süreler aynı tabloda belirtilmektedir.

Tablo 3. 18 - %' lik Zorlanma ('z') ve Matkap Uçlarının İşleme Süreleri

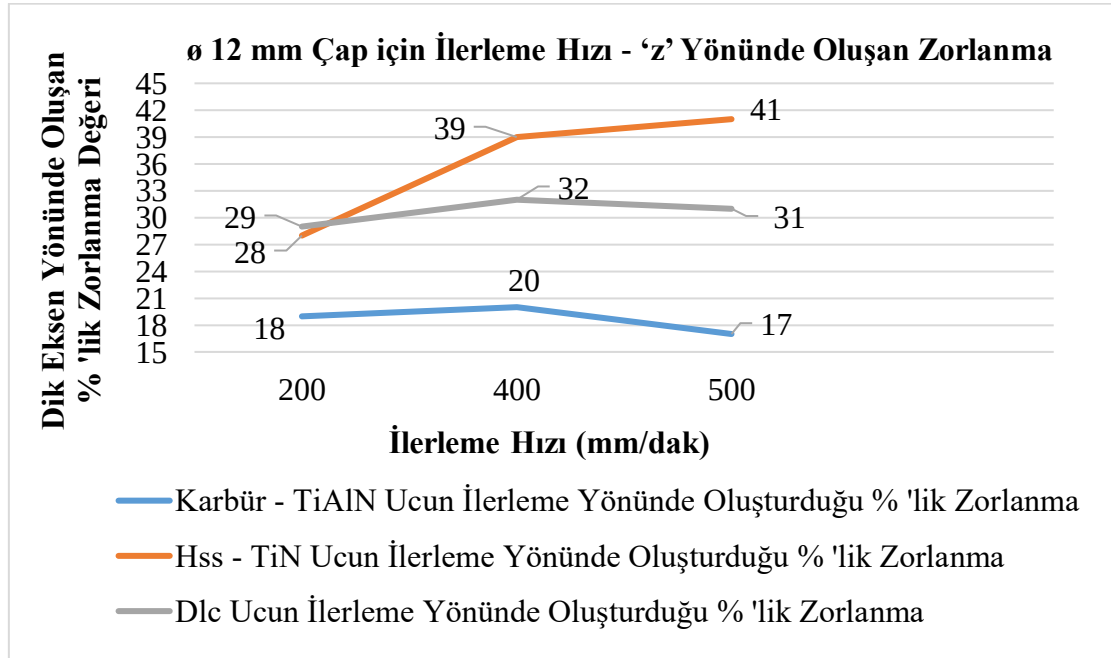
	Deney No	Çap Değeri Ø (mm)	Kesme Parametreleri		CNC Dik İşleme Tezgah Ekranında 'z' ekseninde oluşan % 'lik zorlanmalar	Her Delik için İşlem Süresi (matkap ucunun malzemeye yaklaşma, malzemeyi delme ve malzemeden ayrılma süresi toplamı - sn)
			Devir Sayısı, N (devir/dak)	İlerleme Hızı, Vf (mm/dak)		
HSS (TiN) Uç	1	10	2000	200	13	26
	2	10	3000	400	16	17
	3	10	4000	500	20	16
	4	12	2000	200	28	20
	5	12	3000	400	39	17
	6	12	4000	500	41	16
	7	14	2000	200	29	18
	8	14	3000	400	33	16
	9	14	4000	500	30	15
Karbür (TiAlN) Uç	10	10	2000	200	17	21
	11	10	3000	400	19	18
	12	10	4000	500	20	17
	13	12	2000	200	18	20
	14	12	3000	400	20	17
	15	12	4000	500	17	17
	16	14	2000	200	23	19
	17	14	3000	400	25	17
	18	14	4000	500	28	16
DLC Uç	19	10	2000	200	26	19
	20	10	3000	400	28	18
	21	10	4000	500	29	17
	22	12	2000	200	29	20
	23	12	3000	400	32	18
	24	12	4000	500	31	17
	25	14	2000	200	29	20
	26	14	3000	400	32	18
	27	14	4000	500	29	17

3.3.3 Dik Eksen Yönünde CNC Tezgahta Oluşan Zorlanma Grafikleri

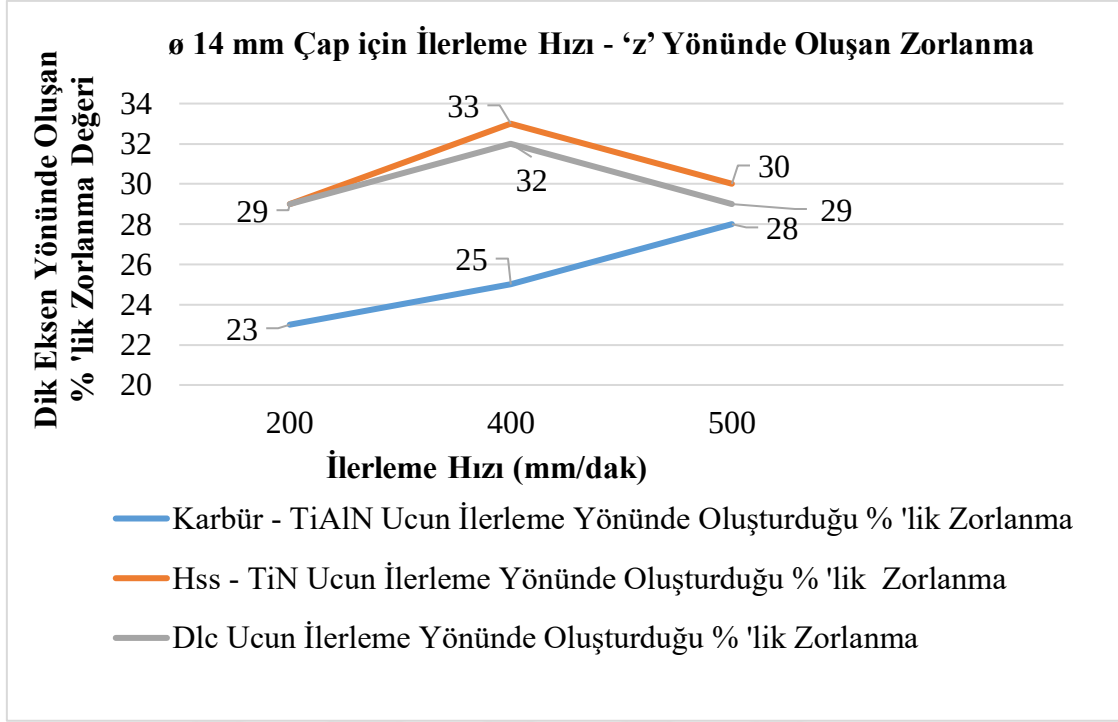
Şekil 3.11, 3.12 ve 3.13’ de CNC dik işleme tezgahında ‘z’ yönünde oluşan zorlanmaların matkap uç çap değerine ve ilerleme hızına göre oluşturulmuş grafikleri gösterilmektedir.



Şekil 3. 11 - ø 10 mm Çapındaki Matkap Uç için Farklı İlerleme Hızlarında ‘z’ Yönünde Oluşan % ‘lik Zorlanma Grafiği



Şekil 3. 12 - ø 12 mm Çapındaki Matkap Uç için Farklı İlerleme Hızlarında ‘z’ Yönünde Oluşan % ‘lik Zorlanma Grafiği



Şekil 3. 13 - ø 14 mm Çapındaki Matkap Uç için Farklı İlerleme Hızlarında 'z' Yönünde Oluşan %'lik Zorlanma Grafiği

3.3.4 Matkap Uçlarının Ağırlık Ölçümleri

Her bir matkap ucu (KARBÜR – TiAlN kaplamalı, HSS – TiN kaplamalı ve DLC kaplamalı) kullanılmadan önce hassas kuyumcu terazisinde ölçülüp, farklı çaptaki (10 - 12 – 14 mm) uçlar için gram cinsinden kütleleri kaydedilmiştir. CNC dik işleme tezgahında, kesme parametrelerinden olan devir sayısı - dev/dak (devir sayısına bağlı değişken kesme hızı - m/dak cinsinden) ve ilerleme hızı - mm/dak için sırasıyla 2000-3000-4000 ve 200-400-500 belirlendikten sonra her çap ve tipte olan matkap uçlar için ilk delik devir sayısı 2000 dev/dak ve ilerleme hızı 200 mm/dak 'da delme işlemini tamamlamıştır. İkinci delik, devir sayısı 3000 dev/dak ve ilerleme hızı 400 mm/dak, üçüncü delik ise devir sayısı 4000 dev/dak ve ilerleme hızı 500 mm/dak 'da uygulandıktan sonra aynı hassas kuyumcu terazisinde her bir matkap uç tekrar tartılmış ve ağırlıkları gram cinsinden tekrar kayıt altına alınarak Tablo 3.19 'da gösterilmektedir.

Tablo 3. 19 - Matkap Uçların Ağırlıklarında Oluşan Yüzdelik Fark

Matkap Uçlarının Yüzdelik Ağırlık Farkı Tablosu				
Matkap Uç Tipleri	Matkap Uç Çapları (mm)	İşlemden Önceki Matkap Uçlarının Ağırlıkları (gr)	İşlemden Sonraki Matkap Uçlarının Ağırlıkları (gr)	Yüzdelik Fark (%)
HSS - TiN Kaplamalı Matkap Uçlar	ø 10	56,92	56,90	0,035
	ø 12	88,73	88,71	0,022
	ø 14	125,22	125,20	0,015
KARBÜR - TiAlN Kaplamalı Matkap Uçlar	ø 10	78,51	78,50	0,012
	ø 12	119,60	119,59	0,008
	ø 14	180,88	180,87	0,005
DLC Kaplamalı Matkap Uçlar	ø 10	54,26	54,24	0,036
	ø 12	91,28	91,26	0,021
	ø 14	130,21	130,19	0,015

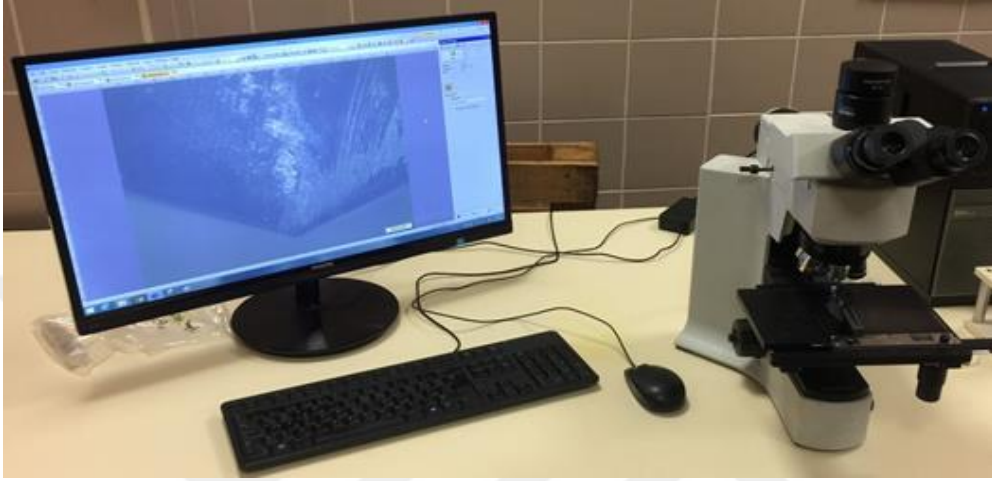
Kullanılmadan önce gram cinsinden ölçülen matkap uç ağırlıkları ve kullanıldıktan yani delme işlemini tamamladıktan sonra ölçülen matkap uç ağırlıkları arasında kayda değer bir azalma görülmemiştir. Ortaya çıkan ağırlık farkı, ihmal edilebilir oranda olup göz ardı edilebilir.

3.3.5 Matkap Uçlarda Delme Sonucu Oluşan Aşınmalar

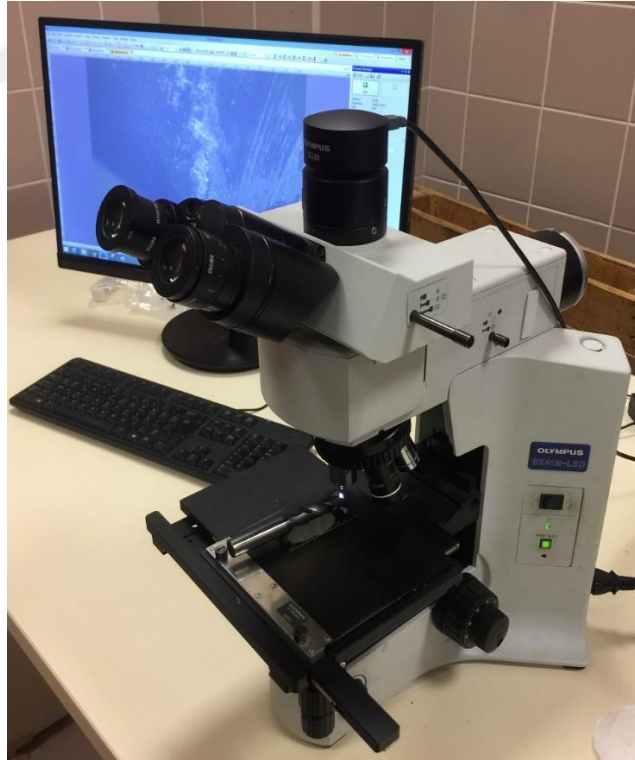
Deney çalışması sonucu matkap uçlarında oluşan aşınmalar her bir matkap uç için incelenmiş olup, bilgisayar vasıtası ile aşınma görüntüleri elde edilmiştir. Aşınan, kırılan veya hasar görmüş yüzeyleri ve matkap uç kaplamasının aşınmasının detaylı incelemek için Olympus SC30 / BX41M–Led Mikro-elektronik Muayene Mikroskobu kullanılmıştır. Bu mikroskop aydınlatıcı olarak yansımali ışık, 3W Beyaz Led için dahili güç kaynağı, ışık ayar anahtarı özelliklerine sahiptir. Olympus SC30 / BX41M–Led için teknik özellikler Tablo 3.20 'de gösterilmiştir. Olympus SC30 / BX41M – Led mikroskop ile karanlık alan, aydınlık alan, diferansiyel interferans kontrast ve polarize ışık kontrastı ile görüntüleme seçenekleri sayesinde numunelerin mikro-yapısı görüntülenerek malzemede oluşan aşınmalar elde edilmektedir. Şekil 3.14 ve 3.15 'de kullanılan mikroskobun fotoğrafları sunulmaktadır.

Tablo 3. 20 - Olympus SC30 / BX41M – Led Mikroskobu Teknik Özellikleri

Büyütme	5x, 10x, 20x, 50x ve 100x
Çalışma / Ölçme Uzunluğu	200 μm , 100 μm , 50 μm , 20 μm ve 1 μm
Koaksiyal Eksen (sağ-sol)	X : 76 (mm) ve Y : 52 (mm)



Şekil 3. 14 - Bilgisayar Destekli Mikroskopta İncelenen Aşınma Görüntüsü



Şekil 3. 15 - Karbür – TiAlN Kaplamalı Matkap Ucu Olympus SC30 Mikroskobu Altında Aşınma Yapısının İncelenmesi

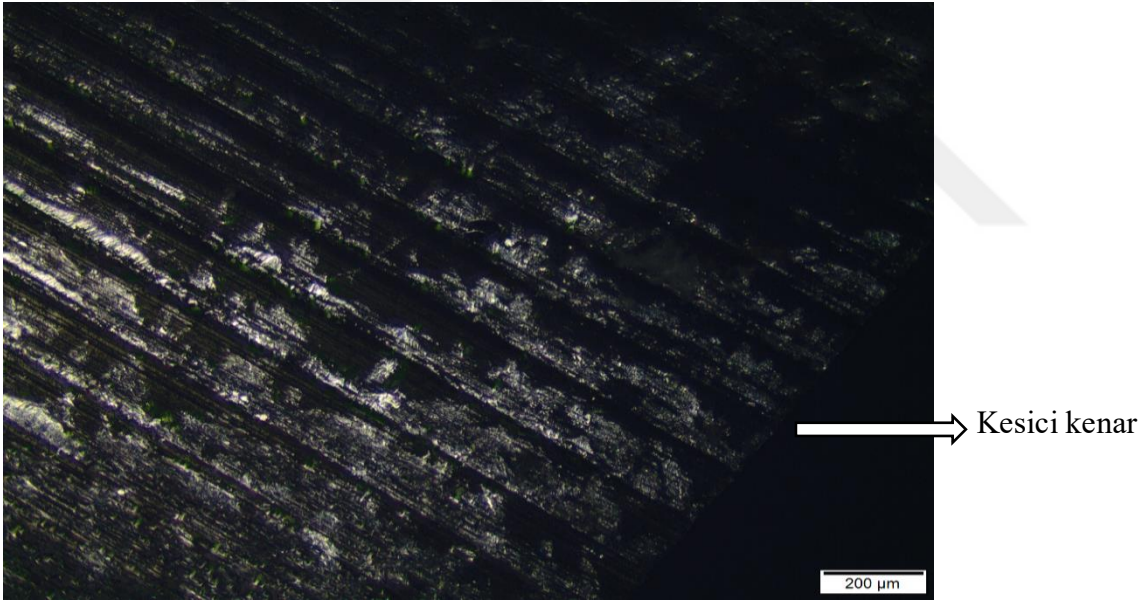
Belirlenen koşullar altında, bütün uçlar delme neticesinde üçer tane delik oluşturdu ve bunun sonucunda matkap uçlarda oluşan aşınma görüntüleri 5k büyütme ile 200 µm yaklaşma yapılarak her bir uç için araştırılmıştır. Deney uygulaması belirlenen şartlarda gerçekleştirdikten sonra, aşınma yapıları incelenen kullanılmış matkap uçların hiçbirinde kırılma olgusu oluşmayıp, takım ömürleri bu delme işlemi için oldukça verimli olduğu söylenebilir.

3.3.5.1 DLC Kaplamalı Matkap Uçların Aşınma Görüntüleri

Ø 10 mm çap değerine sahip DLC kaplamalı uçta oluşan aşınmaların incelendiği bölge Şekil 3.16’ da gösterilmektedir.

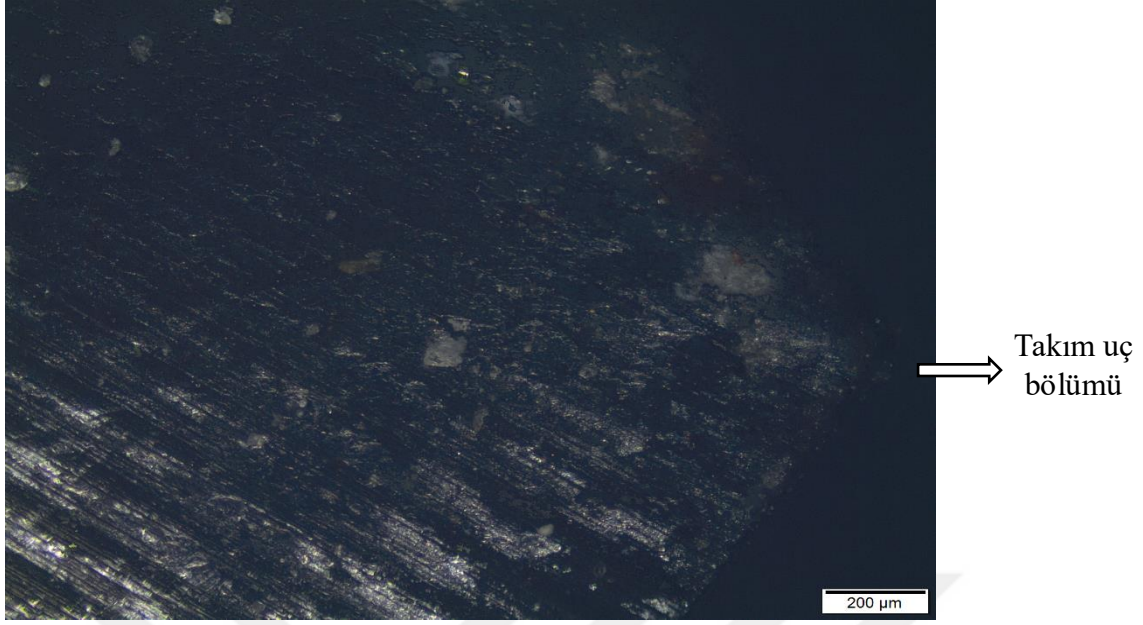


Şekil 3. 16 - Ø 10 mm DLC Kaplamalı Uç

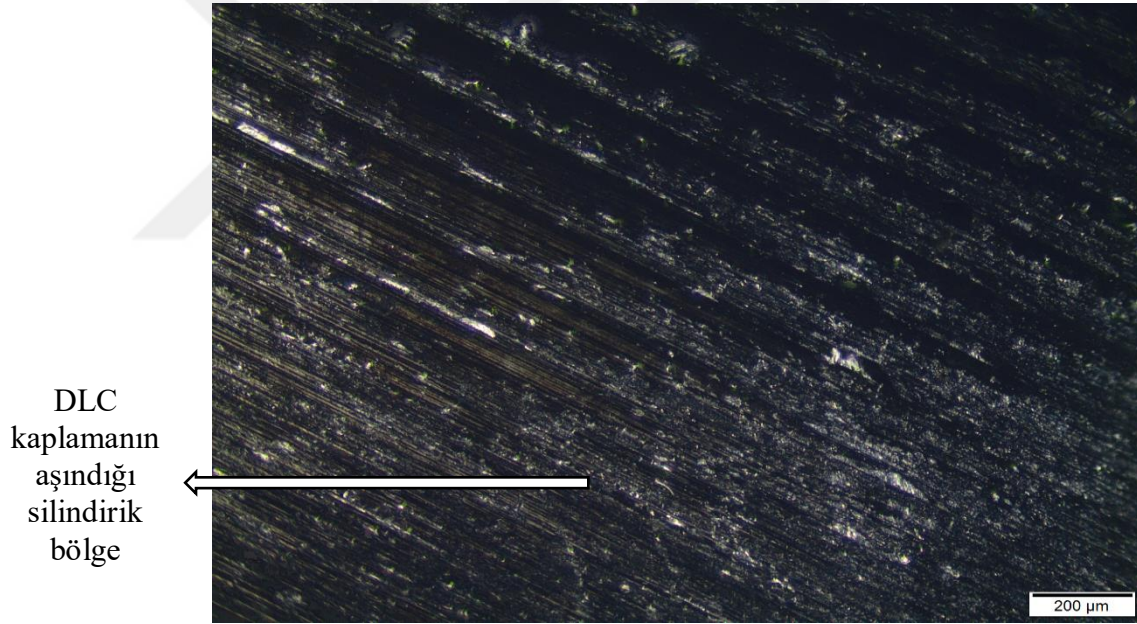


Şekil 3. 17 - Çap 10 mm olan DLC Kaplamalı Ucun Aşınma Görüntüsü - 1

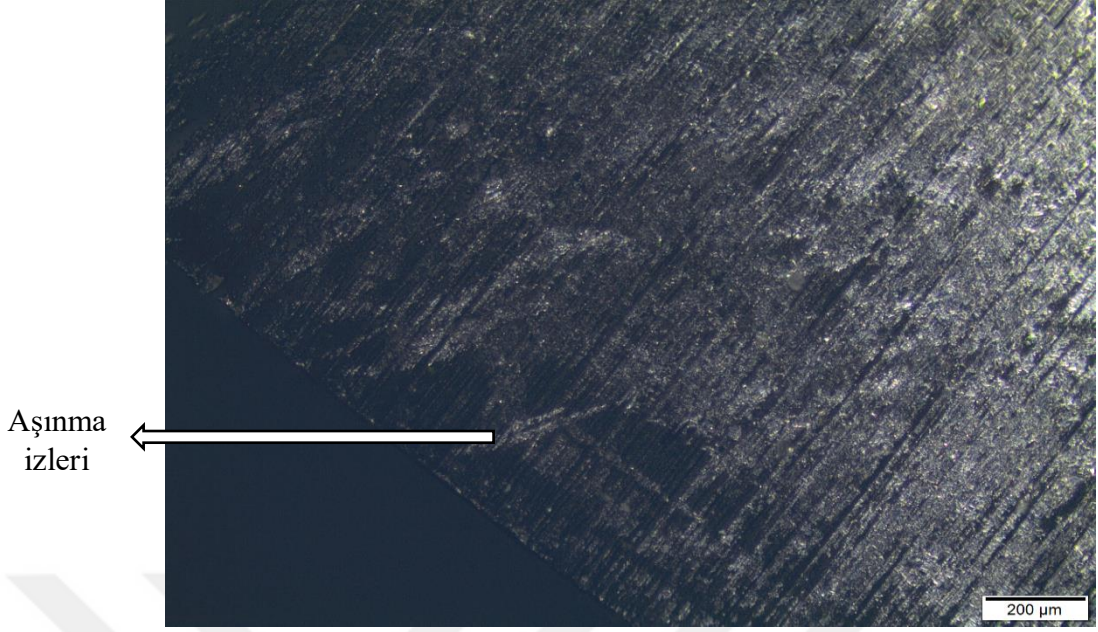
Alüminyum alaşımlı malzemelerin delinmesinde, işlenmesinde veya şekillendirilmesinde DLC kaplamalı uçların kullanılmasının en büyük avantajı yapışmaya karşı özellik sergilemesidir. Alüminyum alaşımların işlenmesi esnasında takıma sıvanma sorunu görülmesinden dolayı bu tip kaplamalı uçlar kullandı ve bunun sonucu olarak matkap ucta sıvanma sıkıntısı, kesme parametre değerlerinin hiçbir seviyesinde yani en düşük ve en yüksek devir sayısı ve ilerleme hızında bu uç için gözlenmemiş olup Şekil 3.17 ‘de gösterilmiştir.



Şekil 3. 18 - Çap 10 mm olan DLC Kaplamalı Uçun Aşınma Görüntüsü - 2



Şekil 3. 19 - Çap 10 mm olan DLC Kaplamalı Uçun Aşınma Görüntüsü - 3
Aşınmalar irdelenirken, takımın uç yani Şekil 3.18 ‘de gösterilen kısmı ve silindirik yani Şekil 3.19 ‘da belirtilen kısmından elde edilen görüntüler kaydedilmiştir. DLC kaplamanın helisel ya da silindirik bölgeye doğru aşınması yüksek devir sayısı ve ilerleme hızının kullanılması akabinde gerçekleşmiş olup, bu alınan mikroskop görüntüleri ucun hiçbir kesme koşulu altında çatlama ve kırılma eğiliminde olmadığını göstermiş oldu.



Şekil 3. 20 - Çap 10 mm olan DLC Kaplamalı Uçun Aşınma Görüntüsü - 4

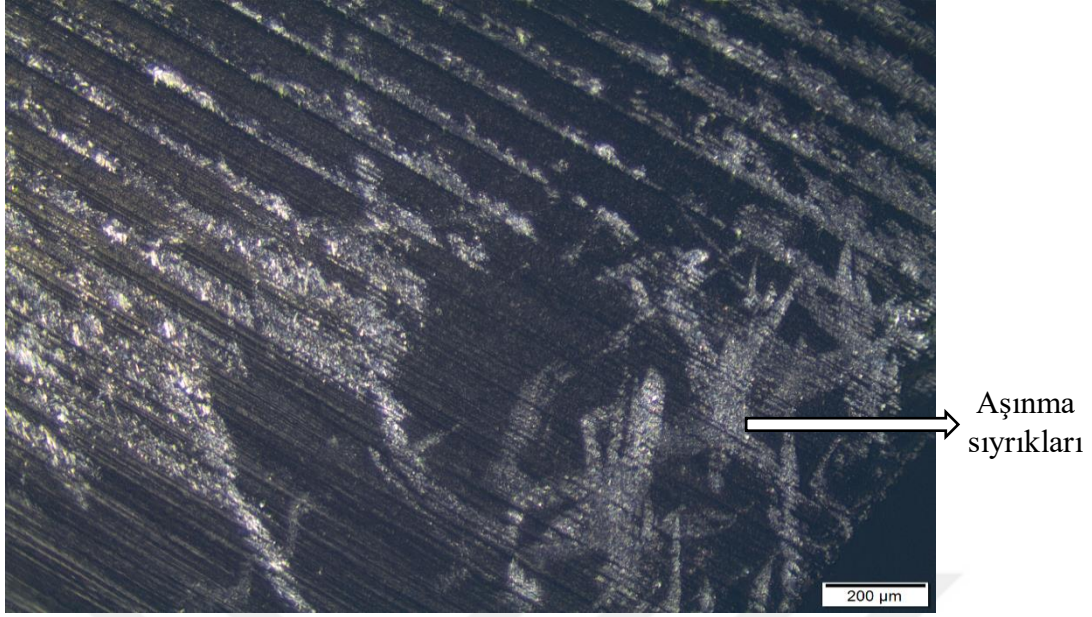
Şekil 3.20 'de gösterilen çap değeri 10 mm olan DLC kaplamalı uçta, krater aşınması ve kenar aşınması formları görülmemiştir. DLC kaplamanın uç yüzeyinde sıyrılması yüksek oranda helisel bölgede olduğu saptanmıştır. Yüksek ilerleme hızları, takım uç kısmında aşınma izleri ve sıyrıklarına neden olduğu anlaşılmıştır.

Ø 12 mm çap değerine sahip DLC kaplamalı uçta oluşan aşınmaların incelendiği bölge Şekil 3.21' de gösterilmektedir.

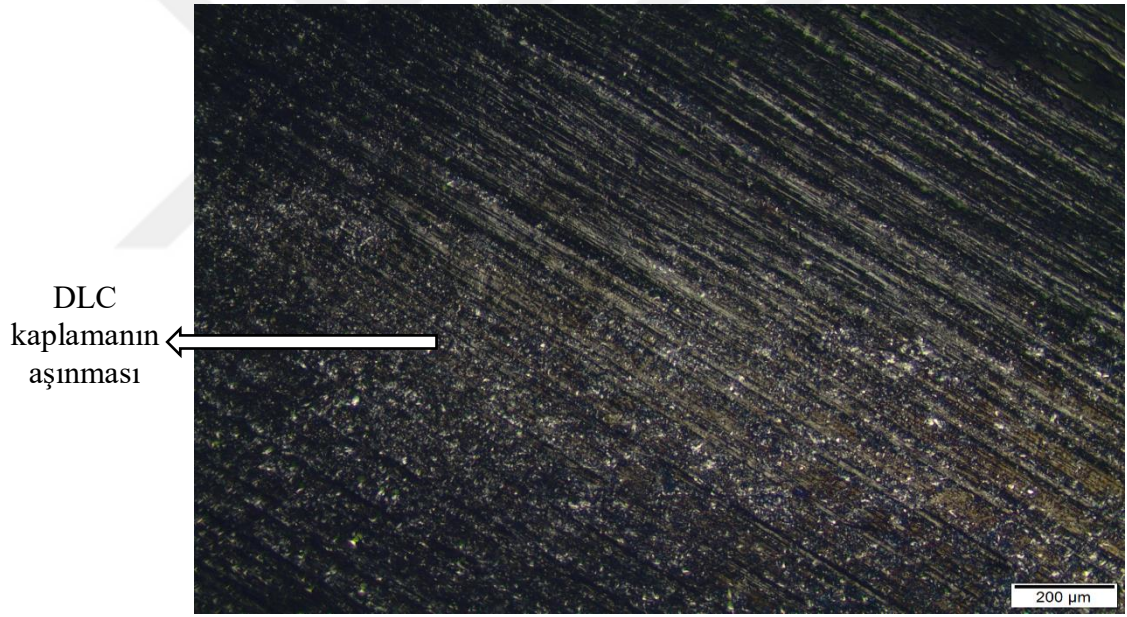


Şekil 3. 21 - Ø 12 mm DLC Kaplamalı Uç

12 mm çaplı DLC kaplamalı ucun delme işlemini bitirdiğinde, matkap ucunda çatlama veya kırılma eylemi oluşmamıştır. Bunların ışığında, matkap uç kullanım ömrü açısından olumlu sonuçlar vermesine karşın oluşturduğu deliklerin pürüzlülük değerleri oldukça yüksek olmuştur. DLC kaplama, deney çalışması için kullanılan TiN ve TiAlN kaplamaya oranla daha düşük sıcaklıklarda kullanıma uygun olmasına rağmen takımda ısıl çatlak oluşumu kaydedilmemiştir.

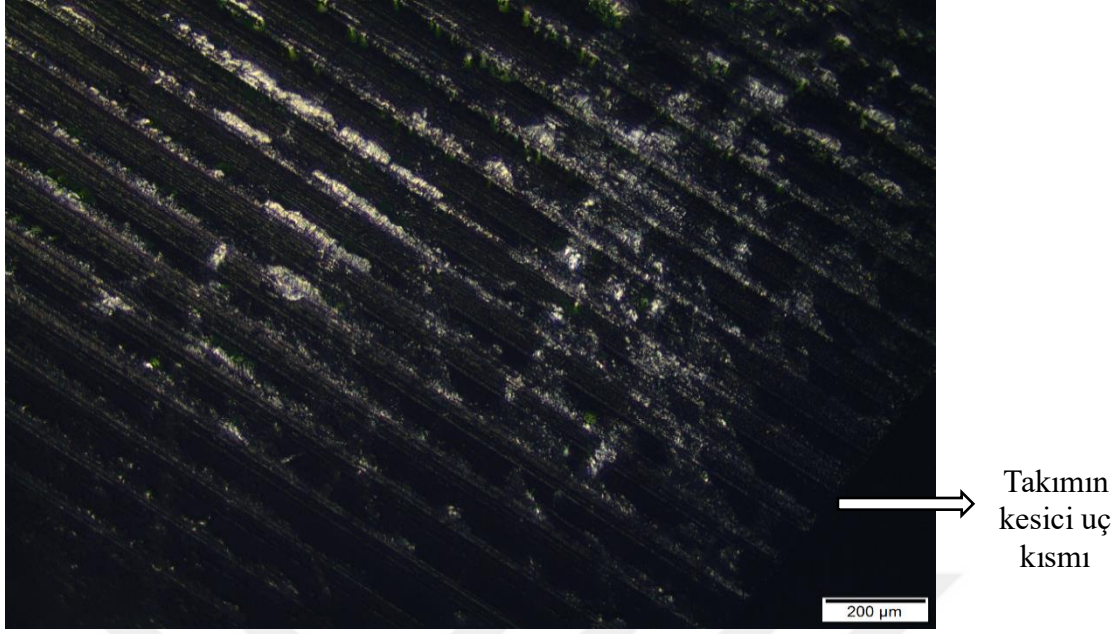


Şekil 3. 22 - Çap 12 mm olan DLC Kaplamalı Ucun Aşınma Görüntüsü - 1

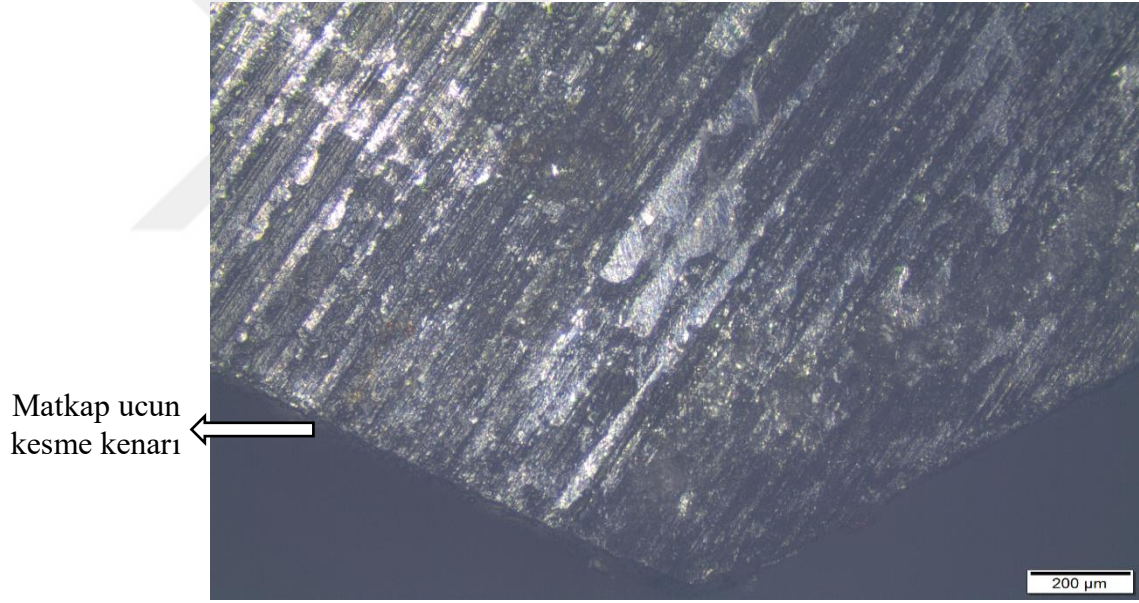


Şekil 3. 23 - Çap 12 mm olan DLC Kaplamalı Ucun Aşınma Görüntüsü – 2

Şekil 3.22 ‘de belirtilen 12 mm çap değerindeki takımın kesici uç bölgesinde oluşan aşınma sıyrıkları ve çizikler, takımın malzemeye giriş yapmasında kullanılan yüksek ilerleme hızlarının bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır. DLC kaplama aşınmasının yanı sıra matkap ucun iç bölgelerine doğru yüzeysel aşınmalar olduğu görülmüştür. Şekil 3.23 ‘de matkap ucun helisel bölgesinde olan aşınma biçimi gösterilmektedir.



Şekil 3. 24 - Çap 12 mm olan DLC Kaplamalı Uçun Aşınma Görüntüsü – 3

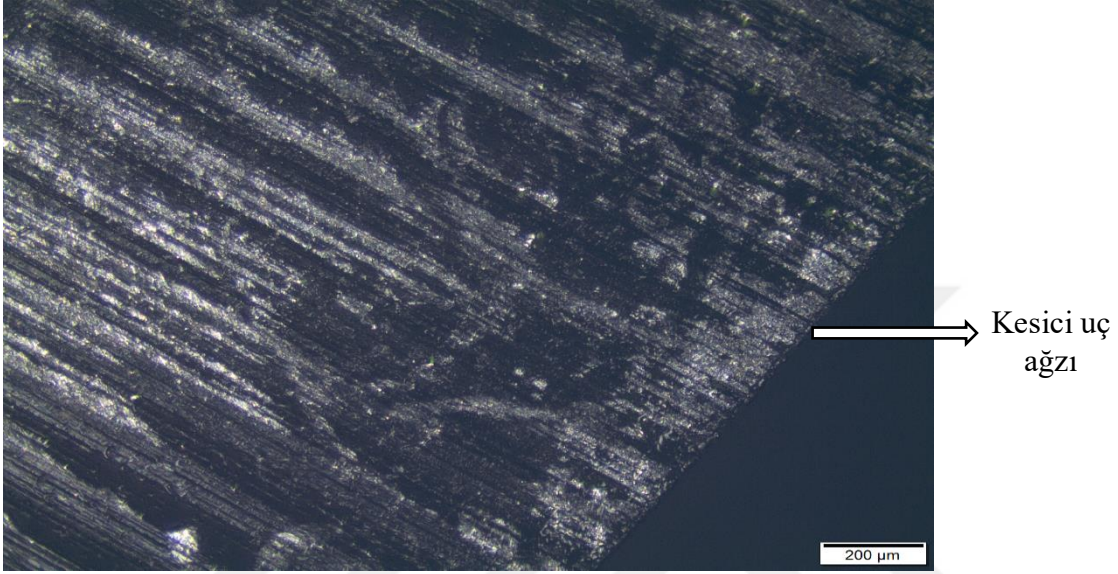


Şekil 3. 25 - Çap 12 mm olan DLC Kaplamalı Uçun Aşınma Görüntüsü – 4
Takımın farklı kısımlarının incelenmesi sonucu, DLC kaplamanın hem Şekil 3.24 ‘de belirtilen kesici uç bölgesinde hem de Şekil 3.25 ‘de gösterilen helisel bölgeye doğru oluşan aşınmalar dışında, sürtünme kaynaklı abrasif aşınma neticesinde beliren kesme kenarı yüzeyinde az oranda gerçekleşmiş serbest yüzey aşınması görülmüştür.

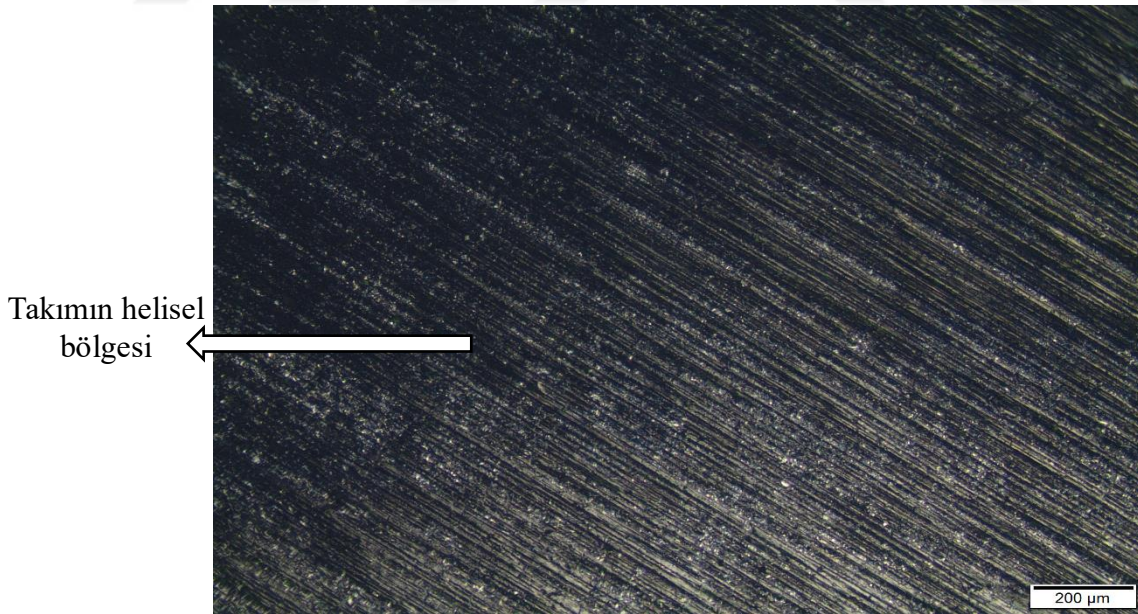
Ø 14 mm çap değerine sahip DLC kaplamalı uçta oluşan aşınmaların incelendiği bölge Şekil 3.26’ da gösterilmektedir.



Şekil 3. 26 - Ø 14 mm DLC Kaplamalı Uç

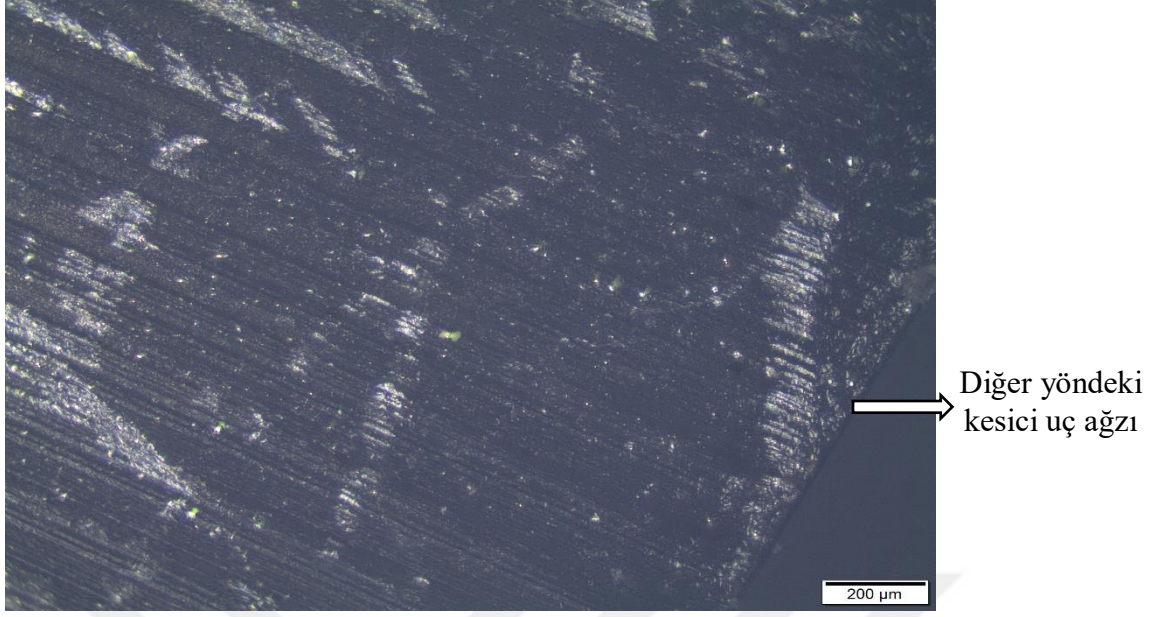


Şekil 3. 27 - Çap 14 mm olan DLC Kaplamalı Ucun Aşınma Görüntüsü - 1

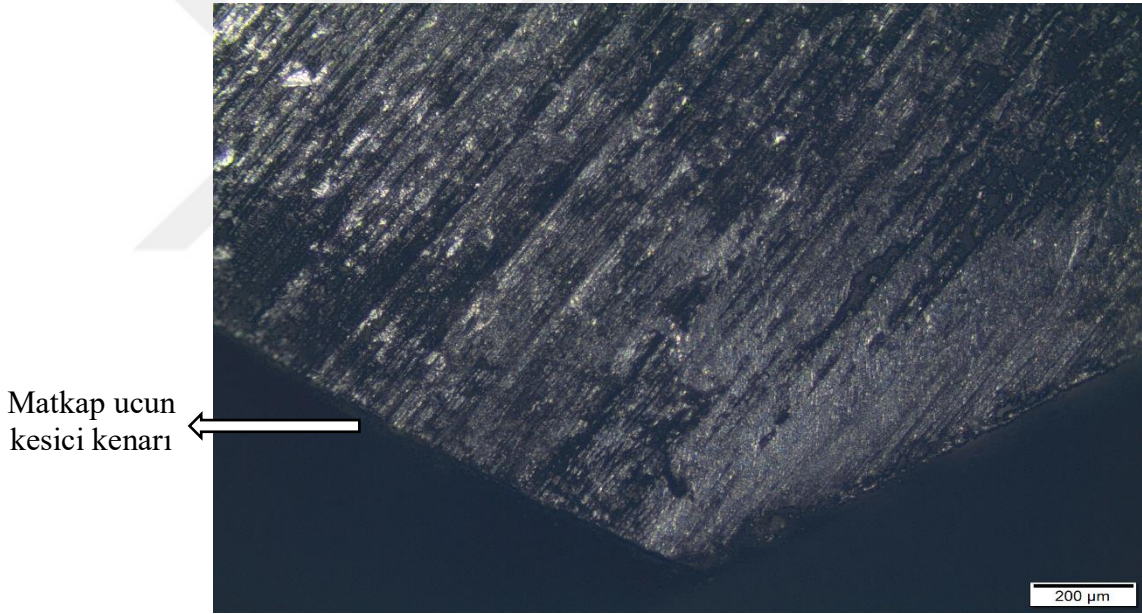


Şekil 3. 28 - Çap 14 mm olan DLC Kaplamalı Ucun Aşınma Görüntüsü - 2

Şekil 3.27 ‘de gösterilen 14 mm çaplı kesici ucun ağız bölümünde DLC kaplamanın yüzeyden ayrılmasının yanında abrasif aşınma tesiriyle yüzeysel aşınmalar ortaya çıkmıştır. Şekil 3.28 ‘de, silindirik bölgede oluşan kaplama aşınması gösterilmektedir.



Şekil 3. 29 - Çap 14 mm olan DLC Kaplamalı Ucun Aşınma Görüntüsü – 3



Şekil 3. 30 - Çap 14 mm olan DLC Kaplamalı Ucun Aşınma Görüntüsü – 4

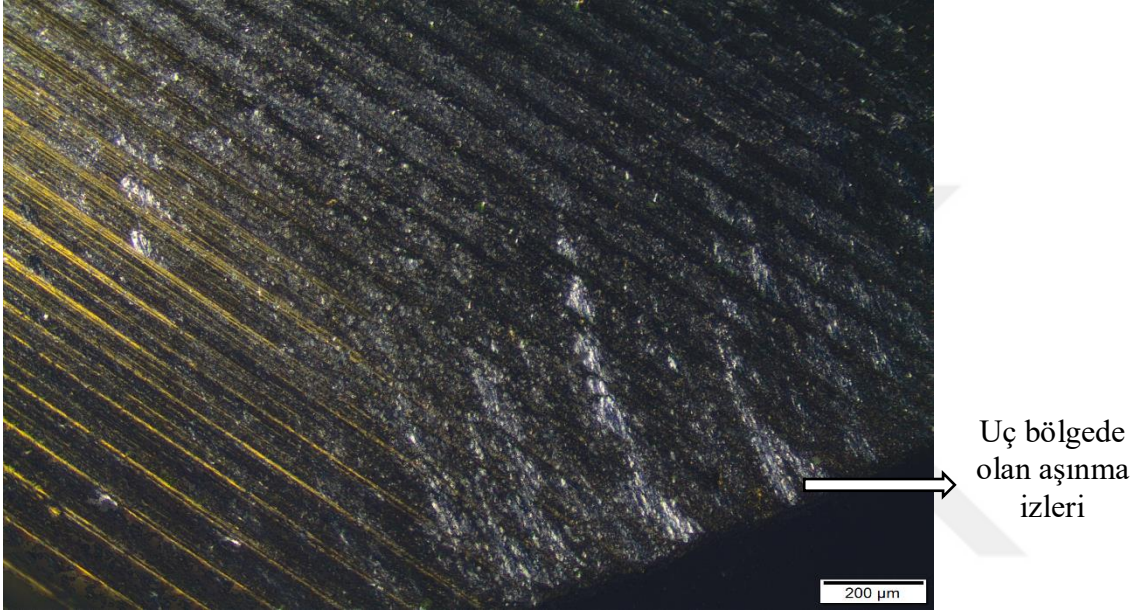
Şekil 3.29 'da sunulan matkap ucun aşınma görüntüsüne bakıldığında krater aşınma tipinin oluşmadığı görülmektedir. Şekil 3.30 'da gösterilen matkap ucun, alüminyum 7075 – T651 alaşımını 30 mm derinlikte deldiği ölçü boyunca genel itibariyle DLC kaplamanın yüzeyden aşındığı ve yüksek kesme koşullarından kaynaklı yüzeysel aşınmaların bazı bölgelerde daha çok oluştuğu kaydedilmiştir.

3.3.5.2 HSS – TiN Kaplamalı Matkap Uçların Aşınma Görüntüleri

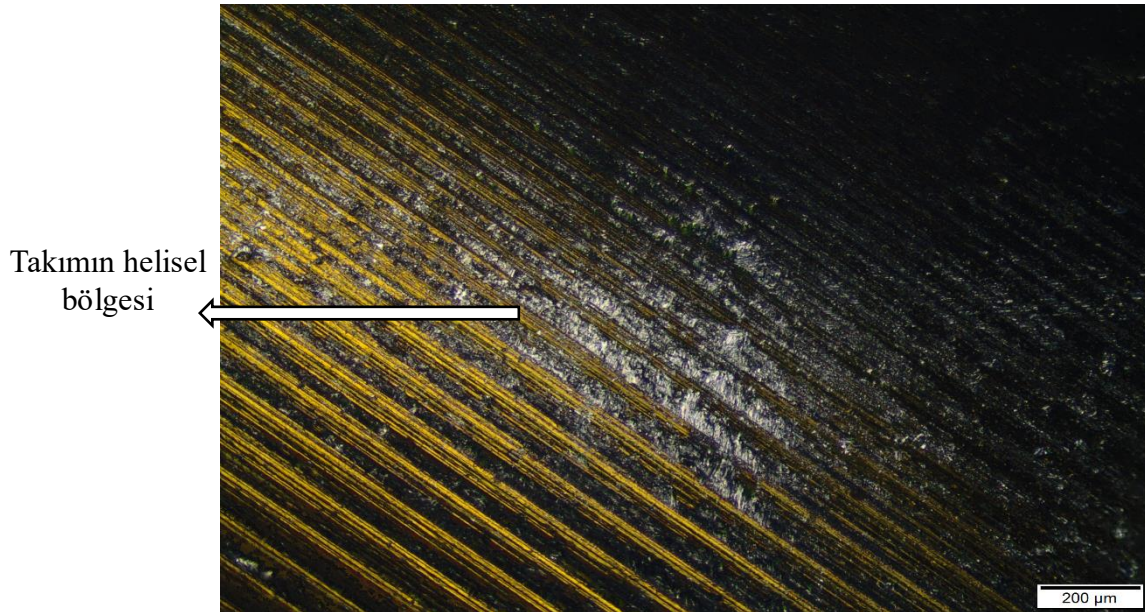
Ø 10 mm çap değerine sahip HSS – TiN kaplamalı uçta oluşan aşınmaların incelendiği bölge Şekil 3.31’ de gösterilmektedir.



Şekil 3. 31 - Ø 10 mm HSS - TiN Kaplamalı Uç

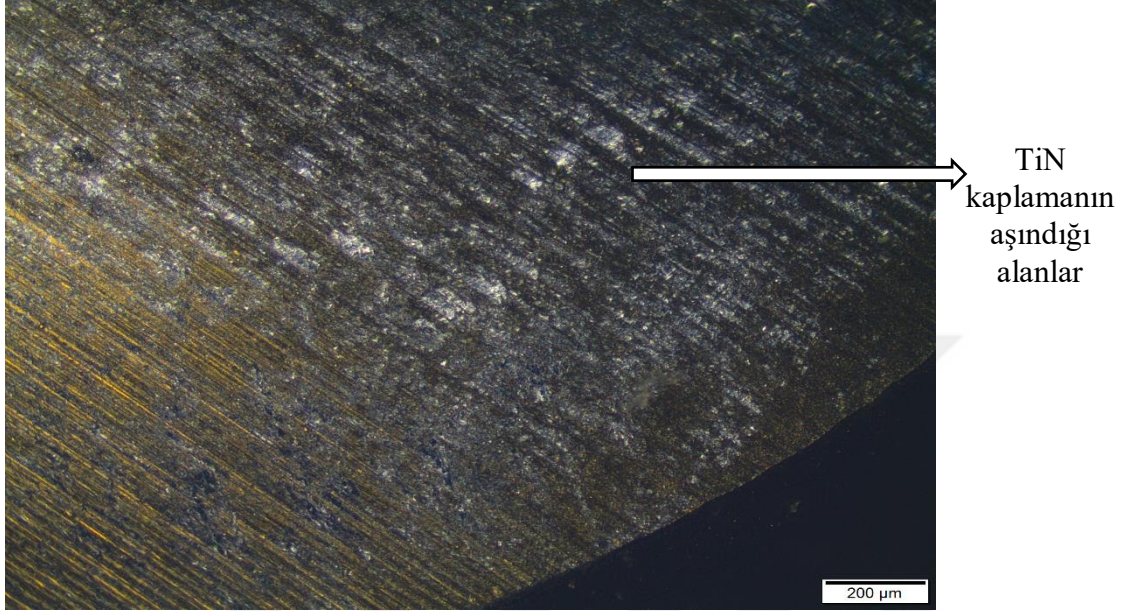


Şekil 3. 32 - Çap 10 mm olan HSS - TiN Kaplamalı Ucun Aşınma Görüntüsü – 1

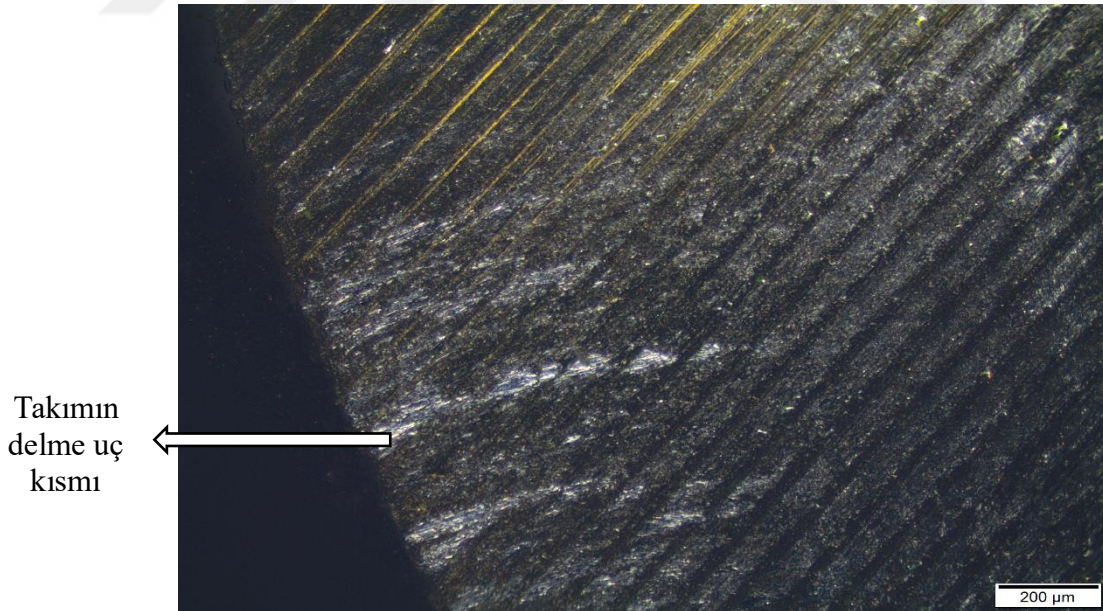


Şekil 3. 33 - Çap 10 mm olan HSS - TiN Kaplamalı Ucun Aşınma Görüntüsü – 2

Şekil 3.32 ‘de gösterilen 10 mm çaplı HSS - TiN kaplamalı takımın kesici uç bölgesinde kullanılan ilerleme hızlarından ötürü yüzeysel aşınma izlerinin oldukça belirgin olduğu gösterilmiştir. Şekil 3.33 ‘de gösterildiği üzere TiN kaplamanın ucun silindirik bölgesinin bir kısmında tamamen yüzeyi terk ettiği görülmüştür.



Şekil 3. 34 - Çap 10 mm olan HSS - TiN Kaplamalı Uçun Aşınma Görüntüsü – 3

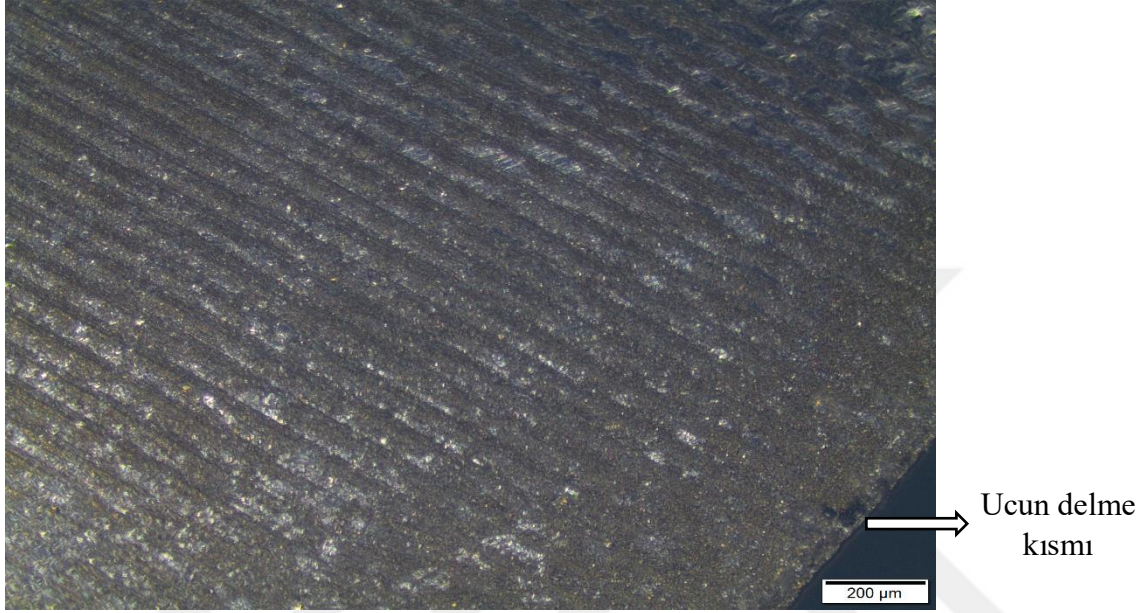


Şekil 3. 35 - Çap 10 mm olan HSS - TiN Kaplamalı Uçun Aşınma Görüntüsü – 4
Şekil 3.34 ve 3.35 ‘de gösterildiği üzere takımda işlem sonunda serbest yüzey aşınması veya krater aşınması gözlenmemiştir. Kaplamanın aşınmasından başka ciddi zararlara neden olacak bir aşınma mekanizması ve tipi oluşmamıştır.

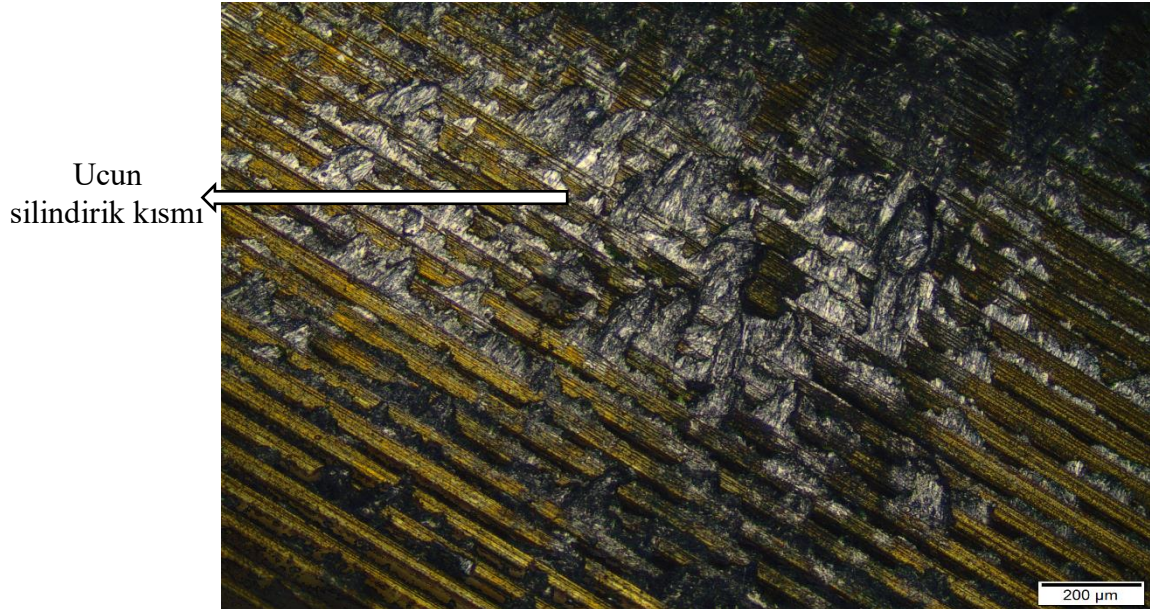
Ø 12 mm çap değerine sahip HSS – TiN kaplamalı uçta oluşan aşınmaların incelendiği bölge Şekil 3.36’ de gösterilmektedir.



Şekil 3. 36 - Ø 12 mm HSS - TiN Kaplamalı Uç

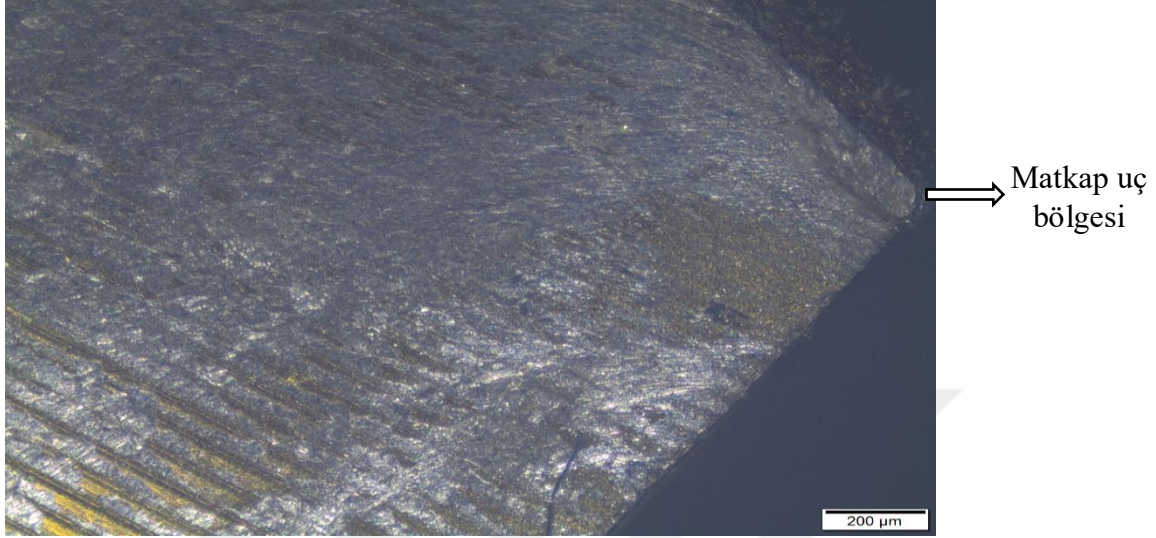


Şekil 3. 37 - Çap 12 mm olan HSS - TiN Kaplamalı Ucu Aşınma Görüntüsü – 1

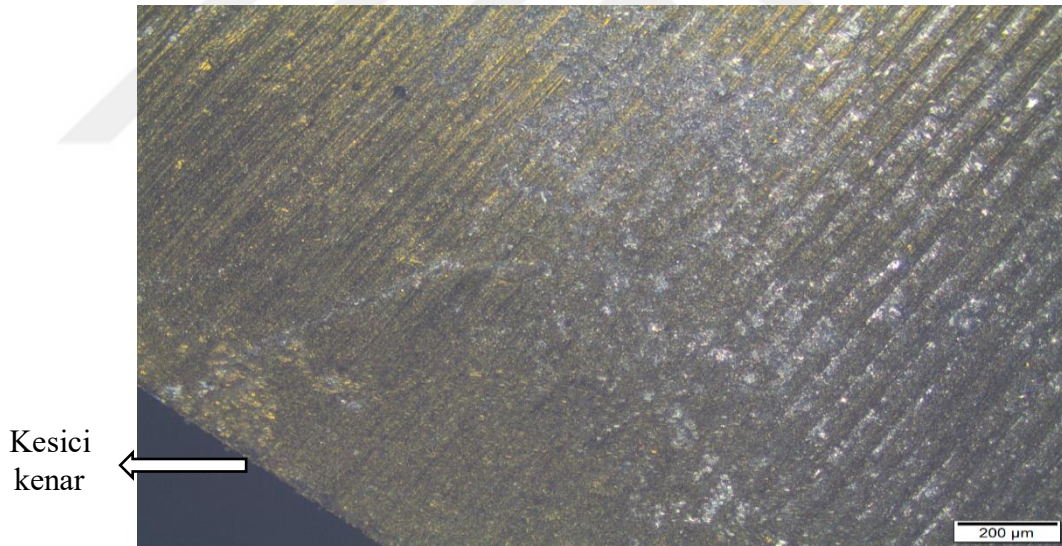


Şekil 3. 38 - Çap 12 mm olan HSS - TiN Kaplamalı Ucu Aşınma Görüntüsü – 2
Şekil 3.37 ‘de takım ucunun delme kısmı gösterilmiş olup, takımdan malzeme kopması oluşmamıştır. Şekil 3.38 ‘de, TiN kaplamanın daha çok silindirik veya helisel bölgede

takım yüzeyinden soyulduğu gösterilmektedir. Kesici kenar boyunca uç malzemesinde kopmalar görülmemiştir. Helisel bölgenin bazı alanlarında TiN kaplamanın aşınmasına artı olarak yüzeysel aşınmaların olduğu belirlenmiştir.

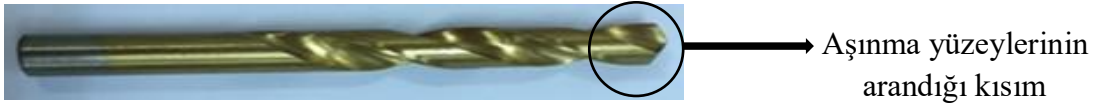


Şekil 3. 39 - Çap 12 mm olan HSS - TiN Kaplamalı Uçun Aşınma Görüntüsü – 3

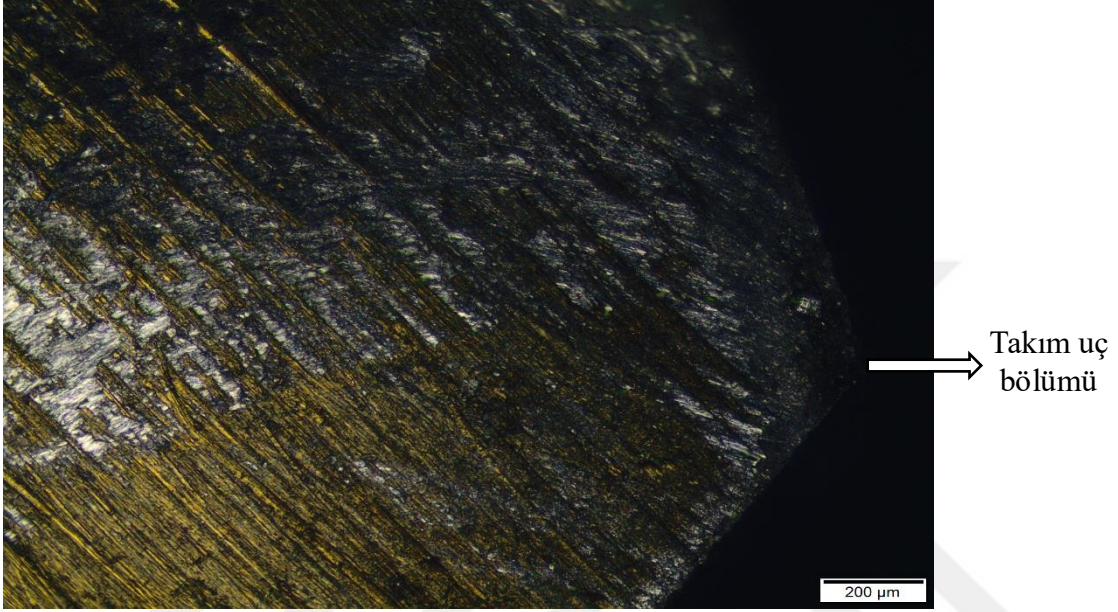


Şekil 3. 40 - Çap 12 mm olan HSS - TiN Kaplamalı Uçun Aşınma Görüntüsü – 4
Şekil 3.39 ‘da gösterildiği üzere takım delme bitiminde sivriliğini kaybetmemiş yani kesici uç aşınması oluşmamıştır. Şekil 3.40 ‘da belirtilen kesici kenarlarda, serbest yüzey aşınması ve matkap uç kırılması gözlemlenmemiştir.

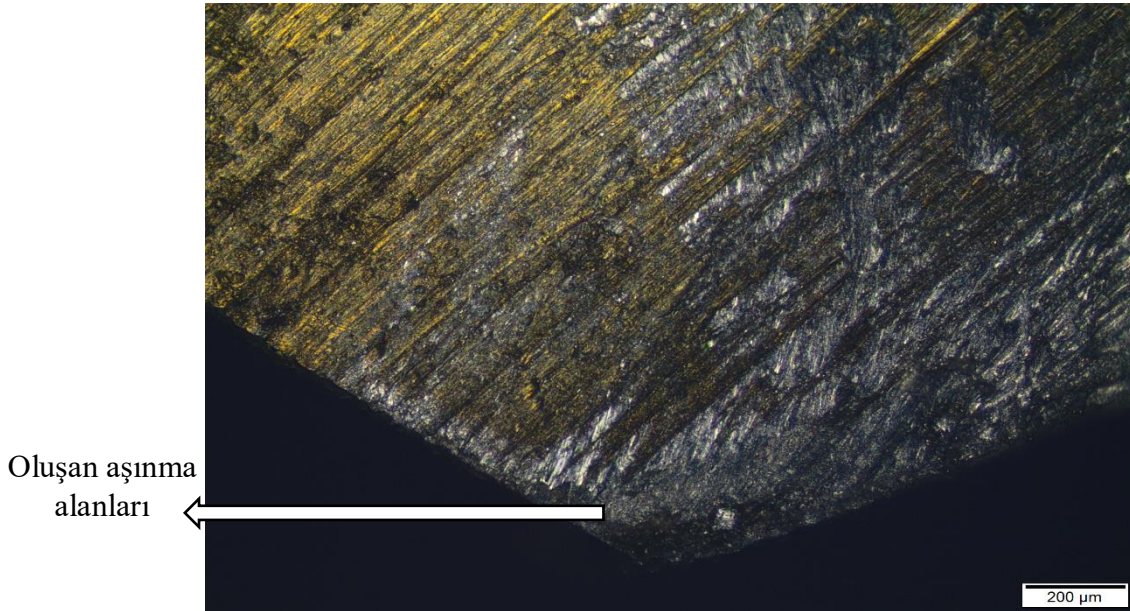
Ø 14 mm çap değerine sahip HSS – TiN kaplamalı uçta oluşan aşınmaların incelendiği bölge Şekil 3.41’ de gösterilmektedir.



Şekil 3. 41 - Ø 14 mm HSS - TiN Kaplamalı Uç

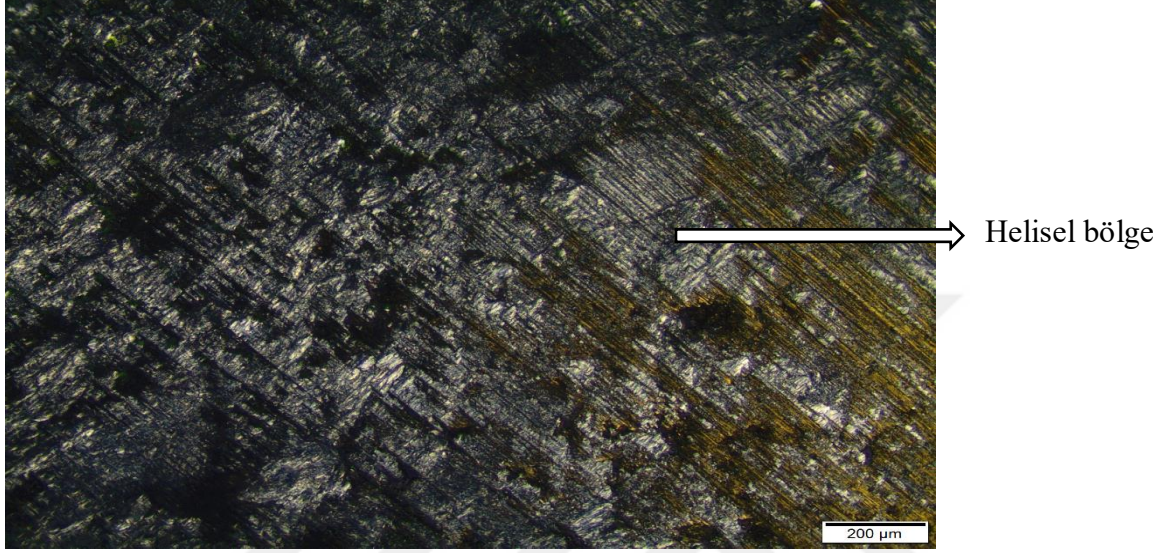


Şekil 3. 42 - Çap 14 mm olan HSS - TiN Kaplamalı Uçun Aşınma Görüntüsü – 1



Şekil 3. 43 - Çap 14 mm olan HSS - TiN Kaplamalı Uçun Aşınma Görüntüsü – 2

Şekil 3.42 ‘de sunulan 14 mm çap değerine sahip HSS - TiN kaplamalı takımda, alaşım malzemesine dalma yapan uç kısmında yüksek kesme şartlarının uygulanması ile kesici ağız kısmının özellikle bir bölgesinde TiN kaplaması takım yüzeyini yüksek oranda terk etmiş ve abrasif aşınmayla yüzeysel sıyrılmalar görülmüştür. Şekil 3.43 ‘de gösterildiği üzere matkap uçta parça kopması ve kırılma olayı gerçekleşmemiştir.



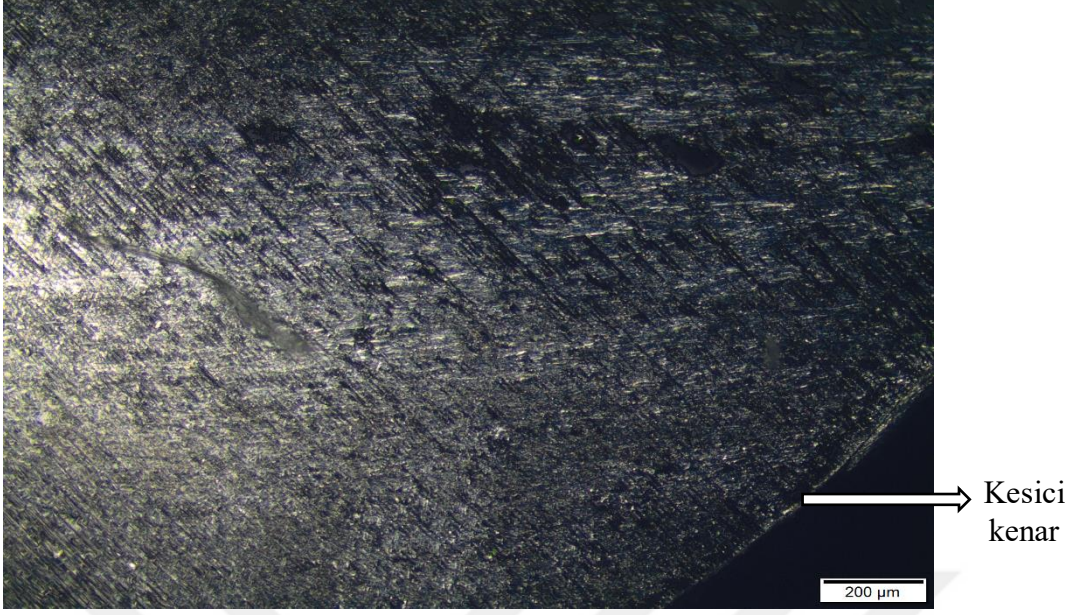
Şekil 3. 44 - Çap 14 mm olan HSS - TiN Kaplamalı Uçun Aşınma Görüntüsü – 3
Alüminyum alaşımın işlenmesi esnasında, devir sayısı 3000 dev/dak, ilerleme hızı 400 mm/dak ve devir sayısı 4000 dev/dak, ilerleme hızı 500 mm/dak ilerleme hızında alüminyum talaşları, HSS - TiN kaplamalı matkap uca sarılmış biçimde delikten ayrılmıştır. Bu durum takımın zorlandığını gösterirken, takımda yüzeysel aşınmalar dışında kritik zayıflık oluşturmamıştır. Uçun helisel kısmına doğru hem kaplama aşınmış hem de uçta yüzeysel aşınmaların fazla olduğu Şekil 3.44 ‘den anlaşılmaktadır.

3.3.5.3 KARBÜR - TiAlN Kaplamalı Matkap Uçların Aşınma Görüntüleri

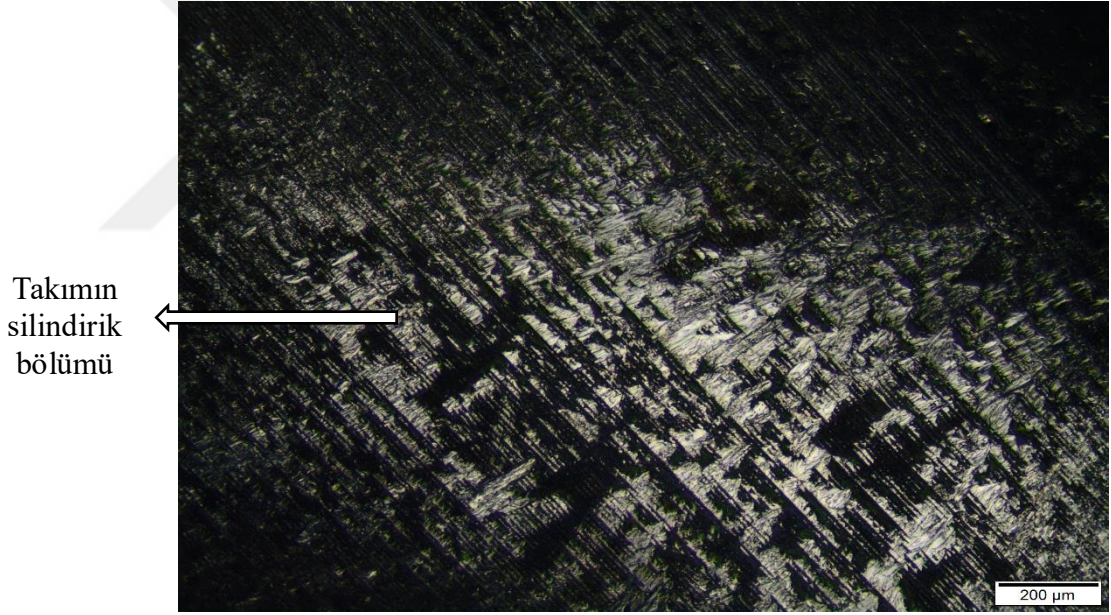
Ø 10 mm çap değerine sahip KARBÜR - TiAlN kaplamalı uçta oluşan aşınmaların incelendiği bölge Şekil 3.45’ de gösterilmektedir.



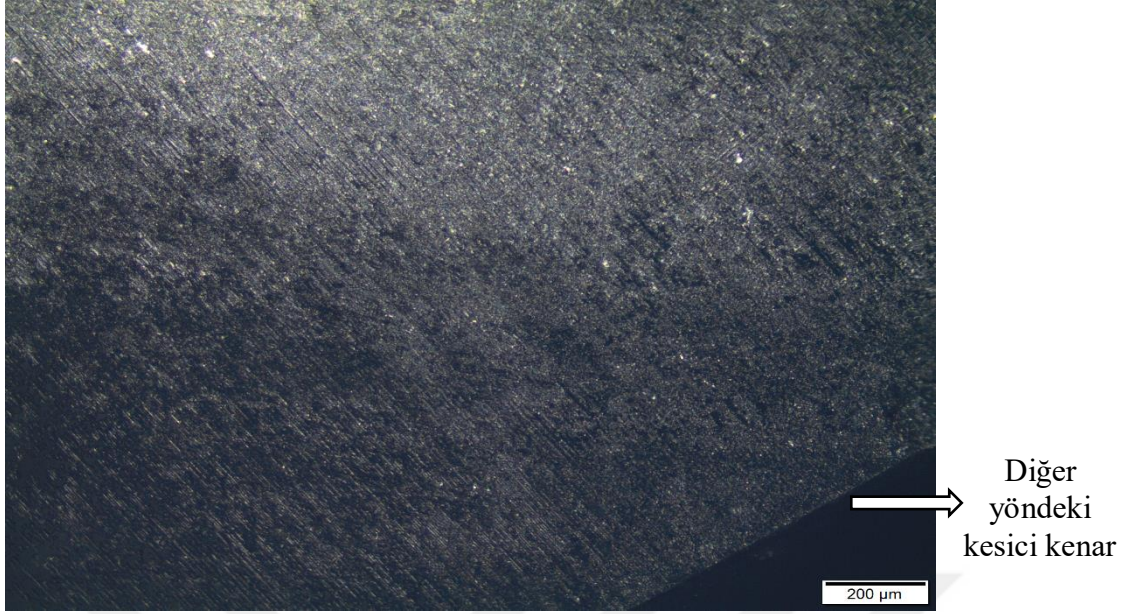
Şekil 3. 45 - Ø 10 mm KARBÜR - TiAlN Kaplamalı Uç



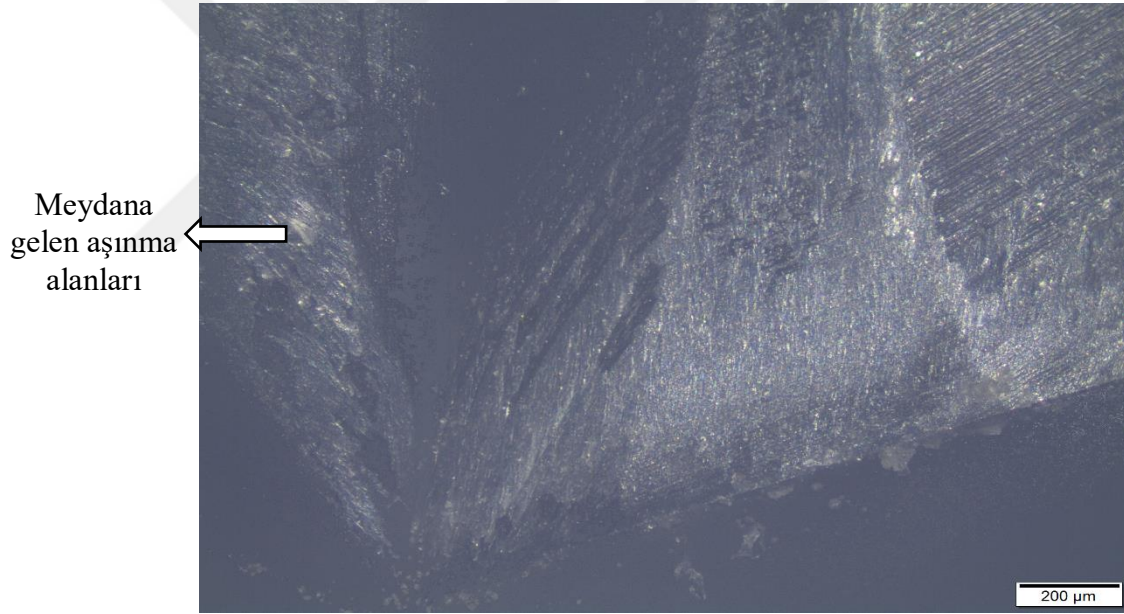
Şekil 3. 46 - Çap 10 mm olan KARBÜR - TiAlN Kaplamalı Ucun Aşınma Görüntüsü-1



Şekil 3. 47 - Çap 10 mm olan KARBÜR - TiAlN Kaplamalı Ucun Aşınma Görüntüsü-2
KARBÜR - TiAlN kaplaması, kaplamanın iyi ısı iletimi sayesinde ısıyı talaşa aktararak oluşabilecek büyük aşınmaları engellemiştir. Şekil 3.46 'da gösterilen kesici kenar yapısında, takımdan malzeme kopması gibi işleme sonrası oluşacak yüzey pürüzlülüğünü etkileyecek tahribat bu uç için oluşmamıştır. Abrasif aşınma etkisiyle oluşabilecek olağan dışı yüzeysel aşınma izleri görülmemiştir. TiAlN kaplamanın yüzeyden aşınması ucun helisel kısmına doğru daha fazla oluştuğu Şekil 3.47 'de incelenerek anlaşılmaktadır.



Şekil 3. 48 - Çap 10 mm olan KARBÜR - TiAlN Kaplamalı Ucun Aşınma Görüntüsü-3



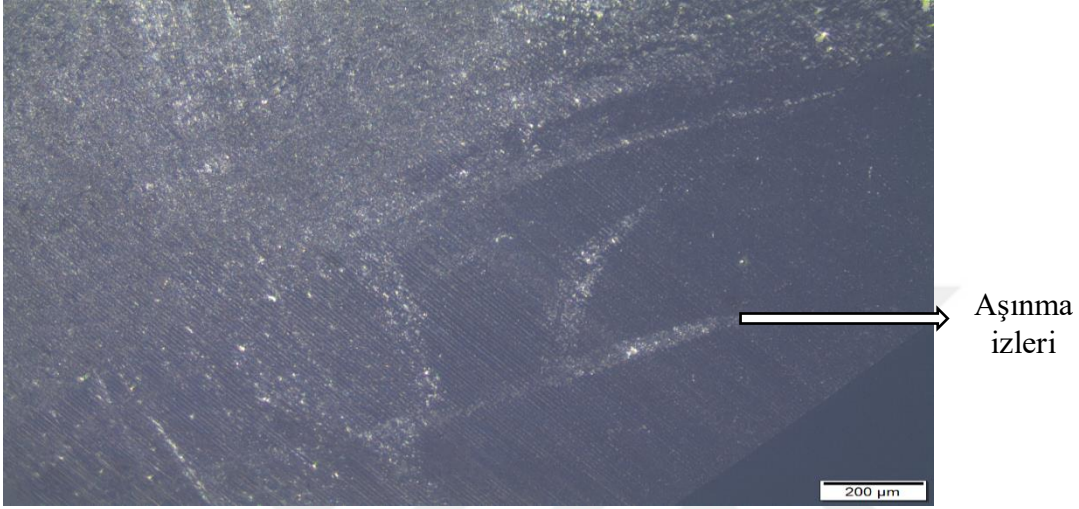
Şekil 3. 49 - Çap 10 mm olan KARBÜR - TiAlN Kaplamalı Ucun Aşınma Görüntüsü-4

Alüminyum alaşımını delme veya şekillendirme işlemlerinde malzeme yapısından dolayı takım kesme ucuna kaynak oluşturma eylemi içerisinde olabilir, fakat TiAlN kaplamanın kimyasal tepkimeye karşı kararlı yapısı bunun önüne geçmiş olduğu Şekil 3.48 ‘de ve Şekil 3.49 ‘da verilen mikroskop görüntülerinden anlaşılmaktadır. Matkap ucun ana malzemesinde kullanılan karbür yapısı sayesinde kenar aşınmasına karşı direnç göstermesi neticesinde oluşabilecek aşınmanın engellendiği belirtilmiştir.

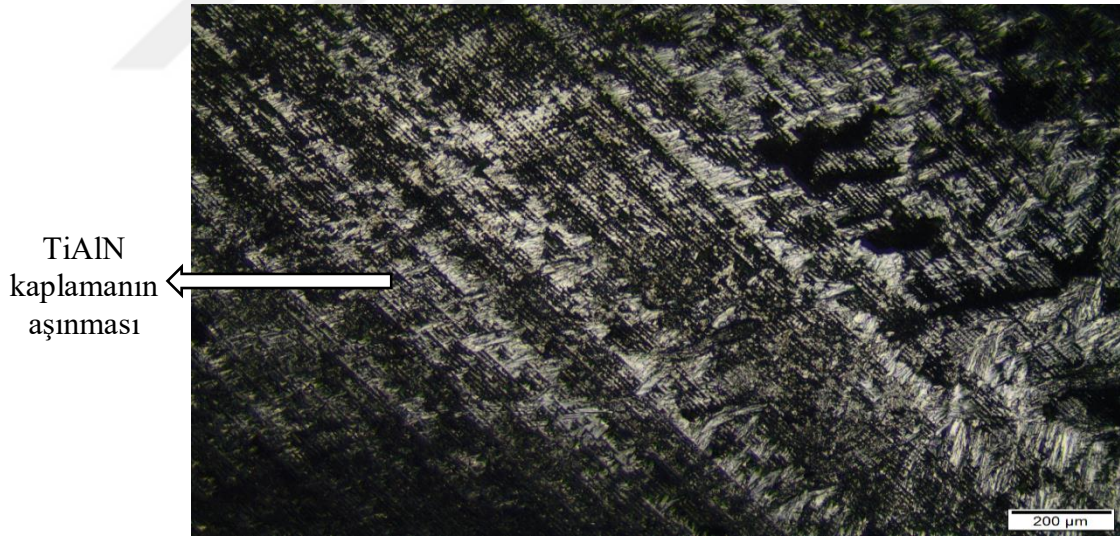
Ø 12 mm çap değerine sahip KARBÜR - TiAlN kaplamalı uçta oluşan aşınmaların incelendiği bölge Şekil 3.50’ de gösterilmektedir.



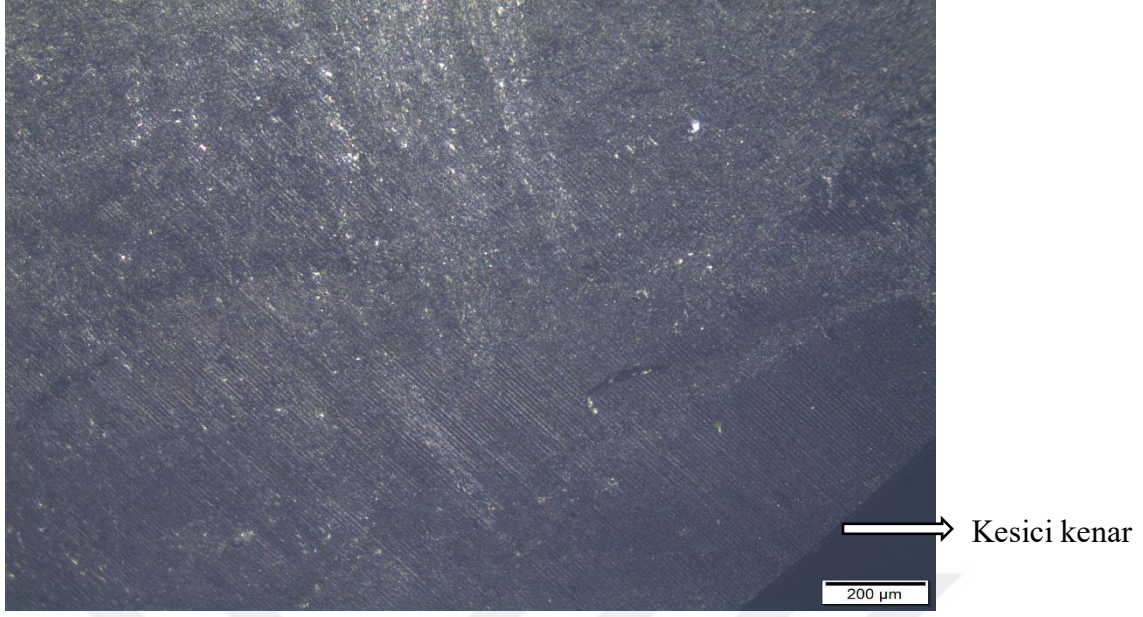
Şekil 3. 50 - Ø 12 mm KARBÜR - TiAlN Kaplamalı Uç



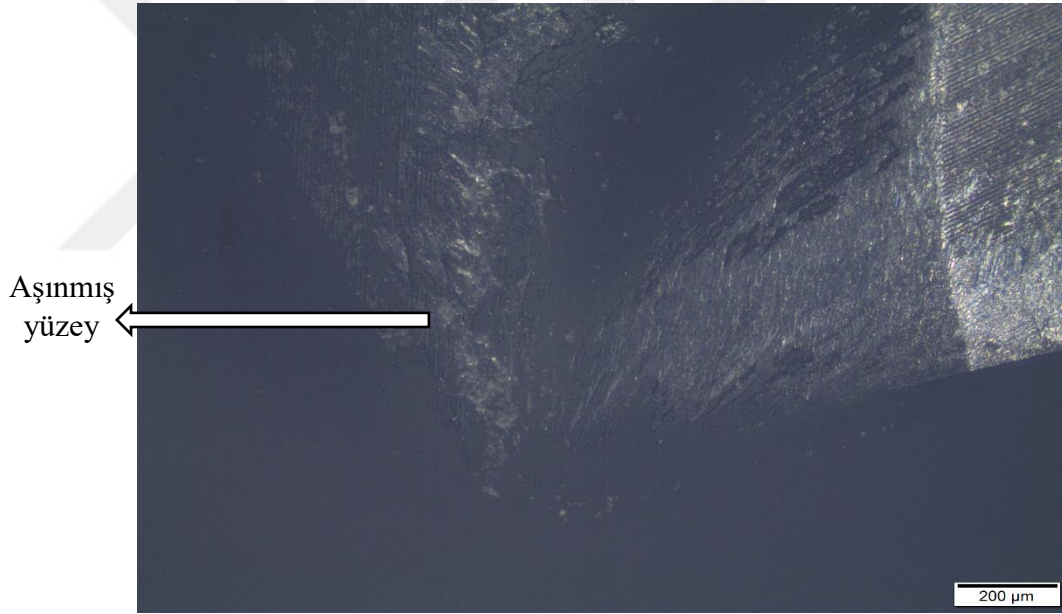
Şekil 3. 51 - Çap 12 mm olan KARBÜR - TiAlN Kaplamalı Ucun Aşınma Görüntüsü-1



Şekil 3. 52 - Çap 12 mm olan KARBÜR - TiAlN Kaplamalı Ucun Aşınma Görüntüsü-2
Kullanılan devir sayıları ile alakalı olan kesme hızların yüksek değerlerine rağmen Şekil 3.51 ‘de gösterildiği haliyle takım uç kısmında kaplama aşınması çok fazla oluşmamıştır. Matkap ucun iç bölgesinde ya da silindirik yapısında TiAlN kaplamanın yüzeyi terk ettiği kısımlar Şekil 3.52 ‘de belirtilmiş olup, krater aşınması gibi takım ömrüne olumsuz tesir edebilecek sorunlar açığa çıkmamıştır.



Şekil 3. 53 - Çap 12 mm olan KARBÜR - TiAlN Kaplamalı Ucun Aşınma Görüntüsü-3



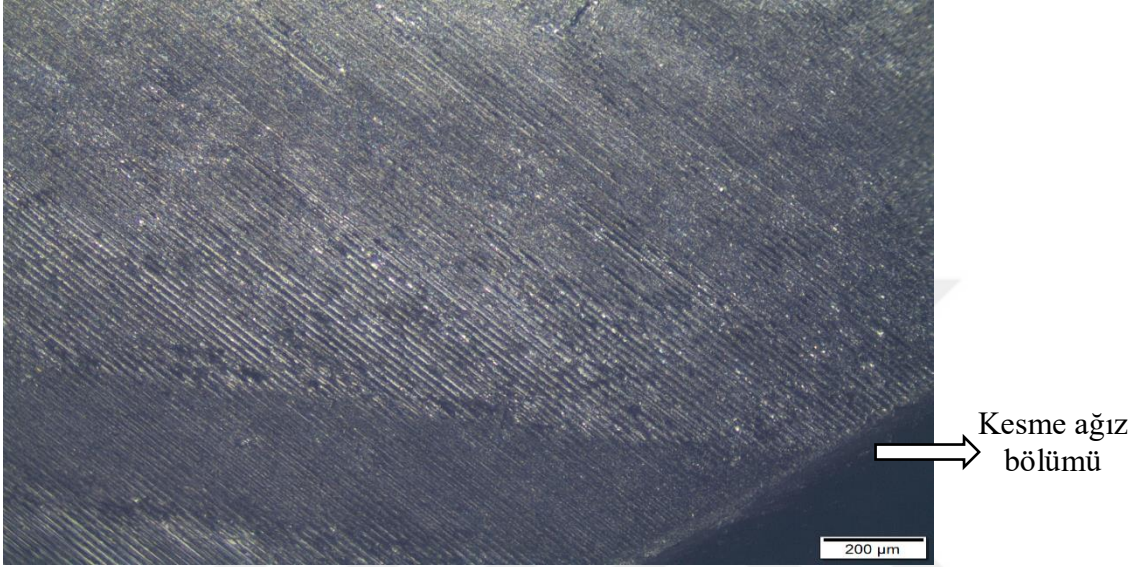
Şekil 3. 54 - Çap 12 mm olan KARBÜR - TiAlN Kaplamalı Ucun Aşınma Görüntüsü-4

TiAlN kaplamanın çok katlı yapısı aşınmaya karşı direnç oluşturmasını sağlayarak yüksek kesme koşullarında bile aşınma etkisinin az olmasına olanak vermiştir. Şekil 3.53 ve 3.54 'deki mikroskop görüntüleri olan 12 mm çaplı matkap uça abrasif aşınma tipi kritik oranda olmadığı görülmüştür. Bu matkap uç, yüksek kesme ve ilerleme hızlarında kullanıldığından tekrar kullanılmaya hazır hale getirmek için işleme yöntemine bağlı olarak istenilen kesici uç sivriligi için bilenebilir.

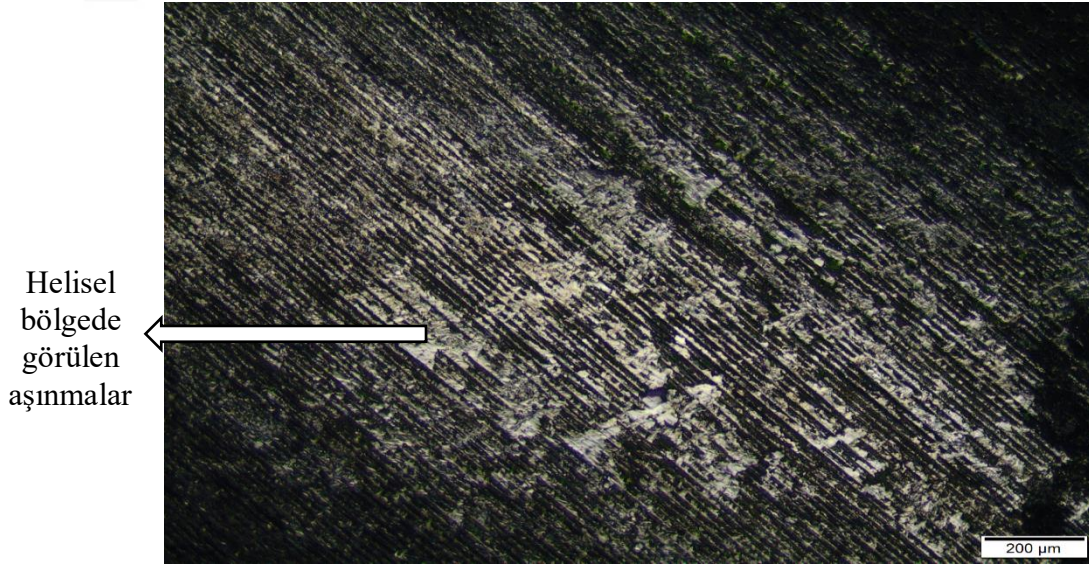
Ø 14 mm çap değerine sahip KARBÜR - TiAlN kaplamalı uçta oluşan aşınmaların incelendiği bölge Şekil 3.55’ de gösterilmektedir.



Şekil 3. 55 - Ø 14 mm KARBÜR - TiAlN Kaplamalı Uç

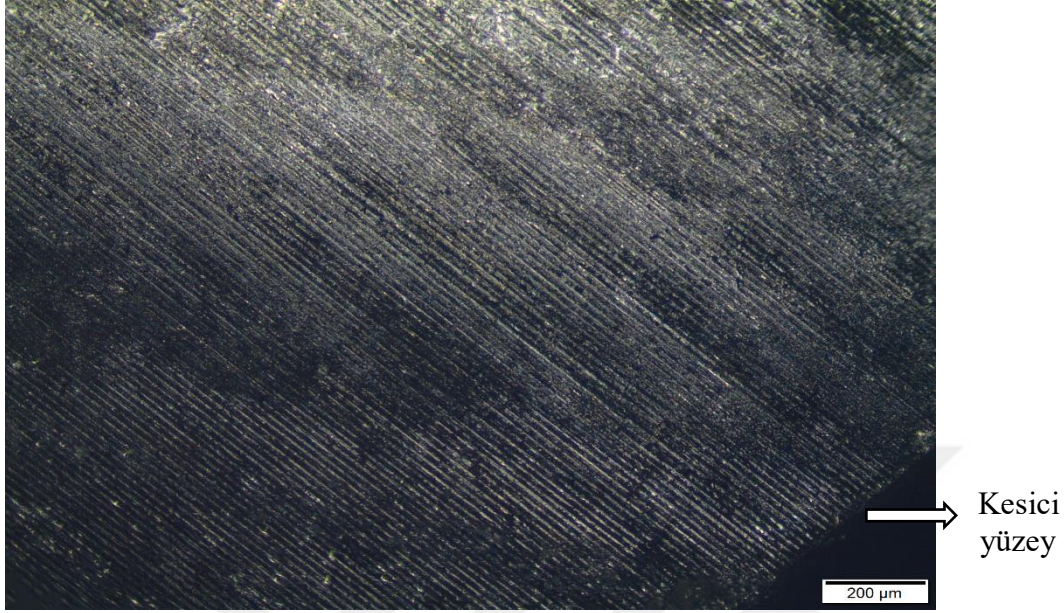


Şekil 3. 56 - Çap 14 mm olan KARBÜR - TiAlN Kaplamalı Ucun Aşınma Görüntüsü-1

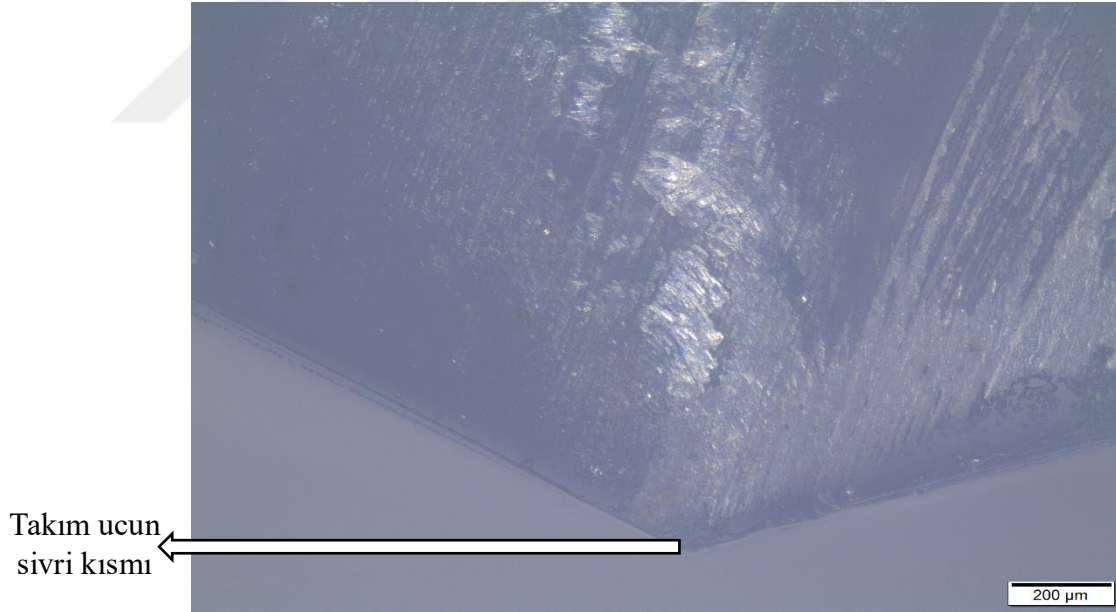


Şekil 3. 57 - Çap 14 mm olan KARBÜR - TiAlN Kaplamalı Ucun Aşınma Görüntüsü-2 Takımın, Şekil 3.56’da belirtilen uç ve Şekil 3.57 ‘de gösterilen helisel bölgesinde yer yer TiAlN kaplamanın yoğun olarak yüzeyden aşındığı görülmüştür. Abrasif aşınma mekanizmasının sonucu olarak meydana gelen serbest yüzey aşınması bu matkap uç için

oluşmamıştır. Yüksek sıcaklık aralığında çalışma olanağı vermesi, difüzyon aşınma tipinin neticesinde ortaya çıkabilecek oyuk aşınmasından takımı koruduğu anlaşılmıştır.



Şekil 3. 58 - Çap 14 mm olan KARBÜR - TiAlN Kaplamalı Uçun Aşınma Görüntüsü-3



Şekil 3. 59 - Çap 14 mm olan KARBÜR - TiAlN Kaplamalı Uçun Aşınma Görüntüsü-4

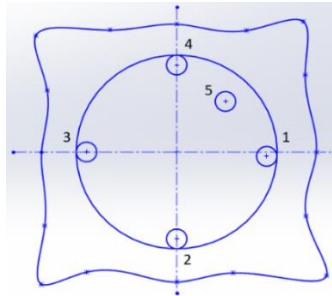
Mikroskop altında matkap ucun farklı alanlarından alınan görüntüler Şekil 3.58 'de ve Şekil 3.59 'da gösterilmekte olup, kesici uç aşınması oluşmamıştır. 14 mm çap değerindeki takımda kenar aşınması oluşmamasının olumlu yanı, yüksek oranda oluşan kenar aşınması kötü yüzey pürüzlülüğüne neden olmasıdır. Ancak, KARBÜR - TiAlN kaplamalı uç, delme işlemini iyi yüzey pürüzlülük değeriyle tamamlamıştır.

3.3.6 Açılmış Olan Delikleri Yüzey Pürüzlülük Değerlerinin İncelenmesi

Talaşlı üretim yöntemiyle elde edilen ürünlerde, yüzey pürüzlülüğün oluşması engellenemez. Üretimde kullanılan yönteme göre şartların en doğru ve en elverişli değerlerle belirlenmesi vasıtasıyla pürüzlülük istenilen ve hedeflenen ölçüler arasında oluşmaktadır. Çalışma esnasında işlenen parçada var olan pürüzlülük, parça ömrünü olumsuz yönde etkileyebilir. Aynı zamanda yüzey pürüzlülüğü, bir malzemenin kalitesini, niteliğini belirleyen bir etmen olarak da görülmektedir.

Delme işlemi sonucu alüminyum 7075 – T651 alaşım malzemesinde oluşan deliklerin yüzey pürüzlülüğü mikron derecesinde ölçüm yapabilme yeteneği olan, taşınabilir Mahr yüzey pürüzlülük ölçer ile ölçülmüştür. Bu tarz cihazların çalışma prensibi 2.10.5.1'inci bölümde anlatılmaktadır. Kısaca bahsetmek gerekirse, bir kol üzerine yerleştirilmiş uç veya kalem işlenen parçanın yüzeyini tamamen çizerek ve aldığı verileri, çıktı şeklinde aletin ekran bölümüne aktarır ve istenildiği takdirde buradan sonuçlar kayıt altına alınabilir.

Pürüzlülük ölçümü için uygulanan metot; her delik için 5 farklı bölümden elde edilen ölçümlerin aritmetik ortalaması, ortalama yüzey pürüzlülük (R_a) değerinin bulunmasını sağlamıştır. Ortalama yüzey pürüzlülük değeri (R_a) hesaplanırken literatür bilgisinden yararlanılmıştır [21]. Şekil 3.60 'da, deliklerin 5 farklı noktasından alınan ölçüm modeli gösterilmektedir. Ölçülen 4 nokta delik kenar bölümünden alınırken, 5. nokta delik içerisinde rastgele alınarak ölçüm tamamlanmıştır. Şekil 3.61 ve 3.62 'de kullanılan yüzey pürüzlülük cihazı ve cihazın malzemedeki deliklerin yüzey pürüzlülük değerlerini ölçme görselleri bulunmaktadır.



Şekil 3. 60 - Bir Delik Kesitinde Yüzey Pürüzlülük Ölçümü için Referans Alınan Bölümler



Şekil 3. 61 - Mahr Perthometer M2 Model Cihaz



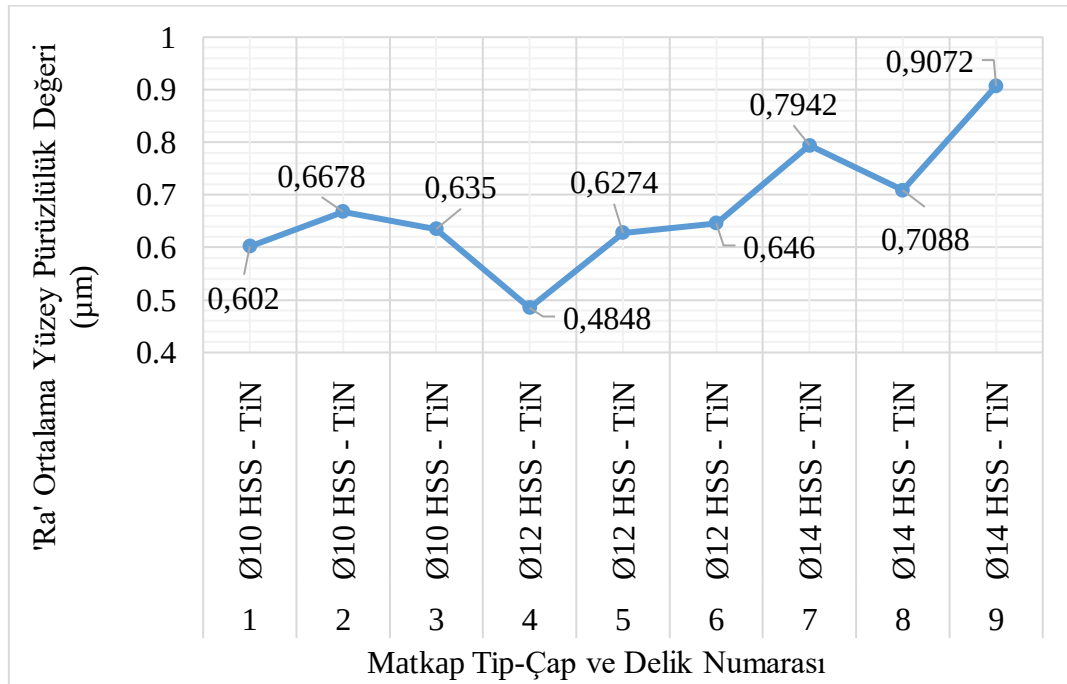
Şekil 3. 62 - Alüminyum 7075 – T651 Alaşımında Oluşan Deliklerin Yüzey Pürüz Ölçer Aleti Kullanarak Ölçülmesi

3.3.6.1 HSS - TiN Kaplamalı Matkap Ucun Açtığı Deliklerin Yüzey Pürüzlülük Ölçümü

HSS - TiN kaplamalı ucun, delme sonrası oluşturduğu 10 – 12 -14 mm çap değerine sahip bütün deliklerin yüzey pürüzlülük değerleri ölçüldü. Ölçülen değerler Tablo 3.21 ve Şekil 3.63 'de gösterilmektedir.

Tablo 3. 21 - HSS – TiN Kaplamalı Ucun Oluşturduğu Yüzey Pürüzlülük Değerleri

Delik Numarası	Delik Çapı (mm)	Ölçü - 1	Ölçü - 2	Ölçü - 3	Ölçü - 4	Ölçü - 5	Yüzey Pürüzlülüğü, Ra (µm)
1	ø10	0,487	0,592	0,544	0,671	0,716	0,602
2	ø10	0,548	0,69	0,679	0,84	0,582	0,6678
3	ø10	0,606	0,628	0,61	0,687	0,644	0,635
4	ø12	0,456	0,469	0,488	0,49	0,521	0,4848
5	ø12	0,75	0,651	0,546	0,586	0,604	0,6274
6	ø12	0,718	0,672	0,648	0,6	0,592	0,646
7	ø14	0,771	0,784	0,846	0,792	0,778	0,7942
8	ø14	0,504	0,677	0,748	0,801	0,814	0,7088
9	ø14	0,846	0,944	0,927	0,904	0,915	0,9072



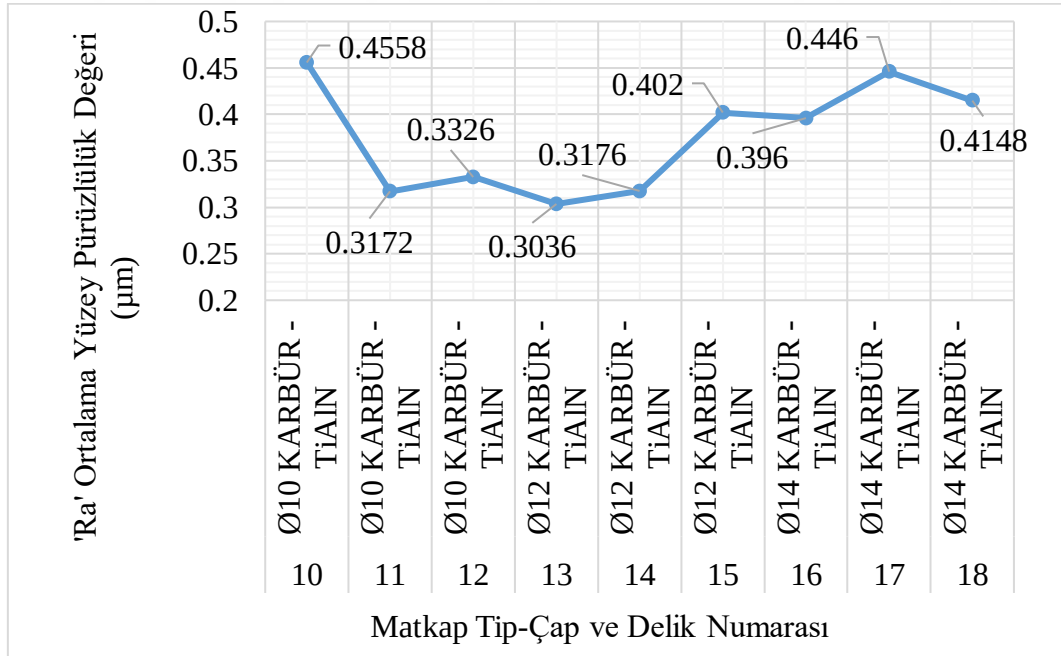
Şekil 3. 63 - HSS - TiN Kaplamalı Ucun Açtığı Deliklerin Yüzey Pürüzlülük Grafiği

3.3.6.2 KARBÜR – TiAlN Kaplamalı Matkap Ucu Açtığı Deliklerin Yüzey Pürüzlülük Ölçümü

KARBÜR – TiAlN kaplamalı ucun, işlemde meydana getirdiği bütün çap ölçülerine sahip deliklerin yüzey pürüzlülük değerleri alet aracılığıyla ölçüldü. Ölçülen değerler Tablo 3.22 ve Şekil 3.64 'de gösterilmektedir.

Tablo 3. 22 - Karbür - TiAlN Kaplamalı Ucu Oluşturduğu Yüzey Pürüzlülük Değerleri

Delik Numarası	Delik Çapı (mm)	Ölçü - 1	Ölçü - 2	Ölçü - 3	Ölçü - 4	Ölçü - 5	Yüzey Pürüzlülüğü, Ra (µm)
10	Ø10	0,421	0,498	0,476	0,468	0,416	0,4558
11	Ø10	0,284	0,306	0,322	0,296	0,378	0,3172
12	Ø10	0,32	0,372	0,401	0,303	0,267	0,3326
13	Ø12	0,267	0,308	0,346	0,31	0,287	0,3036
14	Ø12	0,241	0,289	0,356	0,377	0,325	0,3176
15	Ø12	0,386	0,397	0,421	0,4	0,406	0,402
16	Ø14	0,402	0,376	0,393	0,384	0,425	0,396
17	Ø14	0,416	0,425	0,471	0,466	0,452	0,446
18	Ø14	0,391	0,407	0,398	0,432	0,446	0,4148



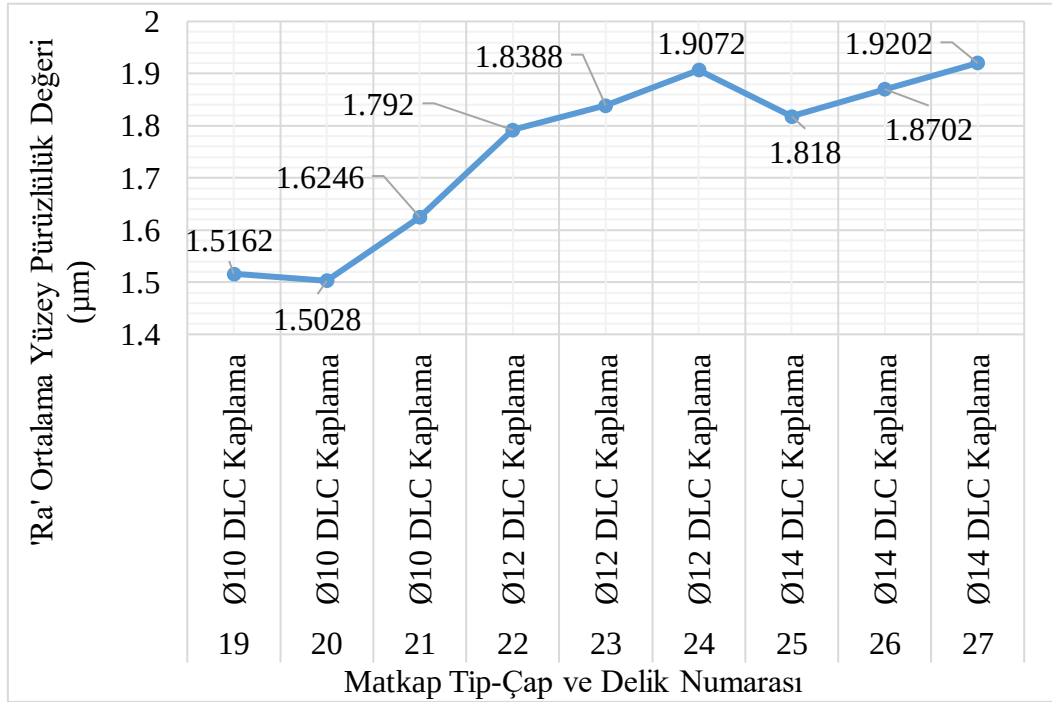
Şekil 3. 64 - Karbür - TiAlN Kaplamalı Ucu Açtığı Deliklerin Yüzey Pürüzlülük Grafiği

3.3.6.3 DLC Kaplamalı Matkap Ucun Açtığı Deliklerin Yüzey Pürüzlülük Ölçümü

DLC kaplamalı ucun, malzemeyi delerek ortaya çıkardığı farklı çap ölçülerine sahip deliklerin yüzey pürüzlülük değerleri ölçüldü. Ölçülen değerler Tablo 3.23 ve Şekil 3.65 'de gösterilmektedir.

Tablo 3. 23 - DLC Kaplamalı Ucun Oluşturduğu Yüzey Pürüzlülük Değerleri

Delik Numarası	Delik Çapı (mm)	Ölçü - 1	Ölçü - 2	Ölçü - 3	Ölçü - 4	Ölçü - 5	Yüzey Pürüzlülüğü, Ra (µm)
19	Ø10	1,346	1,449	1,51	1,603	1,673	1,5162
20	Ø10	1,27	1,304	1,402	1,689	1,849	1,5028
21	Ø10	1,455	1,546	1,618	1,724	1,78	1,6246
22	Ø12	1,67	1,8	1,774	1,827	1,889	1,792
23	Ø12	1,768	1,744	1,871	1,89	1,921	1,8388
24	Ø12	1,846	1,896	1,902	1,916	1,976	1,9072
25	Ø14	1,608	1,778	1,807	1,953	1,944	1,818
26	Ø14	1,71	1,902	1,889	1,994	1,856	1,8702
27	Ø14	1,821	1,886	1,942	1,978	1,974	1,9202



Şekil 3. 65 - DLC Kaplamalı Matkap Ucun Açtığı Deliklerin Yüzey Pürüzlülük Grafiği

3.4 Optimizasyon ve Analiz Tekniği

Bu bölümde, gerçekleştirilen deney çalışmasının sonucu olarak kabul edilen yüzey pürüzlülük değeri, kesme parametre değeri ve deney faktörlerinin, deney tasarım metoduyla performans optimizasyonu ve regresyon analizi için Minitab -18 isimli analiz programı kullanılmıştır. Elde edilen analiz program çıktıları şekil, tablo, grafik ve denklem olarak bu bölüm içerisine eklenmiştir. Belirlenen bütün deney şartlarının yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkileri anlaşılmaya çalışılmıştır.

Deney uygulamaları bağımlı ve bağımsız değişkenler kullanılarak belirli bir sistem içerisinde gerçekleştirilir. Bu deney çalışmasında bağımsız değişkenler olarak; devir sayısı, ilerleme hızı, matkap ucu çapı ve tipi olurken, bağımlı değişken olarak; devir sayısı ve matkap uç çapıyla ilişkili değişkenlik gösteren kesme hızı olmaktadır.

Deney şartların Taguchi L9 orthogonal (dik) düzlemine uygun olarak tanımlanmış ve sonuçların yüzey pürüzlülük değeri olarak belirtilmiştir. Bütün bunların incelenmesinde çıktı olarak sinyal/gürültü (S/N) oranı dikkate alınmıştır. Taguchi yöntemi, optimizasyon sorunlarına yol bulma konusunda oldukça başarılı bir usul olarak görülmektedir. Taguchi yöntemi, sorunlara karşı çıkış yolu bulmada yalnızca en az sayıda deney yapılmasına neden olmakla kalmayıp, yüksek nitelikte üretim ve mamul geliştirilmesine her yönden dayanak olur. Delik delme usullerinde kesme şartlarının optimizasyonu sayesinde üretim maliyeti azaltılarak verim ve nitelik artışının elde edilmesi oldukça dikkate değerdir. Deney uygulamaları için Taguchi metoduna başvurulması neticesinde fazladan yapılacak deney miktarının önüne geçilerek vakit ve ekonomik açıdan avantaj sağlanmaktadır.

3.4.1 Optimizasyon Metodunun Uygulanması

L9 ortogonal sisteme uyacak şekilde tasarlanan girdiler; matkap uç tipi, matkap uç çapı ve ilerleme hızı olarak belirtilmiştir. Matkap uç tiplerini tanımlarken kullanılan rakamlardan; 1. olan HSS – TiN kaplamalı, 2. olan KARBÜR – TiAlN kaplamalı ve 3. olan da DLC kaplamalı uç olarak atanmıştır. Tablo 3.24 ‘de L9 dizilimine göre belirlenen parametre ve sonuçta ortaya çıkan yüzey pürüzlülük değeri bulunmaktadır.

Tablo 3. 24 - L9 Dizilimine Uygun Belirlenen Parametre ve Yüzey Pürüzlülük Değerleri

Matkap Uç Çapı (mm)	Matkap Uç Tipi	İlerleme Hızı (mm/dak)	Yüzey Pürüzlülük Değeri (Ra)
10	1	200	0,6020
10	2	400	0,3172
10	3	500	1,6246
12	1	400	0,6274
12	2	500	0,4020
12	3	200	1,7920
14	1	500	0,9072
14	2	200	0,3960
14	3	400	1,8702

L9 dizilime uyum sağlayacak şekilde bütün deney değişkenleri ve çıktı olarak yüzey pürüzlülük sayıları program ara yüz ekranına girildikten sonra, en küçük yüzey pürüzlülük değerini hesaplayan (3.4.1.1) 'de gösterilen denklem sistemden seçilmiştir. Bunun nedeni yüzey pürüzlülük değerinin minimum olduğu sayısal veri, en elverişli değer olarak kabul edilmesidir.

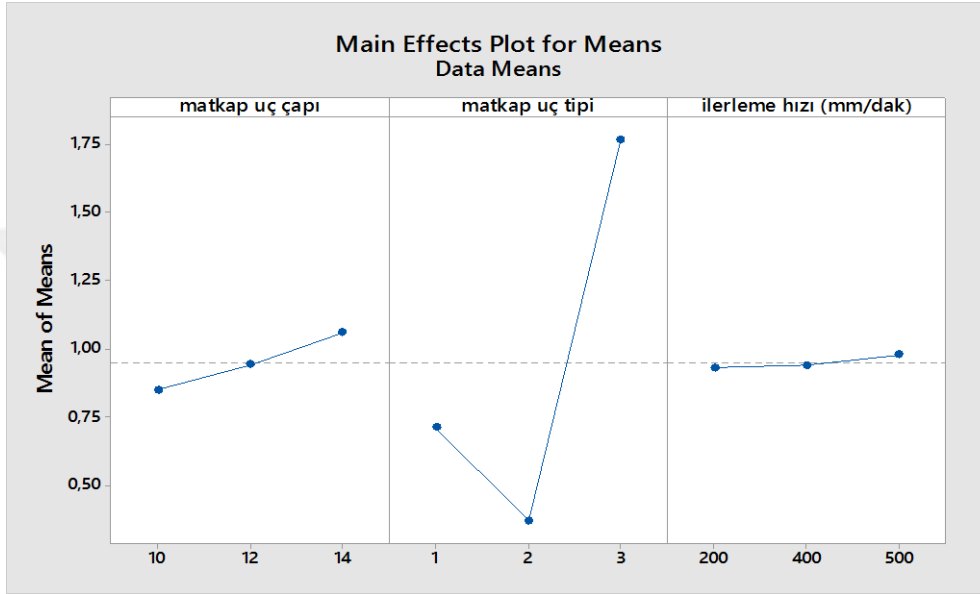
$$\text{Smaller is better} \quad -10 \times \log_{10}(\text{sum}(Y^2)/n) \quad (3.4.1.1)$$

Tablo 3.25' de deney koşullarına göre oluşan varyans analizi gösterilmektedir.

Tablo 3. 25 – Dizilime Göre Oluşan Varyans Analizi
Analysis of Variance

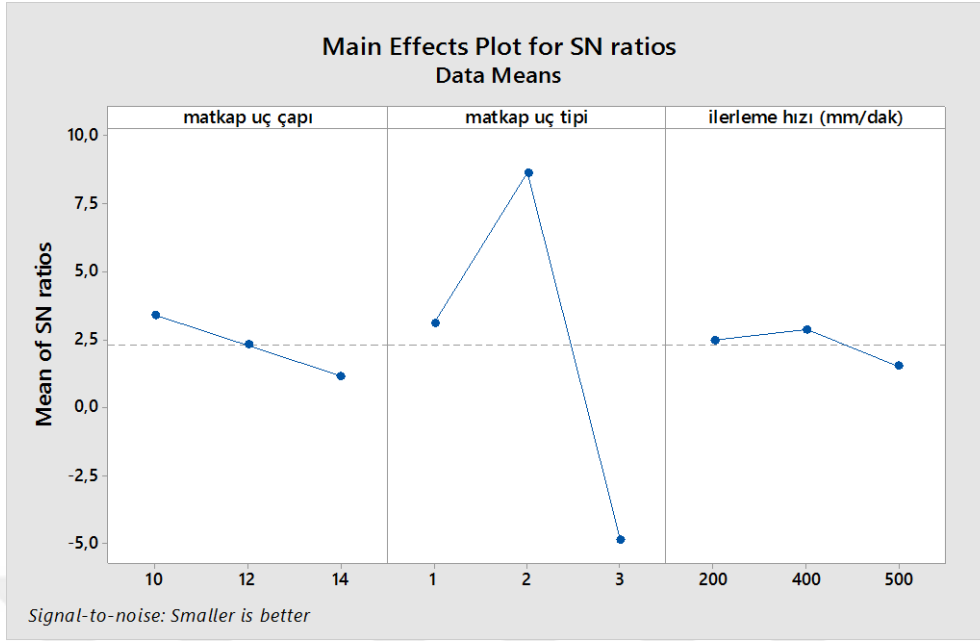
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
matkap uç çapı (mm)	2	0,06637	0,03319	2,88	0,257
ilerleme hızı (mm/dak)	2	0,00394	0,00197	0,17	0,854
matkap uç tipi	2	3,15214	1,57607	136,98	0,007
Error	2	0,02301	0,01151		
Total	8	3,24547			

Bu faktörler baz alınarak uygulanan optimize işleminin sonucunda elde edilen şekil grafiklerinden; araçlara göre ana etkiler hedefleri grafiğinde parametre değerlerinin en düşük seviyeleri ve SN oranlarına göre ana etkiler hedefleri grafiğinde belirtilen parametre değerlerinin en yüksek seviyeleri, meydana gelen yüzey pürüzlülük değerlerine göre belirlenmiş en uygun durumu göstermektedir. Aşağıda, sırasıyla Şekil 3.66 ‘da ve 3.67 ‘de deney çalışması için ortaya çıkan en uygun koşullar grafiklerde belirtilmektedir.



Şekil 3. 66 - Means (Araçlar) için Ortaya Çıkan En Uygun Değerler

En uygun değerlerinin okunabileceği iki çeşit grafikten bir tanesi, Şekil 3.66 ‘da gösterilmektedir. Buradaki değerler analiz edildiğine, matkap uç çapı $\varnothing 10$ mm, matkap uç tipi KABRÜR – TiAlN kaplamalı uç (yani 2 numara) ve ilerleme hızı 400 mm/dak olduğunda en cazip yüzey pürüzlülük değerinin ortaya çıkacağını göstermektedir. Aynı şekilde bu sonuçta, deney uygulamasının gösterilen koşullarda deliğin yüzey pürüzlülük değerinin en düşük olduğu kaydedilmiştir.



Şekil 3. 67 - SN Oranına Göre Ortaya Çıkan En Uygun Değerler

Şekil 3.67 'de belirtilen veriler değerlendirildiğinde, matkap uç çapı $\phi 10$ mm iken, matkap uç tipi 2 numaralı ucu işaret ederken, yani KARBÜR – TiAlN kaplamalı matkap uç ve ilerleme hızı 400 mm/dak 'yı gösterirken en elverişli yüzey pürüzlülüğünün oluşacağını ortaya koymuştur. Bu durum deney çalışmasının sonucunu destekler nitelikte olup, yüzey pürüzlülüğü bu belirtilen şartlarda en düşük seviyesinde olduğu görülmüştür. Tablo 3.26 'da deliklerin yüzey pürüzlülük değerlerinin Taguchi yöntemine göre en uygun veri olarak ortaya koyduğu değişkenleri göstermektedir.

Tablo 3. 26 - Yüzey Pürüzlülüğü için Ortaya Çıkan En Uygun Şartlar

Matkap Uç Çapı (mm)	Matkap Uç Tipi	İlerleme Hızı (mm/dak)
10	2	400

Tablo 3.27 'de S/N için değişken faktörlerin metot sırasında aldığı değerleri göstermektedir.

Tablo 3. 27 - SN Oranına Göre Meydana Gelen Değerler

Seviye	Matkap Uç Çapı (mm)	Matkap Uç Tipi	İlerleme Hızı (mm/dak)
1	3,389	3,101	2,462
2	2,299	8,645	2,862
3	1,151	-4,906	1,515
Delta	2,237	13,551	1,346
Rank	2	1	3

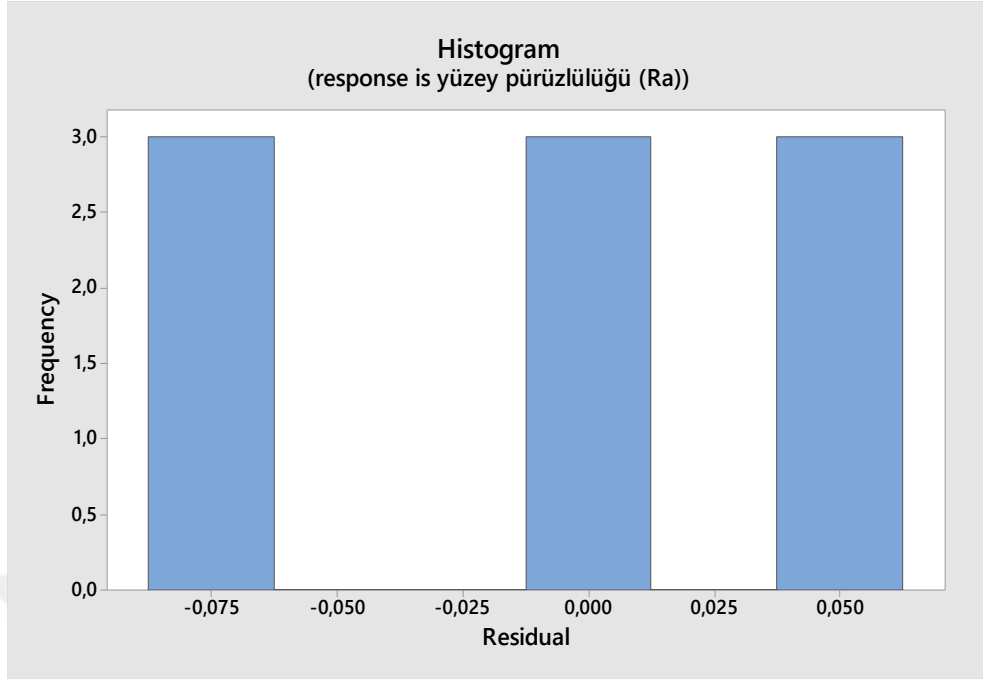
Bu değerler ışığında Taguchi metodunda yapılan tahmin sonucunda aşağıda gösterilen Tablo 3.28 'de belirtilen değer ortaya çıkmıştır.

Tablo 3. 28 - Tahmin Değeri

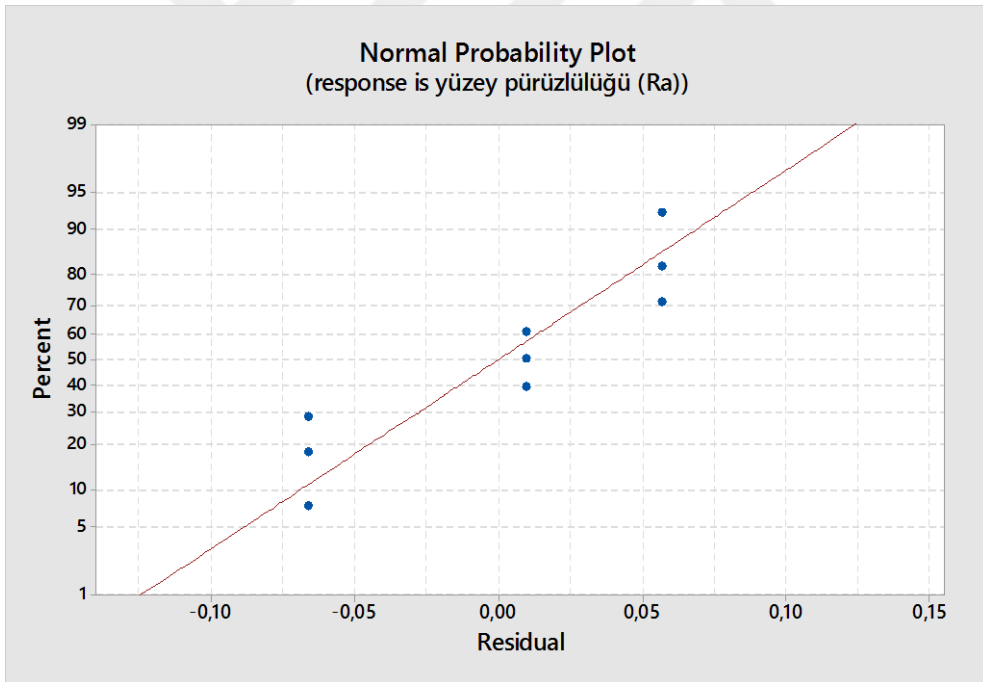
S/N	Mean
103,357	0,260467

Tahmin edilen değer; 0,260467 olurken, uygulama neticesinde ortaya çıkan değer; 0,3172 olmuştur. Bu değer, alüminyum 7075 – T651 alaşımına açılmış olan delik pürüzlülük değerine oldukça yakınsaktır.

Şekil 3.68 'de ve Şekil 3.69 'da gösterilen çeşitli grafikler cevap ya da çıktı olarak kabul edilen yüzey pürüzlülük değerlerinin sıklık ve olasılık dağılımını belirtmektedir.



Şekil 3. 68 - Histogram Dağılımına Göre Sıklık Derecesi



Şekil 3. 69 - Normal Olasılık Grafiği

3.4.2 Regresyon Analiz Yöntemi

Bu çalışma için başvuru regresyon analizi, bağımsız değişkenlerin deney çıktısı olarak elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri üzerinde nasıl bir etki sağladığını göstermek amacıyla bu bölümde yapılan bir tahlil olarak sunulmaktadır. Deney için belirlenen devir

sayısı, ilerleme hızı, matkap uç tip ve çapı gibi etmenlerle beraber alaşımda açılmış 27 deliğin yüzey pürüzlülük değerleri kullanılarak yapılan regresyonda oluşan varyans analizi aşağıdaki Tablo 3. 29 'da belirtilmektedir.

Tablo 3. 29 – Değişkenlere Göre Regresyonda Varyans Analizi

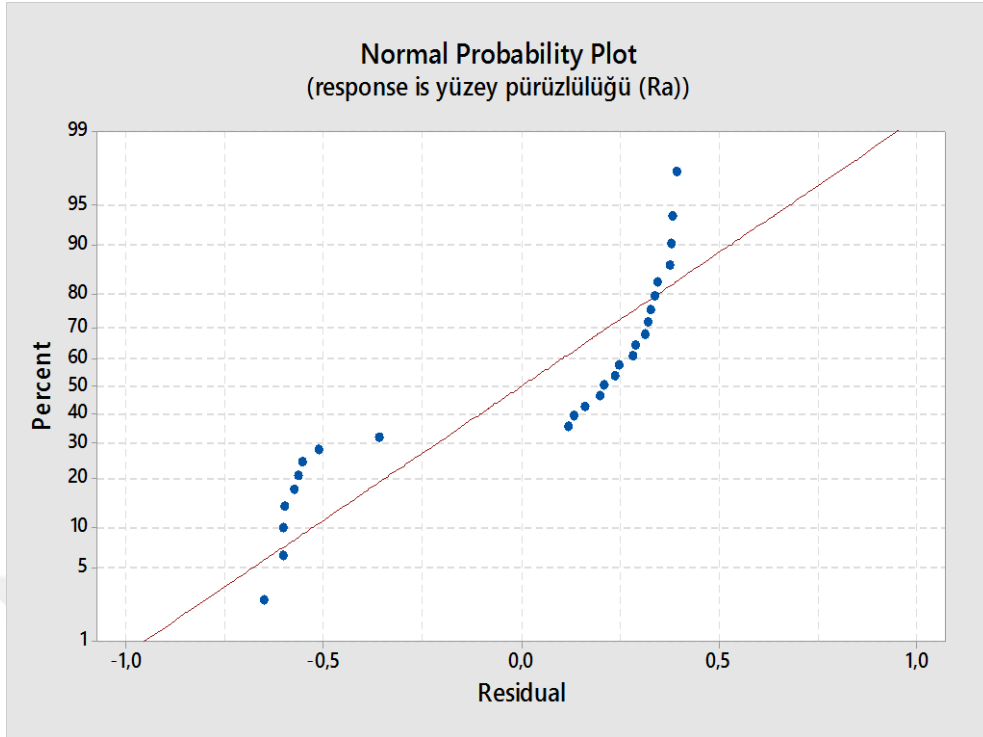
Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	4	5,41562	1,35391	6,76	0,001
devir sayısı (dev/dak)	1	0,00576	0,00576	0,03	0,867
ilerleme hızı (mm/dak)	1	0,00239	0,00239	0,01	0,914
matkap uç tipi	1	5,24534	5,24534	26,20	0,000
matkap uç çapı (mm)	1	0,14605	0,14605	0,73	0,402
Error	22	4,40475	0,20022		
Total	26	9,82037			

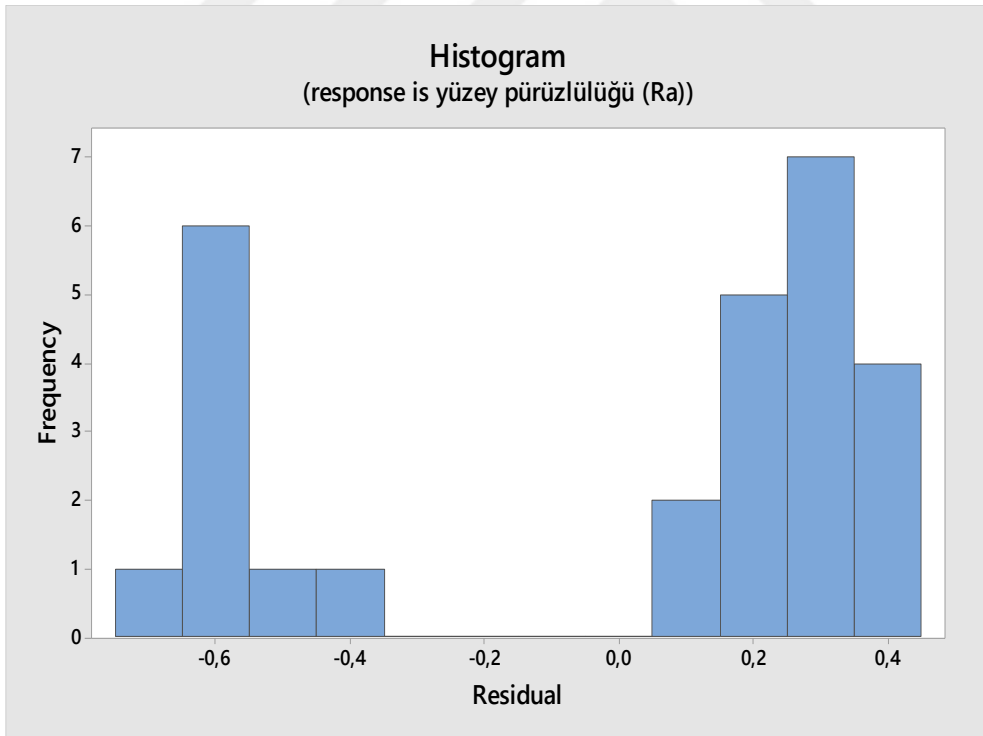
Analiz sonucuna göre yüzey pürüzlülüğünü etkileyen faktörler nicelik bakımından denklem (3.4.2.1) belirtilmiştir.

$$\begin{aligned}
 \text{Yüzey Pürüzlülük (Ra)} = & -0,823 + 0,000095 \text{ devir sayısı (dev/dak)} \\
 & - 0,00040 \text{ ilerleme hızı (mm/dak)} \\
 & + 0,540 \text{ matkap uç tipi} \\
 & + 0,0450 \text{ matkap uç çapı}
 \end{aligned}
 \tag{3.4.2.1}$$

Denklemden anlaşılacağı üzere matkap uç tipinin yüzey pürüzlülük değerleri üzerinde en büyük etkiye sahip olduğu görülmekte olup bunu, matkap uç çapı takip etmektedir. Yüzey pürüzlülüğüne en az tesir eden unsur, devir sayısı değişkenidir. Şekil 3.70 'de meydana gelen 27 deliğin yüzey pürüzlülük değerleri kullanılarak oluşturulmuş normal olasılık dağılımı ve Şekil 3.71 'de aynı değerler belirtilmesiyle oluşturulmuş histogram dağılımına göre sıklık derecesi şekil grafikleri gösterilmektedir.



Şekil 3. 70 - 27 Delik Kullanılarak Oluşturulmuş Normal Olasılık Grafiği



Şekil 3. 71 – Histogram Dağılımında Oluşan Sıklık Derecesi



4. SONUÇLAR, TARTIŞMA VE DEĞERLENDİRME

Bu deney çalışmasında meydana gelen çıktılar iki bölüm şeklinde sunulmaktadır. İlk bölümde deneysel çalışmada elde edilen sonuçlar Bölüm 3 'de şekil ve tablolarıyla birlikte eklenmiştir. İkinci bölüm olan Bölüm 4 'de, Taguchi optimizasyon metodu ve Regresyon analizi uygulanarak elde edilen veriler ortaya konarak, değerlendirilmiştir. Deney uygulaması için daha önceden belirtilen kesme parametre değerlerinde ve kesme sıvısı kullanarak alüminyum 7075 – T651 alaşımına delme işlemi uygulanmıştır. Literatür taramasından kazanılan bilgiler ışığında, alüminyum 7075 – T651 alaşımı uzay ve havacılık sektörü başta olmak üzere otomobil sanayinde ve birçok üretim uygulamalarında oldukça fazla tercih edilen konuma sahip olduğu anlaşılmıştır. Hafifliği ve dayanık yapısı sayesinde çelik ve çeşitlerine oranla kullanımı gün geçtikçe rağbet görmektedir.

Deneysel uygulama için kesme koşullarının belirlenmesinde literatür ve üreticilerin tecrübelerinden yararlanılıp, çalışma gerçekleştirilmiştir. Ortaya çıkan deney verileri, uygunluk ve doğruluk açısından değerlendirilmesi yapılarak, değişkenlik gösteren etmenlerin etkisi görülmüştür. Bu çalışmadan alınan bütün veriler önceki bölümlerde eklenmiş olup, bu bölümde oluşan sonuçlar ve bunların değerlendirilmesi aşağıda anlatılmaktadır.

- Alüminyum 7075 – T651 alaşımını CNC dik işleme tezgahında delinmesine esnasında tezgahta $\varnothing$ 10 mm çaplı bütün uçlar için oluşan zorlanmalar takip edildiğinde, tüm kemse koşulları altında DLC kaplamalı uçta oluşan zorlanma ('z' ekseninde) değerleri diğer iki matkap uç tipinden daha çok olduğu kaydedilmiştir. En az % 'lik zorlanmaya neden olan matkap uç tip, HSS – TiN kaplamalı takım aittir. Aynı koşullar altında $\varnothing$ 12 mm çap değerine sahip takımlar incelendiğinde, en az zorlanmaların meydana geldiği takım tipi KARBÜR – TiAlN kaplamalı uç olurken, en fazla zorlanmaya sebebiyet veren uç tipi HSS – TiN kaplamalı takım olmuştur. Devir sayısının artması ve ilerleme hızının azaltılması neticesinde kesme için gerekli kuvvetler azalmaktadır. Bu deney çalışmasında devir sayısı ve ilerleme hızı aynı anda arttırılmasıyla birlikte $\varnothing$ 12 mm çaplı HSS – TiN ve DLC kaplamalı uçlarda zorlanmaların giderek artması, bu uçlarda ilerleme hızının delme işleminde daha etkili olduğunu göstermiştir. Ancak, KARBÜR – TiAlN

kaplamalı uç için artan kesme parametre değerlerinde, oluşan zorlanma ilk olarak arttı, en üst kesme değerlerinde en az zorlanmanın oluşmasının nedeni, devir sayısının bu uç tipinde daha etkin olmasıdır. $\varnothing$ 14 mm çaplı uçların kullanılmasıyla beliren % 'lik zorlanmanın fazla olduğu uçlar; HSS – TiN ve DLC kaplamalı, daha az % 'lik zorlanmanın kaydedildiği uç ise KARBÜR – TiAlN kaplamalı takım olmuştur.

- Delme sonucu alüminyum alaşım malzemesinden elde edilen talaşlar, kesme sıvısından arındırılıp, ayrı ayrı paketlenildikten sonra beyaz bir zemin üzerine konan talaşlar incelenerek oluşan talaşların hangi yapıda olduğu belirtilmiştir. 10 mm çaplı DLC ve KARBÜR – TiAlN kaplamalı uçların, artan devir sayısı ve ilerleme hızında alaşımı delmesi akabinde meydana gelen talaşların sıkışmış hale büründüğü görülmüştür. HSS – TiN kaplamalı ucun ilk kesme şartlarında oluşturduğu sürekli talaş yapısı, giderek artan parametre değerlerinden kaynaklı olarak süreksiz talaş yapısında ortaya çıkmıştır. $\varnothing$ 12 mm çaplı takımların devir sayısı 2000 dev/dak ve ilerleme hızı 200 mm/dak 'da işlemede oluşturduğu talaşlar sürekli forma sahiptir. Artan kesme koşulları değerleri sonucunda, HSS – TiN kaplamalı ucun ortaya çıkardığı talaşlar sıkışmış forma dönüşmüştür. $\varnothing$ 14 mm çap değerine sahip olan DLC kaplamalı matkap ucun ilk kesme koşullarında delme anında görülen malzeme atıkları sürekli talaş şeklindedir. Artan parametre değerleri yüzünden DLC kaplamalı matkap ucun delme esnasında helis yapısı sıkışmış sürekli talaş şeklini oluştururken, KARBÜR–TiAlN kaplamalı ucun malzemeyi işlemesi sırasında ortaya çıkan parçacıklar, sıkışmış talaş ve süreksiz talaş formunu aldığı görülmüştür. $\varnothing$ 14 mm HSS – TiN kaplamalı matkap ucun ilk kesme değerleri olan 2000 dev/dak devir sayısı ve 200 mm/dak ilerleme hızında alaşımı delmesini müteakiben görülen biçim helisel yapısı bozulmuş talaş olmuştur. Artan devir sayısı ve ilerleme hızında delme neticesinde ortaya çıkan talaş yapısı, dolaşık bant formuna dönüşmüştür.
- Delme işlemini tamamlayan matkap uçların her birinde oluşan aşınmalar mikroskop yardımıyla incelendiğinde, bütün kesme parametre değerlerinde kullanılan takımlarda kırılma olmaksızın çeşitli aşınma yüzeyleri oluşturduğu görülmüştür. KARBÜR – TiAlN kaplamalı uç verimliliğin bu deney çalışması için yüksek olduğu söylenebilir. Bunun nedeni, TiAlN kaplamanın aşınması

dışında, büyük sorunlara ve hasarlara neden olabilecek yüzeysel veya krater aşınmasına rastlanmamıştır. $\varnothing$ 12 mm çaplı KARBÜR – TiAlN kaplamalı uç için yüksek kesme ve ilerleme hızından dolayı az oranda kesici uç sivrilmesini kaybettiği ve yeni bir işlemde kullanılmasında bu ucun bilinmesi tavsiyesi verilebilir. DLC kaplamalı uçlar incelendiğinde, kaplama kabiliyeti sayesinde alüminyum alaşımın uca yapışması gözlenmemiştir. DLC kaplamanın genel olarak bütün çap değerlerinde yüzeyden aşındığı ve yüksek kesme parametre değerlerinden dolayı çeşitli aşınma izleri oluşturduğu görülmüştür. Kullanılan HSS – TiN kaplamalı matkap uçların delme işlemi ardından tamamında TiN kaplamasının yer yer aşındığı görülmüştür. Kesme koşulları ve abrasif aşınma etkisiyle yüzey aşınmaları mevcut olup, kenar aşınması veya kesici uç aşınması oluşmamıştır.

- Alüminyum 7075 – T651 alaşımında meydana gelen deliklerin yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüştür. Bütün çap boyutlarında KARBÜR – TiAlN kaplamalı ucun en iyi sonuç ve yüzey kalitesiyle işlemi tamamladığı anlaşılmıştır. DLC kaplamalı ucun takım ömrü açısından olumsuzluk göstermemesine karşın, 10-12-14 mm çap değerindeki uçların tamamının oluşturduğu deliklerin yüzey pürüzlülüğü en yüksek değere, yüzeyin niteliği ve kalitesi bakımından ise en kötü edere sahip olduğu anlaşılmıştır. HSS – TiN kaplamalı matkap uçların delme işleminde meydana getirdiği deliklerin yüzey pürüzlük ölçümleri, diğer uçlarla kıyaslandığında orta büyüklüğe sahip değerler olduğu belirtilebilir.
- Taguchi optimizasyon vasıtasıyla elde edilen sonuçlar, deney düzeneği ile uyum içerisinde olduğu görülmektedir. $\varnothing$ 10 mm çap değerine sahip KARBÜR – TiAlN kaplamalı ucun 500 mm/dak işlemede meydana getirdiği yüzey pürüzlülüğü hem deney çıktısında hem de Taguchi yöntemine göre en düşük değere sahip olduğu görülmektedir. Uygulanan regresyon analizi verileri gereğince matkap uç tipi, yüzey pürüzlülüğüne tesir eden başlıca parametre olduğu kaydedilmiştir.



5. KAYNAKLAR

- [1] Yalçınkaya S., Özbek Y., (2019), “Havacılık ve Uzay Sektöründe Kullanılan 7075 – T651 Alüminyum Alaşımının Delinmesi İçin Kullanılan Farklı Matkap Uçlarının Performans Analizinin Deneysel İncelenmesi”, Mühendislik ve Multidisipliner Yaklaşımlar, Kitap’ta 22. Bölüm Editörleri: Prof.Dr.Ayşgöl Akdoğan Eker., Prof. Dr.Adnan Dikicioğlu, Güven Plus Grup Danışmanlık A.Ş. Yayınları, Yayın No:36934, E-ISBN: 978-605-7594-39-6, pp: 408-442, İstanbul, Türkiye.
- [2] Özbek Y., Yalçınkaya S., (2019), “Alüminyum 7075 Alaşımının Delinmesi İşleminde Kullanılan Farklı Matkap Uçlarının İşlem Sonrası İncelenmesi”, 5. Uluslararası Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Kongresi Kitabı, Kitap No: 36934, E-ISBN: 978-605-7594-43-3, pp: 388-396, 21-22 Aralık, İstanbul, Türkiye.
- [3] D. Vakondios, P. Kyratsis, S. Yaldiz, and A. Antoniadis, (2012), “ Influence of Milling Strategy on The Surface Roughness in Ball End Milling of The Aluminum Alloy Al7075-T6 ”, Measurement: Journal of the International Measurement Confederation, vol. 45, no. 6, pp. 1480–1488.
- [4] M. Subramanian, M. Sakthivel, K. Sooryaparakash, and R. Sudhakaran, (2013), “ Optimization of End Mill Tool Geometry Parameters for Al7075-T6 Machining Operations Based on Vibration Amplitude by Response Surface Methodology ”, Measurement: Journal of the International Measurement Confederation, vol. 46, no. 10, pp. 4005–4022.
- [5] N. E. Prasad, A. Kumar, and J. Subramanyam, (2017), “ Aerospace Materials and Material Technologies ”, Singapore: Springer.
- [6] Groover M. P., (2016), “Modern İmalatın Prensipleri”, Yurdakul M., Tansel Y., 1. Baskı, Nobel Yayınları, 11150, Ankara, Türkiye.
- [7] Aydın M., Yaşar M., Gavas M., Altunpak Y., (2012), “ Üretim Yöntemleri ve İmalat Teknolojileri”, 2. Baskı, Seçkin Yayınları, Ankara, Türkiye.
- [8] Sato, Masahiko, Tomoyuki Aoki, Hisataka Tanaka, and Satoshi Takeda, (2013), “ Variation of Temperature at The Bottom Surface of a Hole During Drilling and Its Effect on Tool Wear ”, International Journal of Machine Tools and Manufacture, 68: 40-47.
- [9] Debnath S, Reddy MM, Yi QS., (2014), “ Environmental Friendly Cutting Fluids and Cooling Techniques in Machining: A Review ” Journal of Cleaner Production, 83, 33-47.

- [10] Kuram E, Ozcelik B, Demirbas E., (2013), “ Environmentally Friendly Machining: Vegetable Based Cutting Fluids ”, Journal of Surface Engineered Materials and Advanced Technology, Vol.6 No.4, October 12.
- [11] Chetan, Sudarsan Ghosh, P. Venkateswara Rao., (2015), “ Application of Sustainable Techniques in Metal Cutting for Enhanced Machinability: A Review ”, Journal of Cleaner Production, 100, 17-34.
- [12] Shokrani A, Dhokia V, Newman ST., (2012), “Environmentally Conscious Machining of Difficult-to-Machine Materials with Regard to Cutting Fluids”, International Journal of Machine Tools and Manufacture, 57, 83-101.
- [13] Jawahir IS, Attia H, Biermann D, et al., (2016), “Cryogenic Manufacturing Processes. CIRP Annals - Manufacturing Technology ”, 65, 713-736.
- [14] Boswell, B., Islam, M.N., Davies, I.J., Ginting, Y.R., Ong, A.K., (2017), “A Review Identifying The Effectiveness of Minimum Quantity Lubrication (MQL) During Conventional Machining”, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 1–20.
- [15] Taşkesen A., Kutukde K., (2013), “Analysis and Optimization of Drilling Parameters for Tool Wear and Hole Dimensional Accuracy in B4C Reinforced Al-alloy ”, Science Direct, pp: 2524–2536.
- [16] Rao Ch. M., Venkatasubbaiah K., Rao K. J., (2016), “Experimental Investigation of Surface Roughness Characteristics Ra, Rq and Rz”, International Journal of Hybrid Information Technology, 9 (7): 373-388.
- [17] Rao Ch. M., Rao K. J., Babu K.S., (2015), “Analysis of Process Parameter in Dry Turning of Medium Carbon Steel En19 by Using Grey Relational Grade and Regression Methods”, Int J Eng Res Appl, 5: 07-14.
- [18] Kıvak T., Samtaş G. and Çiçek, A., (2012), “Taguchi Method Based Optimisation of Drilling Parameters on Drilling of AISI 316 Steel with PVD Monolayer and Multilayer Coated HSS Drills”, Measurement, vol. 45, pp:1547-1557.
- [19] Çakır A., Nalbant M., Duran A., Ulaş H., (2012), “AA7075 ve AA6013 alüminyum malzemelere delik delme operasyonu sürecinde kesme parametrelerinin incelenmesi”, 3.Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu, pp:9-18.Ankara,Türkiye.

- [20] Şirin E., Şirin Ş., Turgut Y., Korkut İ., (2015), “AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin frezelenmesinde yüzey pürüzlülüğünün Taguchi metodu ile optimizasyonu”, Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 3: 132-144.
- [21] Çaydaş U., Çelik M., (2017), “AA 7075-T6 Alaşımının Delinmesinde Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğü, Takım Sıcaklığı ve İlerleme Kuvvetine Etkilerinin Araştırılması” , Journal of Polytechnic, 20 (2) : 419-425.
- [22] Pul M., (2017), “7075, 6061 Ve 2024 Alüminyum Alaşımlarının Tornalanmasında Yüzey Pürüzlülüğü ve Takım Aşınmasının Karşılaştırılması” , International Journal of Engineering Research and Development, Cilt: 9, Sayı: 2.
- [23] Ulaş B.H., (2019), “AA 6061 Alüminyum Alaşımının Tornalanmasında Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin Analizi Ve Optimizasyonu”, Technological Applied Sciences,14(2):48-56, DOI:10.12739/NWSA.2019.14.2.2A0168.
- [24] Çakır A., Bahtiyar O., Şeker U., (2014), “Farklı Soğutma Şartları ile Farklı Kesme Parametrelerinin AA 7075 ve AA 2024 Alüminyum Alaşımlarında Delik Delme İşlemlerine Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi”, 16. Uluslararası Makina Tasarım ve İmalat Kongresi, 30 Haziran – 03 Temmuz, İzmir,Türkiye.
- [25] Erkan Ö., Yücel E., (2018), “AA 7075 malzeme üzerine delinen delik yüzeylerinin pürüzlülük optimizasyonu ve istatistiki analizi”, International Eurasian Conference on Science, Engineering and Technology (EurasianSciEnTech), 22-23 Kasım, Ankara,Türkiye.
- [26] Kahraman F., Başar G., Koçoğlu Z. ve Yenyıl E., (2018), “Delik büyütme işleminde kesme parametrelerinin çok yanıtlı Taguchi deneysel tasarım yaklaşımı kullanılarak optimizasyonu”, Politeknik Dergisi, 21(2): 283-290.
- [27] Etyemez A., (2019), “DLC Kesici Takım ve İşleme Parametrelerinin Yüzey Kalitesine ve Kesme Kuvvetlerine Etkilerinin İncelenmesi”, European Journal of Science and Technology, Sayı 16, S. 494-504.
- [28] Uğur L., (2019), “7075 Alüminyum Malzemesinin Frezelenmesinde Yüzey Pürüzlülüğünün Yanıt Yüzey Yöntemi ile İyileştirilmesi”, Erzincan Binali Yıldırım University Journal of Science and Technology, 12(1), 326-335.
- [29] Yaşar N., Boy M., ve Günay M., (2017), “The effect of drilling parameters for surface roughness in drilling of AA7075 alloy”, MATEC Web of Conferences, Vol. 112, 01018, IManE&E.

- [30] Ghasemi A. H., Khorasani A. M., ve Gibson I., (2018), “ Investigation on the Effect of a Pre-Center Drill Hole and Tool Material on Thrust Force, Surface Roughness, and Cylindricity in the Drilling of Al7075”, MDPI – Materials, 11, 140.
- [31] Dişbudak T. ve Şensoy S., (2014), “7075 Alüminyum Alaşımının Tornalamasında Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkilerinin Analizi”, Journal of Engineering and Technological Sciences.
- [32] Anwar R., Jahanzaib M., Asghar G., Wasim A., Hussain S., (2015), “Optimization of Surface Roughness for Al-Alloy 7075-T in Milling Process”, Technical Journal, University of Engineering and Technology, Vol. 20(SI) No.II(S).
- [33] Saravanakumar A., Sasikumar P., Nilavusri N., (2016), “Optimization of Machining Parameters using Taguchi Method for Surface Roughness ”, Journal of Materials and Environmental Science, 1556-1561, 7 (5).
- [34] Pervaiz S., Deiab I., (2014), “Surface roughness and energy consumption analysis of conventional and peck drilling approaches”, Proc IMechE Part B: J Engineering Manufacture, 1–16.
- [35] Nimase R. N., Khodke Dr. P. M., (2015), “Effect of Machining Parameters on Surface Roughness of Al-7075 Alloy in End Milling”, International Research Journal of Engineering and Technology, Volume: 02 Issue: 03.
- [36] M. D. Satish Kumar, Jiten Prasad, D. Abhishek Krishna, M. Venkat Narayana, M. Anusha, A. Saravanakuma, (2018), “Parametric optimization of aluminium alloy milling using Taguchi method for surface roughness”, International Journal of Scientific Research and Review, Volume 7, Issue 3.
- [37] Surasit Rawangwong, Jaknarin Chatthong, R. Burapa and W. Boonchouytan, (2012), “An investigation of optimum cutting conditions in face milling aluminum 7075-T6 using design of experiment”, Lecture Notes in Management Science, Vol. 4: 125–135.
- [38] Ahmad Hamdan, Ahmed A. D. Sarhan, Mohd Hamdi, (2012), “An optimization method of the machining parameters in high-speed machining of stainless steel using coated carbide tool for best surface finish”, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 58:81–91.
- [39] A. Zainol and M.Z.A Yazid, (2016), “Review of Development Towards Minimum Quantity Lubrication and High Speed Machining of Aluminum 7075-T6”, Journal of Advanced Manufacturing Technology, Volume: 12.

- [40] S.Sakthivelu, M.Meignanammoorthy, M.Ravichandran, (2017), “Optimization of Machining Parameters in Cnc Drilling Of Aluminium 6351 Alloy”, Pak. J. Biotechnol., Vol. 14, Pp. 106- 108.
- [41] Mr.K.Gopalakrishnan, Dineshragupathy.S, Elavarasan.M, Gopinath.K, Vignesh.L, (2016), “Optimization of Machining Parameters in Drilling of Al7075 Alloy Using Rsm Methodology”, EPH - International Journal of Science and Engineering, Vol-1, 2454.
- [42] J.Pradeep Kumar, P.Packiaraj, (2012), “Effect of Drilling Parameters on Surface Roughness, Tool Wear, Material Removal Rate and Hole Diameter Error in Drilling of Ohns”, International Journal of Advanced Engineering Research and Studies, Vol. 1, 150-154.
- [43] Bin Osman M. H., Bin ab Rahman M. H., Bin Ahmad M. N., Bin Wahid M. K. ve Binti Maidin N. A., (2017), “Optimization of Drilling Parameters on Diameter Accuracy in Dry Drilling Process of AISI D2 Tool Steel”, International Journal of Applied Engineering Research, Volume 12, Number 20, pp. 9644-9652.
- [44] S.V. Alagarsamy, S. Arockia Vincent Sagayaraj, P. Raveendran, (2016), “Optimization of Drilling Process Parameters on Surface Roughness & Material Removal Rate by Using Taguchi Method”, International Journal of Engineering Research and General Science, Volume 4, Issue 2.
- [45] Mostafa A. Abdullah, Ahmed B. Abdulwahhab ve Atheer R. Mohammed, (2016), “Effect of Cutting Parameter on Material Removal Rate and Surface Roughness in Deep Drilling Process”, The Arab Journal of Sciences & Research, Vol.2, Issue (5), pp: 274-285.
- [46] Gülbudak, M., (2013), “Farklı Alüminyum Levha Çiftinin Sürtünme Karıştırma Kaynak Özellikleri”, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 12-13.
- [47] Başer, A., (2012), “Alüminyum Alaşımları ve Otomotiv Endüstrisinde Kullanımı“, Mühendis ve Makine Dergisi 635, s.51-58.
- [48] İnce, E., (2014), “Amfibi Zırhlı Araçlar için Kompozit-Alüminyum Denge Plakası Tasarımı, Sonlu Elemanlar Analizi ve Üretimi”, Yüksek Lisans Tezi, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 46-47.
- [49] Thompson, B., Doherty, K., Niese C., Eff, M., Stotler, T., Pramann Z., Seaman, J., Spencer, R., White P., (2012), “Friction Stir Welding of Thick Section Aluminum For

Military Vehicle Applications”, A reprint from the 9th International Symposium on Friction Stir Welding (9ISFSW), 15-17 Mayıs, Huntsville, Alabama.

[50] Çağan S. Ç., Uğurlu M., Buldum B. B., Sevim İ., (2017), “Alüminyum ve Alaşımlarının Asker Araçlarda Kullanımı”, 2. uluslararası savunma sanayi sempozyumu, 5-8 Nisan, Kırıkkale, Türkiye.

[51] T.C. Millî Eğitim Bakanlığı, “Uçak Bakım ve Uçak Malzemeleri”, (2012), Ankara, Türkiye.

[52] Güray Alüminyum, <https://gurayaluminum.com.tr/havacilik-ve-savunma-sanayi-de-aluminyum/>, (25.09.2019).

[53] Mikell P. Groover, John Wiley, (2016), “ Principles of Modern Manufacturing - Modern İmalatın Prensipleri ”, çeviri editörleri; Mustafa Yurdakul, Yusuf Tansel İç, 4. Edition.

[54] Mudin Makine, <http://www.mudinmakine.com/cnc+tezgahlari.html>, (28.09.2019).

[55] Albert J. Shih, Steven Liang, (2016), “Analysis of Machining and Machine Tools”, 1st Edition.

[56] <https://www.sandvik.coromant.com/tr-tr/knowledge/drilling/pages/trepanning.aspx> (08.10.2019).

[57] Gökçe H., Yavuz M. ve Şeker U., (2017), “Matkap Geometrisinin Oluşturulmasında Parametrik Modelleme Yaklaşımı”, 8th International Symposium On Machining, 2-4 Kasım, Antalya, Türkiye.

[58] Bülbül F., (2014), “Sert ve Yumuşak Kaplamalar ”, Tek. Derg., Cilt:4, Sayı:2, pp. 32-41.

[59] Zerrin T., (2014), “Elmas Benzeri Karbon İnce Filmlerin Hazırlanması ve Karakterizasyonu”, Fizik Mühendisliği Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 13.

[60] Aslan Y., (2019), Kişisel Görüşme, Oerlikon Balzers - Balinit Kesici Takımlar Özellikleri.

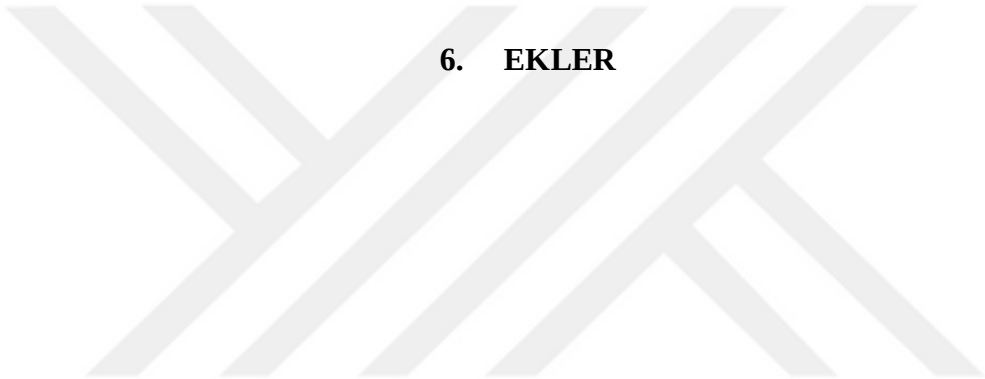
[61] Ayşegül Çakır A., Kavak N., Şeker U., (2017), “Sürdürülebilir Üretim İçin Talaşlı İmalatta Kullanılan Kesme Sıvılarının Geri Dönüşümü”, Mühendis ve Makine cilt 58, sayı 684, s. 13-29.

- [62] Azreen Zainol, MZA Yazid, (2019), “Environmentally Friendly Approaches Assisted Machining of Aluminum Alloy 7075-T6 for Automotive Applications”, *International Journal of Integrated Engineering* Vol. 11 No. 6, 018–026.
- [63] İlhan M., Çavuşoğlu O., Duran A., ve Şeker U., (2013), “Talaş Kaldırma İşlemlerinde Minimum Miktarla Yağlama (MQL) Uygulamasının Kesme Hızı ve Yağlama Debisine Bağlı Olarak Yüzey Pürüzlülüğü Üzerindeki Etkisinin Araştırılması”, 4.ulusal talaşlı imalat sempozyumu, 637-643.
- [64] M. H. S. Elmunafi, M. Y. Noordin, and D. Kurniawan, (2015), “Tool Life of Coated Carbide Cutting Tool when Turning Hardened Stainless Steel under Minimum Quantity Lubricant Using Castor Oil”, *Procedia Manufacturing*, vol. 2, no. 2, pp. 563–567.
- [65] C. A. Schuch Bork, J. F. Souza Gonçalves, and J. O. Gomes, (2015), “The Jatropha Curcas Vegetable Base Soluble Cutting Oil as a Renewable Source In The Machining of Aluminum Alloy 7050-T7451”, *Industrial Lubrication and Tribology*, vol. 67, no. 2, pp. 181–195.
- [66] Mevag Endüstriyel Sıvılar, <http://ebmy.com.tr/sentra-serisi-neo-sentetik-metal-isleme-sivilari/sentra-250-h-neo-sentetik-metal-isleme-sivisi/>, (15.10.2019).
- [67] P. C. Priarone, M. Robiglio, L. Settineri, and V. Tebaldo, (2014), “Milling and Turning of Titanium Aluminides by Using Minimum Quantity Lubrication”, *Procedia CIRP*, vol. 24, pp. 62–67.
- [68] F. Zhou, H. Zhang, J. W. Sutherland, Z. Jiang, and Y. Wang, (2015), “Optimization of Machining Parameters Considering Minimum Cutting Fluid Consumption”, *Journal of Cleaner Production*, vol. 108, pp. 183–191.
- [69] S. A. Lawal, I. A. Choudhury, and Y. Nukman, (2013), “A Critical Assessment of Lubrication Techniques in Machining Processes: A Case For Minimum Quantity Lubrication Using Vegetable Oil-Based Lubricant”, *Journal of Cleaner Production.*, vol. 41, pp. 210–221.
- [70] R. Khettabi, M. Nouioua, A. Djebara, and V. Songmene, (2017), “Effect of MQL and Dry Processes on The Particle Emission and Part Quality during Milling of Aluminum Alloys”, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 92, no. 8, pp. 2593–2598.
- [71] Kuzu A.T., Tülü T., Baysal G., Çelik C., ve Bakkal M., (2013), “CO₂ – MQL Sisteminin İşlenebilirliğe Etkisi”, 4.Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu, pp. 99-108.

- [72] Ceviz M., (2015), “ Kesici Takım, Kesme Hızı ve Malzeme Cinsinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkilerinin Araştırılması ”, Makina Mühendisliği Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Edirne, Türkiye, 2-3.
- [73] Yılmaz R., (2014), “Karbür Kesici Takımların Süper Alaşım Talaşlı İmalat Performanslarına Borlama İşleminin Etkisi”, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Türkiye, 13-14.
- [74] Bülbül Emrah A., (2013), “Kaplamasız, Pvd Tekniği ile TiN ve AlTiN Kaplanmış Din 1.2379 Soğuk İş Takım Çeliğinin Aşınma Davranışlarının İncelenmesi”, Makine Eğitimi Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 23-24.
- [75] N.Bircan Buğdaycı, İsmail Lazoğlu, Recep Akçay, (2012), “Alüminyum 7050 Alaşımının Frezelenmesinde Takım Performanslarının Karşılaştırmalı Analizi”, 3. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu, 4-5 Ekim, Ankara, Türkiye.
- [76] Altaş E., (2015), “Nanotabakalı AlTiN/TiN Kaplamalı Karbür Kesici Takımların Ti6Al4V Alaşımının Frezelenmesinde Kesme Performanslarının ve Aşınma Davranışlarının İncelenmesi”, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Bartın Üniversitesi, Türkiye, 36-38.
- [77] David A. Stephenson, John S. Agapiou, (2016), “Metal Cutting Theory and Practice”, 3rd Edition.
- [78] Aslan Y., (2019), Kişisel Görüşme, Oerlikon Balzers - Kesici Takımlar: Ürün ve Servisler Kataloğu.
- [79] Özocakcıoğlu A., (2016), “Sertleştirilmiş AISI 4140 Çelik Malzemenin İşlenmesinde Seramik Kesici Takımda Oluşan Aşınmanın İncelenmesi”, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Bolu, Türkiye, 17-18.
- [80] Uluğ D., Dilipak H., (2012), “Kaplmalı ve Kaplamasız Sementit Karbür Takımlar için Takım Ömrü Modelindeki “n” Üstel Değerinin Deneysel Olarak Araştırılması”, 3. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu, 4-5 Ekim, Ankara.
- [81] M.SenthilKumar, A.Prabukarthi, V.Krishnaraj, (2013), “Study on Tool Wear and Chip Formation during Drilling Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)/ Titanium Alloy (Ti6Al4V) Stacks”, International Conference on Design and Manufacturing, 18-20 July, India.

- [82] Wang X., (2012), “A Study of Tool Wear in Turning of Pure Aluminum and Drilling of Cfrp/Ti Stacks”, Doctoral Thesis In Mechanical Engineering, Michigan State University, USA, 2-3
- [83] Harsh Y. Valeraa, Sanket N. Bhavsara, (2014), “Experimental Investigation of Surface Roughness and Power Consumption in Turning Operation of EN 31 Alloy Steel”, *Procedia Technology*, pp.528-534.
- [84] Klimchik A., Ambiehl A., Garnier S., Furet B. and Pashkevich A., (2017), “Efficiency Evaluation of Robot in Machining Applications using Industrial Performance Measure ”, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol. 48, pp.12-29.
- [85] John P. and Davis R., (2016), “Performance Study of Electrical Discharge Machining Process in Burn Removal of Drilled Holes in Al 7075”, *Cogent Engineering*, vol. 3(1), pp.1-19.
- [86] Kulekci M.K., Eşme U., Ekşi A.K., Koçoğlu Z. ve Yılmaz N.F., (2017), “En Aw 5754 (Almg3) Alüminyum Alaşımının Frezelenmesi İşleminde Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin İncelenmesi”, *Çukurova University Journal of the Faculty of Engineering and Architecture*, vol. 32(2), pp.153-160.
- [87] Ranganath M S, Vipin, (2013), “Optimization of Process Parameters İn Turning Operation Using Taguchi Method And Anova: A Review”, *International Journal of Advance Research and Innovation*, Vol.1, pp.31-45.
- [88] Kuldip Singh Sangwana, Sachin Saxenaa, Girish Kanta, (2015), “Optimization of Machining Parameters to Minimize Surface Roughness using Integrated ANN-GA Approach”, *Procedia CIRP* 29, pp: 305-310.
- [89] Özbek Y., Yalçınkaya S., (2019), “7075 – T651 Alaşımının Delinmesinde Kesme Parametreleri, Matkap Uç Tipi ve Çapların Talaş Yapısı Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi”, 5. Uluslararası Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Kongresi Kitabı, Kitap No: 36934, E-ISBN: 978-605-7594-43-3 pp: 523-532. İstanbul,Türkiye.





6. EKLER

EK 2.5.1



Şekil 3. 72 - Matkap Uçların Tipe ve Çapa Göre Ayrı Olarak Muhafaza Edilmesi

EK 3.3.1



Şekil 3. 73 - Delme Sonucu Alüminyum Alaşımından Kopan Talaşların Toplanması

EK 3.3.1



Şekil 3. 74 - Talaşların Kesme Parametre Değerlerine Göre Ayrılıp, Paketlenmesi

EK 3.3.2



Şekil 3. 75 – CNC Dik İşleme Tezgahın Kontrol Ünitesinde Kaydedilen İşlem Süresinin Takibi

EK 3.3.6



Şekil 3. 76 - Cihaz ile Yüzey Pürüzlülük Ölçümü

ÖZGEÇMİŞ

Kimlik Bilgileri:

Ad – Soyad: Yağız ÖZBEK

E-posta: yagiz-ozbek@windowslive.com

Doğum yeri ve tarihi: Kocaeli - TÜRKİYE / 16.05.1990

Dil: Türkçe ve İngilizce

Eğitim Bilgileri:

Derece	Bölüm	Okul	Mezuniyet Yılı
Lise	Matematik - Fen	Bahçeşehir Koleji	2008
Lisans	Makine Mühendisliği	Dokuz Eylül Üniversitesi	2015
Lisansüstü	Makine Mühendisliği	Marmara Üniversitesi	Devam

Sertifikalar:

2017 - Gedik Üniversitesi – Uluslararası Kaynak Mühendisliği

2017 – Tahribatsız Muayene Personeli Yeterlilik Belgesi – Görsel Muayene (Level 1+2)

2016 – Solidworks CSWA