

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

**AL 7075 ALÜMİNYUMUN MATKAPLARLA  
DELİNMESİNDE KESME PARAMETRELERİ İLE  
SICAKLIK ARASINDAKİ İLİŞKİNİN DENEYSEL  
İNCELENMESİ**

**Hatice YAKUT**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI  
MAKİNE EĞİTİMİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN  
Yrd. Doç. Dr. A.Talat İNAN**

**İSTANBUL 2009**

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

**AL 7075 ALÜMİNYUMUN MATKAPLARLA  
DELİNMESİNDE KESME PARAMETRELERİ İLE  
SICAKLIK ARASINDAKİ İLİŞKİNİN DENEYSEL  
İNCELENMESİ**

**Hatice YAKUT  
(141101720060271)**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI  
MAKİNE EĞİTİMİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN  
Yrd. Doç. Dr. A.Talat İNAN**

**İSTANBUL 2009**

# TEŞEKKÜR

Üniversite hayatımız boyunca biz öğrencilerine yol gösteren, desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, başarılarımızın yegane kaynağı, her yönüyle takdir ettiğimiz ve örnek aldığımız çok değerli Prof. Dr. Mustafa KURT hocama, tez çalışmam boyunca maddi ve manevi desteğini gördüğüm aynı zamanda tez danışmanım olan çok değerli Yrd. Doç.Dr. A.Talat İNAN hocama, çalışmalarım ve tezin oluşturulmasında en büyük desteği gördüğüm değerli hocalarım Arş.Gör. Uğur KÖKLÜ'ye ve Arş. Gör. Barkın BAKIR'a, bilgi ve birikimlerinden faydalandığım hocalarım Yrd. Doç. Dr.Oğuz GİRİT'e, Yrd. Doç.Dr. Gürcan ATAKÖK'e, Yrd. Doç.Dr. Yeşim YAYLA'ya, Yrd. Doç.Dr. Halil DEMİRER'e, Dr. Ayhan ETYEMEZ'e, Arş. Gör. Yusuf KAYNAK'a, Arş.Gör. Selim HARTOMACIOĞLU'na, Arş. Gör. Bilçen MUTLU'ya, her zaman yanımda var olduğunu gösteren, beraberce nice yollar arşınladığım canım arkadaşım Duygu AYDOĞDU'ya, çalışmalarım manevi desteklerini sunan ev arkadaşlarıma, Zeki Plastik Ambalaj ve Kalıp Sanayi çalışanlarına, Nikken Kesici Takımlar Sanayi ve Uluslararası A.Ş. ile QUANTUM Takım Sanayi Ürünleri Çelik A.Ş. firmalarına sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bugünlere gelmemde en büyük desteği veren sevgili babacığım Ahmet YAKUT Beyefendiye, anneciğim Vahide YAKUT Hanımefendiye ve kardeşlerim Dilek ve Melek YAKUT' a çok teşekkür ederim.

**Temmuz,2009**

**Hatice YAKUT**

# İÇİNDEKİLER

	SAYFA
TEŞEKKÜR .....	I
İÇİNDEKİLER .....	II
ÖZET .....	V
ABSTRACT.....	VI
SEMBOLLER .....	VII
KISALTMALAR.....	XI
ŞEKİLLER .....	XII
TABLolar .....	XIV
BÖLÜM I. GİRİŞ VE AMAÇ .....	1
BÖLÜM II. GENEL BİLGİLER.....	2
II.1. ALÜMİNYUM .....	2
II.1.1. Alüminyumun Tarihçesi.....	2
II.1.2. Alüminyum Hakkında Genel Bilgiler .....	3
II.1.3. 7xxx Serisi Alaşımlar .....	6
II.1.3.1. 7075 TEMPER T6/T651 Alaşımı .....	6
II.1.4. Alüminyum ve Alaşımlarının Talaşlı İşlenebilirliği .....	7
II.1.5. Alüminyumun Endüstride Kullanımı.....	9
II.1.6. Alüminyum ve Gelecek.....	10
II.2. KURU İŞLEME VE MİNİMUM YAĞLAMA .....	11
II.3. DELİK DELME.....	11
II.3.1. Delik Delme İşleminde Kesme Kuvvetleri ve Güç.....	17
II.4. MATKAP YÜZEYİNDE ISI OLUŞUMU .....	20
II.4.1. Takımın Yan Yüzeyinde Isı Oluşumu.....	21
II.4.2. Takım Ve Talaş İçindeki Isı Akışı.....	24
II.5. DELİK DELMEDE KULLANILAN KESİCİ TAKIMLAR (MATKAPLAR).....	28

II.5.1. Matkaplar.....	28
<b>II.6. SPİRAL MATKAPLAR.....</b>	<b>31</b>
II.6.1. Yapısı .....	31
II.6.2. Spiral Matkap Geometrisinin Talaş Kaldırmaya Etkisi .....	33
II.6.2.1. Öz Kalınlığının Etkisi .....	33
II.6.2.2. Kesici Ağız Serbest Açısının Etkileri .....	35
II.6.2.3. Helis Açısının Etkileri.....	35
II.6.2.4. Uç Açısının Etkileri .....	35
II.6.3. Spiral Matkap Gereçleri .....	36
<b>II.7. KAPLAMA YÖNTEMLERİ.....</b>	<b>38</b>
II.7.1. Kimyasal Buhar Biriktirme Yöntemi (CVD) .....	40
II.7.2. PECVD Kaplama Yöntemi.....	41
II.7.3. Fiziksel Buhar Biriktirme (PVD).....	42
<b>II.8. DLC KAPLAMA .....</b>	<b>47</b>
II.8.1. DLC Film Kaplama Teknikleri.....	50
<b>II.9. LİTERATÜR BİLGİLERİNİN İRDELENMESİ.....</b>	<b>51</b>
II.9.1. Delik Delme İşlemine Etki Eden Faktörler .....	51
II.9.2. Metal Kesmede Sıcaklığa Tesir Eden Faktörler ve Sıcaklık Ölçme Yöntemleri.....	72
<b>BÖLÜM III. TEZ ÇALIŞMALARI.....</b>	<b>81</b>
<b>III.1. ARAŞTIRMA YÖNTEMİ .....</b>	<b>81</b>
<b>III.2. MATERYAL .....</b>	<b>81</b>
III.2.1. CNC Freze Tezgahı .....	81
III.2.2. Deneyde Kullanılan İş Parçası Malzemesi ve Özellikleri.....	82
III.2.3. Deneyde Kullanılan Kesici Takımlar .....	83
III.2.4. Deneyde Kullanılan Sıcaklık Ölçüm Cihazları .....	84
III.2.5. Deneyde Kullanılan Kuvvet Ölçüm Cihazları .....	85
III.2.5.1. Kuartz Dinamometre .....	85
III.2.5.2. Yük Amplifikatörü .....	87
III.2.5.3. Analiz Programı .....	87
<b>III.3. METOT.....</b>	<b>87</b>
III.3.1. Taguchi İle Deney Tasarımı.....	87
III.3.1.1. Deney Tasarımları .....	90

III.3.1.2. Delme Sıcaklığı ve İtme Kuvveti Ölçümü ve Sonuçları.....	93
III.3.1.3. Analizlerin Değerlendirilmesi ve Sonuçları.....	93
III.3.1.4. ANOVA ile Parametrelerin Değerlendirilmesi.....	96
III.3.1.5. Regresyon Modeli İle İtme Kuvveti ve Sıcaklık İçin Tahminsel Denklem Oluşturulması.....	97
III.3.1.6. Optimal Parametrelerin Tahmin Modellerinin Oluşturulması.....	98
<b>BÖLÜM IV. SONUÇLAR,TARTIŞMA .....</b>	<b>101</b>
<b>BÖLÜM V. SON DEĞERLENDİRMELER VE ÖNERİLER .....</b>	<b>103</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>104</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>.....</b>

# ÖZET

## AL 7075 ALÜMİNYUMUN MATKAPLARLA DELİNMESİNDE KESME PARAMETRELERİ İLE SICAKLIK ARASINDAKİ İLİŞKİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ

Dünya ekonomisinde önemli bir yere sahip olan alüminyum birçok endüstri alanında kullanılmaktadır. Hafif ve maliyeti düşük olan alüminyum uzay ve havacılık endüstrisinde, otomotiv ve inşaat sektöründe kullanımını artırmıştır. Alüminyum kullanımı kesme, tornalama, frezeleme, delme vs. gibi birçok işleme gerek duyar. Delme işleminin de gerçekleştiği imalat sanayinde kaliteli bir delme işlemi yapmak için çeşitli kaplamalı matkaplar kullanılmaya başlanmıştır. İmalat sanayinde matkaplarda meydana gelen takım aşınmalarını, yapışmayı ve sürtünmeden dolayı meydana gelen sıcaklığı minimize ederek delme işlemini gerçekleştirmek istenmektedir.

Soğutma sıvılarının çevre ve insan sağlığı için tehlike oluşturması ve maliyetinin yüksek olması nedeniyle kuru delme işlemleri yapılmaktadır. Alüminyum alaşımlarının kuru olarak delinmesinde HSS matkapların alüminyuma yapışmasından dolayı, alüminyuma karşı yapışma eğilimi az veya hiç olmayan DLC kaplamalı matkaplar kullanılmaktadır.

Bu çalışmada AL7075 malzeme üzerine Çap 6 DLC kaplamalı matkap kullanılarak kuru delme işlemi yapılmıştır. Kesme parametrelerinin değişiminin delme sıcaklığı ve itme kuvveti üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Kesme sıcaklığını ölçmek için termokupllar ve kesme kuvvetlerini ölçmek için Kistler dinamometre kullanılmıştır. Taguchi optimizasyon tekniği kullanılarak delme prosesi optimize edilmiştir. Regresyon ile tahminsel değerlere ulaşılmıştır. ANOVA (varyans analizi) ile deneylerde en etkili faktörler bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Alüminyum, DLC, Sıcaklık, İtme Kuvveti

# **ABSTRACT**

## **EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN TEMPERATURE AND CUTTING PARAMETERS IN THE DRILLING OF AL 7075 ALLOYS**

Aluminum which has an important place in the world economy is used in many industrial areas. Low price and lightness make it popular in aerospace and space, automotive and building sectors. Use of aluminum needs a lot of several processes such as cutting, turning, milling, drilling etc. Various coated drills are used to obtain high quality drilling process in manufacturing. The aim of manufacturing sector is to perform the drilling operation by minimizing tool wear, adhesion and temperature which is the result of friction.

Dry drilling process is preferred in place of wet drilling due to high cost of wet drilling and harmful coolant fluids which cause serious risks for the environment and human health. DLC drills, which have less tendency to adhere to aluminum, are used for dry drilling of aluminum alloys instead of HSS drills that adhere to aluminum.

In this study, dry drilling is performed on Al7075 material using coated drill with a diameter of 6mm. The effects of changing cutting parameters on cutting temperature and thrust force were investigated. Thermocouples were used to measure the cutting temperature and Kistler dynamometer was used to determine the thrust force. Optimization of drilling process was carried out by employing Taguchi optimization technique. Estimated values were obtained by regression. The most effective factors in the experiments were found by ANOVA (variance analysis)

Key words: Aluminum, DLC, temperature, thrust force

**July, 2009**

**Hatice YAKUT**



## SEMBOLLER

<b>A</b>	: Talaş kesit alanı, mm <sup>2</sup>
<b>Al</b>	: Alüminyum
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	: Alüminyum Oksit
<b>Ar</b>	: Argon
<b>b</b>	: Talaş Genişliği
<b>Ap</b>	: Radyal talaş derinliği, mm
<b>c<sub>t</sub></b>	: Matkap malzemesinin ısı kapasitesi
<b>c<sub>w</sub></b>	: İş parçasının ısı kapasitesi
<b>CH<sub>4</sub></b>	: Metan
<b>CF<sub>4</sub></b>	: Tetraflorometan
<b>Co</b>	: Kobalt
<b>Cu</b>	: Bakır
<b>CrCN</b>	: Krom Karbür Nitrür
<b>D</b>	: Takım çapı, mm
<b>f</b>	: İlerleme mm/dev
<b>F</b>	: İtme kuvveti (N)
<b>F<sub>a</sub></b>	: Eksenel kuvvet
<b>F<sub>c</sub></b>	: Kesici takımın kesme yönündeki kuvvetin bileşeni
<b>F<sub>e</sub></b>	: Toplam teğetsel kuvvet (N)
<b>F<sub>z</sub></b>	: Matkap eksenine paralel kesici takım üstündeki kuvvet bileşeni
<b>F<sub>f,r</sub></b>	: Kesici takım üzerinde talaş akışı yönündeki kuvvet bileşeni
<b>Frz</b>	: Radyal kuvvet, N
<b>Fsz</b>	: Kesme kuvveti, N
<b>Fvz</b>	: İlerleme kuvveti, N
<b>h<sub>1</sub></b>	: Deformasyona uğramış talaş kalınlığı, mm
<b>h<sub>2</sub></b>	: Teorik talaş kalınlığı, mm
<b>h<sub>0</sub></b>	: Talaş derinliği

<b>kc</b>	: Özgül kesme kuvveti (N/mm <sup>2</sup> )
<b>ks</b>	: Düzeltme faktörü, N/mm <sup>2</sup>
<b>k<sub>t</sub></b>	: Takım malzemesinin termal iletkenliği
<b>k<sub>w</sub></b>	: İş parçasının termal iletkenliği
<b>K</b>	:Kelvin
<b>lc</b>	: Takım –talaş temas uzunluğu
<b>L</b>	: İlerleme uzunluğu, mm
<b>M</b>	: Tork (Nm)
<b>N</b>	: Newton
<b>Ms</b>	: Toplam kesme momenti, Nm
<b>n</b>	: Devir sayısı, rev/min
<b>p</b>	: Çevresel kesme hızı, m/min
<b>PC</b>	: Kesme Gücü
<b>P</b>	: Güç (kw)
<b>q</b>	: Temel kesici takım veya basit kesici takımda oluşan ısı oluşumunun toplam oranı
<b>q<sub>sürtünme</sub></b>	: Temel kesici takım veya basit kesici takımda sürtünmeyle oluşan ısı oranı
<b>q''<sub>sürtünme</sub></b>	: Takım-talaş ara yüzü üzerinde birim alan başına sürtünmeyle oluşan ısı oranı
<b>q''<sub>takım</sub></b>	: Takım-talaş ara yüzü üzerinde birim alan başına takımda oluşan ısı akış oranı
<b>q''<sub>talaş</sub></b>	: Takım talaş ara yüzü üzerinde birim alan başına talaş içerisindeki ısı akış oranı
<b>Ra</b>	: Ortalama yüzey pürüzlülüğü (mikrometre)
<b>R<sub>2</sub></b>	: Talaş içinde yürütülen ve yan yüzey üzerinde oluşan ısının bir bölümü
<b>(1-R<sub>2</sub>)</b>	: Takım içinde yürüyen yan yüzey üzerinde oluşan ısının bir bölümü
<b>S/N</b>	: Sinyal/Gürültü oranı
<b>Si</b>	:Silisyum
<b>SP2</b>	:Grafitteki Baskın bağ
<b>SP3</b>	:Elmastaki baskın bağ
<b>t</b>	: Zaman

$t_2$	: Talaş kalınlığı
$T$	: Efektif işleme zamanı, min
$T$	: Temel kesici takımında $F_C$ tarafından katılan tork
$T^o$	: Ortam sıcaklığı
$T_{takım}$	: Takım –talaş temas alanı üzerinde takımın ortalama sıcaklığı
$T_{talaş}$	: Takım -talaş temas alanı üzerinde talaşın ortalama sıcaklığı
<b>TiC</b>	: Titanyum Karbür
<b>TiN</b>	: Titanyum Nitrür
<b>TiCN</b>	: Titanyum Karbür Nitrür
<b>TiAlN</b>	: Titanyum Alüminyum Nitrür
$u$	: Takımın ilerlemesi
$v$	: Takımın dönmesi
$V_c$	: Kesme hızı, m/dak
$V_f$	: İlerleme hızı, mm/dak
$V_{kesme}$	: Kesme hızı
$V_{talaş}$	: Talaş hızı
$w$	: Kesme genişliği
$W_c$	: Özgül enerji (N/mm <sup>2</sup> )
$z$	: Kesici kenar sayısı
$Z$	: Takım ömrü (dak)
$Q$	: Talaş Hacmi
$\alpha$	: Yan açısı
$\alpha_t$	: Takım malzemesinin termal difüzyonu
$\eta$	: Verim
$\mu$	: Sürtünme katsayısı
$\lambda$	: Eğim açısı
$\eta$	: Talaş açısı
$\phi$	: Kesme açısı
$\theta$	: Kesme ağzı ve matkap eksenini arasındaki açı
$\rho_t$	: Takım malzemesinin yoğunluğu
$\rho_w$	: İş parçasının yoğunluğu
$\omega$	: Matkapın açısal hızı

$\Delta T_s$  : Kesme düzleminde ortalama sıcaklık yükselmesi

## KISALTMALAR

<b>AISI</b>	: Amerika Demir ve Çelik Standartları Kurumu
<b>BUE</b>	: Kesici Köşelerde Kenar Birikimleri Oluşumu
<b>CBN</b>	: Kübik Bor Nitrür
<b>CNC</b>	: Bilgisayarlı Sayısal Kontrol
<b>CVD</b>	: Kimyasal Buhar Biriktirme
<b>CMM</b>	: Bilgisayar Destekli Koordinat Ölçme Aleti
<b>DC</b>	: Doğru Akım
<b>DLC</b>	: Elmas Benzeri Karbon
<b>F-DLC</b>	: Florinli Elmas Benzeri Karbon
<b>HSS</b>	: Yüksek Hız Çeliği (Hava Çeliği)
<b>IR</b>	: Kızıl Ötesi Işınım
<b>MQL</b>	: Minimum Yağlayıcı Miktarı
<b>MW</b>	: Mikro Dalga Frekansı
<b>NC</b>	: Sayısal Kontrol
<b>PCB</b>	: Baskılı Devre Kartları
<b>PECVD</b>	: Plazma Destekli Kimyasal Buhar Biriktirme
<b>PET</b>	: Polietilentetraftalat
<b>PVD</b>	: Fiziksel Buhar Biriktirme
<b>RF</b>	: Radyo Frekansı
<b>SEM</b>	: Taramalı Elektron Mikroskobu
<b>TC</b>	: Termokupl (Isıl Çift)

# ŞEKİLLER

	<u>SAYFA NO</u>
Şekil II.1. Takım Dönmesi (v), İlerlemesi (u) .....	12
Şekil II.2. Kesme Hızı-İlerleme Hızı .....	14
Şekil II.3. Delme İşlemlerinde Temel Tanımlar .....	14
Şekil II.4. Talaş Oluşumuna Etki Eden Faktörler .....	15
Şekil II.5. Kesici Kenarların Talaş Kaldırması.....	16
Şekil II.6. Çapa Bağlı Basınç ve Debi İlişkisi .....	16
Şekil II.7. Matkap Ucu Şekli .....	17
Şekil II.8. Matkapla Delmede Kesme Kuvvetleri .....	17
Şekil II.9. Kesici Takımlarda Matkabın Kesici Ağzı.....	22
Şekil II.10. Takım-Talaş Temas Alanı Üzerindeki Isı Transferinin Sistemik Diyagramı.....	24
Şekil II.11. Kaynaklı Matkapların İmalat Yöntemleri .....	29
Şekil II.12. Spiral Matkap Genel ve Uç Yapısı .....	31
Şekil II.13. Öz Kalınlığı ve İlerleme Değerlerine Göre Kuvvet Değerleri .....	33
Şekil II.14. Minimum Stres Dağılımları a) Öz Kalınlığı 1.4mm b) Öz Kalınlığı 1.2mm .....	34
Şekil II.15. Kimyasal Buhar Biriktirme Yöntemi (CVD) .....	40
Şekil II.16. Buharlaştıran Gazlar .....	40
Şekil II.17. Fiziksel Buhar Biriktirme İle Sert Seramik Kaplama .....	44
Şekil II.18. Manyetik Alanda Sıçratma .....	45
Şekil II.19. ARK-PVD Buharlaştırma Sistemi .....	46
Şekil II.20. İyon Bombardımanı .....	46
Şekil II.21. İyon Bombardımanından Sonra Gaz Girişi .....	47
Şekil II.22. Kristal Yapı.....	48
Şekil II.23. Kaydedilen Sinyal Örnekleri .....	53
Şekil II.24. Kaplamalı ve Kaplamasız Matkapların Sinyal Sonuçları .....	54
Şekil II.25. Matkap Ucu Görüntüleri .....	58
Şekil II.26. Film Yüzeyinin SEM Görüntüleri .....	59
Şekil II.27. Talaş Akışının Şekli .....	60

<b>Şekil II.28.</b> APET-S .....	61
<b>Şekil II.29.</b> Kesme İşleminden Sonraki Adhezyon Miktarı.....	62
<b>Şekil II.30.</b> Talaşların Karşılaştırılması.....	63
<b>Şekil II.31.</b> Isı Akış Yükleri ve Matkabın Sonlu Elemanlar Modeli.....	77
<b>Şekil II.32.</b> Isı Oluşumu Denklemlerinden II.30 ve II.34 Kullanılarak 25mm Derinlikteki Deliği Delme Esnasında Matkap Ucundaki Tahmini Normalleştirilmiş Sıcaklık Dağılımları.....	78
<b>Şekil II.33.</b> Deney Düzeneği.....	78
<b>Şekil II.34.</b> Kuru Delme İşleminde Sıcaklık Davranışı.....	79
<b>Şekil II.35.</b> Minimum Yağlama Miktarı (MQL) Kullanılarak Farklı Derinliklerde Bulunan 3 Termokuplda Meydana Gelen Maksimum Sıcaklıklar .....	79
<b>Şekil II.36.</b> Farklı Kesme Sıvısı Şartlarında Maksimum Sıcaklıklar .....	80
<b>Şekil III.1.</b> Johnford VMC-550 Model CNC Freze Tezgahı.....	82
<b>Şekil III.2.</b> Deneyde Kullanılan AL7075 Malzeme .....	82
<b>Şekil III.3.</b> Deneyde Kullanılan Ø6 DLC Kaplamalı Matkap .....	82
<b>Şekil III.4.</b> Termokuplun Yerleştirilme Düzeneği .....	84
<b>Şekil III.5.</b> Pico TC-08 Marka 8 Kanallı Termokupul Data Toplayıcısı .....	84
<b>Şekil III.6.</b> Windows 32 Bits Yazılımı için Picolog .....	85
<b>Şekil III.7.</b> Kistler Dinamometre .....	86
<b>Şekil III.8.</b> Kistler 5019b Tipi Yük Amplifikatörü .....	87
<b>Şekil III.9.</b> Deney Düzeneğinin Şematik Gösterimi .....	91
<b>Şekil III.10.</b> Deney Düzeneğinin Fotoğrafik Gösterimi.....	92
<b>Şekil III.11.</b> İtme Kuvveti (F) İçin Kontrol Faktörlerinin S/N Oranları .....	94
<b>Şekil III.12.</b> Delme Sıcaklığı İçin Kontrol Faktörlerinin S/N Oranları .....	95
<b>Şekil III.13.</b> Kesme Parametrelerinin İtme Kuvvetine Etkisi.....	95
<b>Şekil III.14.</b> Kesme Parametrelerinin Delme Sıcaklığına Etkisi .....	96

# TABLolar

	<u>SAYFA NO</u>
<b>Tablo II.1.</b> Alüminyumun Fiziksel Özellikleri.....	3
<b>Tablo II.2.</b> Al7075 Malzemenin Kimyasal Kompozisyonu.....	7
<b>Tablo II.3.</b> AL7075 Malzemenin Mekanik Özellikleri.....	7
<b>Tablo II.4.</b> Çeşitli Malzemelerde Kullanılan Helisel Matkap Uçlarının Helis ve Bileme Açılıları .....	37
<b>Tablo II.5.</b> Elmas, Grafit ve DLC Malzemelerin Özellikleri .....	49
<b>Tablo II.6.</b> Kullanılan Kesici Takımlar .....	67
<b>Tablo II.7.</b> Ø6 HSS Kaplamasız Takımla Elde Edilen Özgül Enerji Değerleri .....	68
<b>Tablo II.8.</b> Ø6 DLC Kaplamalı Takımla Elde Edilen Özgül Enerji Değerleri.....	68
<b>Tablo III.1.</b> CNC Freze Tezgahının Teknik Spesifikasyonları.....	82
<b>Tablo III.2.</b> Matkabın Özellikleri .....	82
<b>Tablo III.3.</b> Kuvvet Sensörünün Teknik Özellikleri.....	86
<b>Tablo III.4.</b> Ortogonal Dizin Tipleri .....	89
<b>Tablo III.5.</b> Kontrol Faktörleri ve Seviyeleri .....	92
<b>Tablo III.6.</b> Taguchi L9 Deney Tasarımı.....	93
<b>Tablo III.7.</b> Deneylerden Elde Edilen Sıcaklık ve İtme Kuvveti Sonuçlar.....	93
<b>Tablo III.8.</b> Delme Sıcaklığı ve İtme Kuvveti Değerleri ve S/N Oranları.....	94
<b>Tablo III.9.</b> F Değerlerine Göre ANOVA Sonuçları.....	97
<b>Tablo III.10.</b> T Değerlerine Göre ANOVA Sonuçları.....	97
<b>Tablo III.11.</b> F İçin Optimal Değerleri .....	99
<b>Tablo III.12.</b> T (Sıcaklık ) İçin Optimal Değerleri .....	99



# BÖLÜM I.

## GİRİŞ ve AMAÇ

Günümüzde tasarımın temel prensipleri gereği hafif ve maliyeti düşük tasarımlar yapılırken çelik ve döküm yerine alüminyum ve alüminyumun alaşımları kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle uzay endüstrisi, otomotiv ve inşaat sektörü gibi yerlerde alüminyum kullanılmaktadır. Alüminyum alaşımlarının çok aranan malzeme olması sebebiyle değişik kullanılma yerlerine göre zaman içerisinde değişik alüminyum alaşım malzemeleri elde edilmektedir. Kullanıldıkları yerlerde bu malzemeler matkapla delinmesi gerekebilir. Bir uçak gövdesi incelendiğinde üzerinde birçok perçin, civata ve pim yuvalarının olduğu görülebilir. Delme işleminin istenilen kalitede yapılabilmesi için özellikle aşınmayı en aza indirebilmek için değişik kaplamalı kesici takımlar kullanılmaya başlanmıştır [1]. Delme işleminde hedef sürtünmeyi en aza indirerek takım aşınmasını azaltmaktır. Delme işleminde matkabın devir sayısı, ilerleme oranı ve matkap çapı delik yüzey kalitesine önemli tesiri bulunmaktadır. Bu parametrelerdeki değişik uygulamalarında sürtünmeden dolayı meydana gelen sıcaklık değişimi dikkat çekici değerlerdedir. Bu sıcaklık artışı kesici takımın aşınmasına ve yüzey kalitesinin düşmesine neden olmaktadır. Sıcaklık kesme parametrelerinin uygun değerlerde seçilmesi ile kontrol edilebilir [2]. Yapılan imalatta, ısı oluşumu ve talaş birikintisi aşağı çekilmeye çalışılmıştır. Bu çalışmada alüminyum alaşımların işlenmesinde, birçok araştırmacı tarafından önerilen elmas benzeri karbon (DLC) kaplamalı matkaplar kullanılarak Al 7075 alaşım malzemesi delinmiştir. Bu çalışmada delme işleminde sürtünmeden dolayı meydana gelen takım aşınmasını önlemek için uygun kesme parametrelerinin seçiminin yapılması amaçlanmaktadır. Devir sayısı, ilerleme oranı ve matkap çapının sıcaklık üzerine etkileri deneysel olarak incelenecektir. Bu çalışma literatüre ve imalat sanayimize faydalı bilgiler sunabilecektir.

## **BÖLÜM II.**

### **GENEL BİLGİLER**

#### **I.1. ALÜMİNYUM**

##### **II.1.1. Alüminyumun Tarihçesi**

Alüminyum demirden sonra en fazla kullanılan metal olmasına rağmen tarihçesi çok yenidir. Alüminyumun endüstriyel çapta üretimi ise, 1886 yılında ABD'de Charles Martin Hall ve Fransa'da Paul T. Heroult'un birbirlerinden habersiz olarak yaptıkları elektroliz yöntemi ile başlamıştır. 1886 yılında Werner von Siemens'in dinamoyu keşfi ve 1892 yılında K.J.Bayer'in, boksitten alümina eldesini sağlayan Bayer prosesini bulması ile alüminyumun endüstriyel çapta üretimi çok kolaylaşmış ve bu en genç metal, demir çelikten sonra dünyada en çok kullanılan ikinci metal olmuştur. Günümüzde, Fransız Paul.T. Herault ve Amerikalı Charles Martin Hall üretim yöntemi patentleri (1892) kullanılmaktadır.

Alüminyum kullanımının bu denli büyük bir hızla yayılmasının nedenleri olarak, demir ve bakırdan 3 kez hafif olması ağırlık oranları dikkate alındığında bakıra nazaran daha iletken olmasıdır. Alaşımlandırma ile de, korozyona karşı mukavemetli, yüksek dayanım dirençli ve kolay işlenebilme ile biçimlendirilebilme kabiliyeti olan alaşımlar geliştirilmiştir. Günümüzde alüminyum, mimari amaçla yapı endüstrisi, elektrik ileten malzeme, taşıt araçlarının birçok parçaları hatta motor bloğu dökümü, uçak ve uzay araçları, metalin boya pigmentleri, mutfak eşyaları ve ambalaj malzemesi gibi yüzlerce uygulama alanlarında kullanılmakta ayrıca her geçen gün yeni kullanım alanları bulunmaktadır [3].

##### **II.1.2. Alüminyum Hakkında Genel Bilgiler**

Alüminyum, yumuşak ve hafif bir metal olup mat gümüşümsü renktedir, alüminyum, yer kabuğunda en çok bulunan üçüncü elementtir. Saf alüminyumun çekme dayanımı yaklaşık 49 megapascal (MPa) iken alaşımlandırıldığında bu değer

700 MPa'a çıkar. Yoğunluğu, çeliğin veya bakırın yaklaşık üçte biri kadardır. Çok üstün korozyon özelliklerine sahip olması, üzerinde oluşan oksit tabakasının koruyucu olmasındandır. Saf alüminyumun çekme dayanımı düşük olmakla birlikte, bakır, çinko, magnezyum, manganez ve silisyum gibi pek çok elementle alaşımlandırılarak mekanik özellikleri geliştirilebilir. Yüksek dayanım/ağırlık oranlarından ötürü alüminyum alaşımları uçak ve uzay araçlarının vazgeçilmez bileşenidir. Tüm bu nedenlerden dolayı günümüzde alüminyum aksanlı materyal kullanımı artmaktadır. Dünyadaki metaller içerisinde en fazla kullanım alanına sahip olan demirin kolay korozyona uğradığı ve ağırlığının alüminyuma göre fazla olduğu düşünülürse alüminyum kullanımının sanayide her geçen gün daha da fazla artacağı görülmektedir. Endüstrinin pek çok kolunda milyonlarca farklı ürünün yapımında kullanılmakta olup dünya ekonomisi içinde çok önemli bir yeri vardır [3].

Alüminyum hafif olması yanında, yüksek elektrik ve ısı iletkenliği, korozyona dayanıklılığı, imal kolaylığı ve diğer metaller ile yüksek çekme mukavemetine sahip alaşımlar oluşturabilmesi önemini artırmaktadır. Isı ve ışığa çok iyi yansıtmakta olup, manyetik değildir [4]. Alüminyumun fiziksel özellikleri Tablo II.1'de görülmektedir.

**Tablo II.1** Alüminyumun Fiziksel Özellikleri [4]

<b>Fiziksel Özellik</b>	<b>Değeri</b>
Atom ağırlığı, r (gr)	26,97
Dökme Alüminyumun özgül ağırlığı, $\rho$ (gr/cm <sup>3</sup> )	2,65-2,69
Hadde Alüminyumun özgül ağırlığı, $\rho$ (gr/cm <sup>3</sup> )	2,7
Ergime noktası (°C)	658
Kaynama noktası (°C)	1800
Isı geçirgenlik katsayısı, k (W/mK)	173
Sıcaklık tesiri ile uzama, $\epsilon$ (mm/m)	
0-50°C	1,17
100°C	2,38
200°C	4,94
400°C	0,60
500°C	13,70
Kendini çekme miktarı (dl/l) (%)	1,7–1,8
Katı halden sıvı hale geçerken meydana gelen hacim büyümesi (%)	6,5

Alüminyum ve alaşımlarının gösterdiği mukavemet özellikleri malzemenin saflığına ve imal edildiği yöntem şekline göre farklılıklar gösterir.

Alüminyum oksijene karşı ilgisi çok fazladır. Hava ile temas neticesinde, kısa zamanda oksijen ile birleşerek alüminyum oksit ( $Al_2O_3$ ) oluşturur. Bunun sonucu bütün yüzeyi çok renkli alümin tabakası ile örtülür. Alüminyum bu özellikleri korozyona karşı mukavemetini yükseltmektedir [4]. Oluşan bu oksit tabakası su ile yıkamak suretiyle çıkartılmaz. Alüminyum bu özelliği kullanma sahasını genişletmiştir. Soğuk şekil değiştirme korozyon mukavemetini düşürür. Alüminyum saflık derecesi azaldığı takdirde de korozyon mukavemeti düşer. Yabancı elemanlar korozyon mukavemetini azaltmaktadır [4]. Alüminyuma katılan alaşım elemanları, mukavemet özelliklerini yükseltir. Başlıca alaşım elemanları: Magnezyum (Mg), manganez (Mn), silisyum (Si), bakır (Cu), çinko (Zn) ve bazen de kurşun (Pb), nikel (Ni) ve titanyumdan ibarettir.

Alüminyum alaşımları başlıca aşağıdaki özelliklere sahiptir:

1-Belirli bir hacim için yoğunluğu düşüktür.

2-Mekanik özelliklerinin geniş dağılım aralığı vardır. Mukavemet, sertlik ve diğer özellikler ısıtılma ile çok değişik değerlere ulaşabilir.

3-İyi bir akıcılığı vardır. Bu da ince kesitlerin doldurulmasında önemlidir.

4-Düşük ergime ve döküm sıcaklıkları nedeniyle özellikle çelik, dökme demir gibi malzemeler göre ergitme işlemi ve dökümü kolaydır.

5-Sıvı alüminyumdan kalıba ısı transferi hızlıdır.

6-Atmosferik ve nemli ortama karşı korozyon direnci yüksektir.

7-Kimyasal stabilitesi nispeten iyidir.

8-İyi yüzey düzgünlüğü ve parlaklığı vardır. Bu nedenle de mimari ve dekoratif değeri iyidir.

9-Zehirlenme özelliği yoktur. Bu özelliğinden dolayı gıda endüstrisinde yaygın olarak koruma amacı ile kullanılır.

10-Elektrik iletkenliği ve hafif olması nedeni ile yüksek gerilim hatlarında kablo ve iletken parça olarak kullanılmaktadır. İşlenebilmesi kolaydır.

11-Hafifliğinden ötürü taşıma kolaylığı ve ucuzluğu vardır.

İlk kullanıldığından beri alüminyum alaşımlarının fiyatı, dökme demir ve birçok çeliğe nazaran daha yüksektir. Bu özellik, alüminyumun çok geniş bir alanda kullanımını sınırlamaktadır. Ancak, birim ağırlığa düşen fiyat bakımından alüminyum daha ucuzdur.

Mühendislik açısından alüminyum alaşımlarının kullanımını sınırlayan nedenleri şöyle sıralanabilir:

- 1) Sürtünme ve aşınmaya karşı direnci düşüktür.
- 2) Korozyon direnci; paslanmaz çelik, bakır esaslı alaşımlara ve nikel esaslı alaşımlara göre düşüktür.
- 3) Alüminyum alaşımlarında kopma mukavemeti, tokluk ve sertlik düşük değerdedir. Ancak özel alaşımlandırma ile geliştirilebilir.

Alüminyum “İşlem ve döküm“ alaşımı olarak iki ana gruba ayrılır ve alaşımlar dört rakam ile ifade edilir.

İşlem alaşımlarında aşağıda verildiği gibi ilk rakam bileşikteki ana elementi belirtir.

- 1xxx %99.0 veya daha fazla AL
- 2xxx Cu ana alaşım elemanı
- 3xxx Mn ana alaşım elemanı
- 4xxx Si ve Cu ve /veya Mg ana alaşım elemanı
- 5xxx Mg ana alaşım elemanı
- 6xxx Mg,Si ana alaşım elemanı
- 7xxx Zn ana alaşım elemanı
- 8xxx Diğer elementler
- 9xxx Yaygın olarak kullanılmayan seriler.

Döküm alaşımlarında da dört rakam vardır. Yalnız üçüncü rakamdan sonra bir nokta konulmuştur. Bu rakam döküm parçasını veya dökümhanede kullanılacak ingotu ifade eder. İlk rakam alaşım grubunu belirler [5].

- 1xx.x %99.00 minimum alüminyum
- 2xx.x Cu ana alaşım elementi
- 3xx.x Si,Cu ilaveli ve/veya Mg
- 4xx.x Si ana alaşım elementi
- 5xx.x Mg ana alaşım elementi
- 7xx.x Zn ana alaşım elementi
- 8xx.x Sn ana alaşım elementi
- 9xx.x Diğer elementler
- 6xx.x yaygın kullanılmayan alaşımlar

Sonraki iki rakam alüminyumun saflığını, nokta ile ayrılan son rakam ise ürünün şeklini (döküm parçası veya ingot) belirtir. 0:Döküm,1:İngot ,2:Modifiye edilmiş ingot

### II.I.3. 7xxx Serisi Alaşımlar

7xxx = Zn ana alaşım elementidir. Alüminyuma ilave edilen alaşım elemanlarının temel görevi süneklik ve korozyon direnci gibi özelliklerini etkilemeden alüminyumun düşük akma dayanımını yükseltmektir. Zn %1 ile %8 arasında bir oranda bulunur. Alüminyuma ilave temel çöktürler MgZn<sub>2</sub> intermetalik bileşiminden oluşur. Genellikle mukavemetini daha çok artırmak için Mg,Cu, ve düşük oranda Mn ve Cr ile birlikte kullanılır. Çinkonun ve magnezyumun alüminyum içerisinde yüksek çözünürlüğü yüksek yoğunluklu çöktürlerin oluşmasını, bu da dayanımın oldukça yükselmesini sağlar. Bu serinin en önemli alaşımı 7075'tir ve bu alaşım %5,6 çinko, %2,5 magnezyum, %1,6 bakır ve %0,25 krom ihtiva eder. 7075-T6 alaşımının çekme dayanımı 504 MPa'dır. Bu seri yüksek dayanımın gerekli olduğu yerlerde kendisine uygulama alanı bulur. T kararlı bir temper işlemini gösterir. Kararlı temperi ifade eden T harfinden sonra 1'den 10 'a kadar rakam kullanılır. 7075 yüksek gerilim ve altındaki mükemmel mukavemetleri ile uçak sanayinin vazgeçilemez alüminyum alaşımıdır.

#### II.I.3.1. 7075 Temper T6/T651 Alaşımı

% 5.5Zn - % 2.5 Mn - % 1.5Cu - % 0.3Cr)Yüksek mukavemetin ve korozyona iyi bir direncin gerektiği durumlarda kullanılır. Uçak yapı elemanlarının büyük bir

kısmı 7075 alaşımından yapılır. 20°C'deki yoğunluğu 2.80 gr/cm<sup>3</sup> 'tür. Rijitide modülü 14927 N/cm<sup>2</sup>' dir. Poisson oranı 0.33'tür. Kesme gerilmesi mukavemeti, çekme gerilmesi mukavemetinin yaklaşık %55'dir. 260–455°C arasında sıcak çalışabilir. Tam tavlama 413°C' de 2–3 saat bekletmeye yapılır. Sonra havada soğutulur. Eğer malzeme kullanılmadan önce bir süre depolanacaksa, 232°C' de yeni bir ısıtmaya tabi tutulmalıdır. Çinko, Magnezyum alaşımları içinde en mukavemetli olanlarıdır ve ikinci dünya savaşı esnasında hava kuvvetlerinde kullanılmak üzere geliştirilmiştir. Bileşim bakımından % 8'e kadar çinko, % 4 magnezyum, % 3 bakır ve küçük miktarlarda krom, titan manganez veya nikel ihtiva ederler. Yüksek mukavemeti ve korozyon direnci ile hafifliğin ve mukavemetin önemli olduğu havacılık gemi sanayi, otomotiv endüstrisi ve ordu donanma malzemesi olarak kullanılır.

**Tablo II.2** Al7075 Malzemenin Kimyasal Kompozisyonu

Kimyasal Kompozisyonu									
Alaşım	Zn	Mg	Mn	Si	Cu	Fe	Cr	Ti+Zr	Al
%	5,1-6,1	2,1-2,9	0,3	0,4	1,2-2,0	0,5	0,18-0,28	0,2	Kalanı

**Tablo II.3** AL7075 Malzemenin Mekanik Özellikleri

Mekanik Özellikleri			
Temper	Akma Muk.(Mpa)	Çekme Muk.(Mpa)	Uzaman
T6	400-448	470-525	8
T651	375-448	465-515	6

#### II.1.4. Alüminyum ve Alaşımlarının Talaşlı İşlenebilirliği

İşlenebilirlik terimi talaşlı işlemden yaygın olarak kullanılmasına rağmen, tek boyutlu bir özellik olmayıp karmaşık boyutların oluşturduğu bir sistem özelliğidir [6]. Kesici takım ve iş parçası malzemelerinin, işlem ortamı ve tezgah ile oluşturduğu talaşlı üretim işlemi, kesme koşullarıyla birlikte iş parçası yüzey kalitesini ve maliyet faktörünü göz önünde tutarak işlenebilirliği belirler [6].

İyi işlenebilir bir malzemenin talaşlı işleminde kısa sürede yüksek talaş hacmi ile işlenmesi ve yeni oluşan yüzeyin kaliteli olması beklenir. Aynı zamanda takım malzemesinin işlem esnasında az aşınması ve böylece uzun ömürlü olması gerekir. İyi işlenebilirlik daima maliyet faktörünü göz önünde tutarak Talaşlı işlemin

ekonomik olmasını ön görür. İşlenebilirlik adı altında arzulanan özellikler, genelde karşıt karakterde olup ilgili kesme operasyonuna bağlı kalınarak optimum verim alınacak şekilde belirlenir [6].

İşlenebilirlik için önemli kriterler aşağıda sıralanmıştır;

1. Takım ömrü: Standart kesme koşulları altında, takımın kabul edilebilir bir miktar aşınmasına kadar geçen süre (T) veya bu süre içerisinde kaldırılan talaş hacmi (Vt).
2. Kesme kuvvetleri: Talaşlı işlem sürecinde takım üzerine etkili olan kuvvetlerdir.
3. Yüzey kalitesi: Talaşlı işlem sonrası iş parçası malzemesinin yüzey pürüzlülüğü ( Ra, Ry, Rz )
4. Talaş oluşumu: Talaşlı işlem esnasında iş parçası malzemesinden alınan talaş şekli.

Genellikle, saf alüminyumun işlenmesi çoğu alüminyum alaşımlarından daha zordur. Saf alüminyumun işlenmesinde uzun tel tel talaşlar çıkar ve bunların aşındırıcı özelliği nedeniyle yüzey kalitesi kötüleşir [6]. Çoğu alüminyum alaşımları, yüksek kesme hızlarında işlenerek, iyi yüzey kalitesi ve uzun takım ömrü verirler. Genellikle, sertleşmiş ve temperlenmiş alaşımlar, tavlanmış alaşımlardan daha kolay işlenir ve daha iyi yüzey meydana getirirler [6].

Genellikle, Al alaşımlarının işlenmesinde kesme kuvvetleri düşüktür, kesme hızı arttığında ise kesme kuvvetleri az miktarda düşmektedir. Ancak düşük hızlarda saf alüminyum işlendiğinde daha yüksek kesme kuvveti meydana gelmektedir [7,8]. Takım talaş ara yüzeyi temas alanı çok büyük olduğunda, yüksek ilerleme kuvveti (Ff) düşük kayma düzlemi açısı ve çok kalın talaşların oluşmasına yol açmaktadır. Bunun sonucu olarak, yüksek kesme kuvveti (Fc) ve fazla güç sarfıyatı ortaya çıkmaktadır [6]. Bu etki, alaşım yaparak veya soğuk çekme ile özellikle düşük hızlarda, azaltılır. Genellikle, çoğu alüminyum alaşımlarının (döküm ve çekme alaşımlar), sahip olduğu düşük kayma dayanımlarına rağmen işlenmesi saf alüminyumdan daha kolaydır [6]. Saf Al işlendiğinde talaş sıvanması oluşmaz. Fakat çok yüksek kesme hızı dışında kötü yüzey kalitesi oluşur. Çoğu Al alaşımlarında, birden fazla faz ihtiva ettiğinden, düşük hızlarda Kesici Köşelerde kenar birikimleri Oluşumu (BUE) meydana gelir. Yüksek hızlarda örneğin; Vc= 60–



90 m/dak üzerinde BUE oluşmaz. BUE'nin oluştuğu yerlerde kesme kuvvetleri düşük, talaş ince fakat yüzey pürüzlülüğü kötü olma ihtimali artar. BUE elmas takımlar kullanılarak azaltılabilir veya yok edilebilir [6]. Alüminyumun işlenebilme problemlerinden birisi ise talaşın kontrol edilmesi olup, bu yüzey merkezli kübik yapıya sahip olan alüminyumda kırılma öncesi aşırı plastik deformasyona maruz kalmasından kaynaklanmaktadır. Al ve alaşımları kesildiğine talaşlar uzun, oldukça kalın, dayanıklı ve kolaylıkla parçalanmaz [6]. Bu talaş şekli takımlara dolaşabilir ve talaşların temizlenmesi için işlemin durdurulması gerekir, bu da üretim hacmini etkiler. Talaş açısı ( $\theta$ ), yaklaşma açısı ( $\phi$ ) değiştirilerek veya talaş kırıcılar tasarlanarak kesme işleminde iyileşme sağlanabilir. Diğer bir yaklaşım da, alaşımların bileşiminin ufak talaş oluşması veya daha kolay kırılabilen talaşlar elde etmek için modifiye edilmesidir [8].

#### II.1.5. Alüminyumun Endüstride Kullanımı

Alüminyum havacılıkta hemen hemen tüm parçalarda kullanılan bir alaşımdır. Havacılıkta; motor aksamlarında, aksesuarlarda, petrol tankı kullanıldığı başlıca yerlerdir. Metalin ikinci önemli özelliği ise yüksek elektrik iletme kabiliyetidir. Kolayca yassılaşılabilen ve oldukça metin olan alüminyum, şekillendirme tel imalatına çok elverişlidir.

1. İnşaat
2. Ambalaj
3. Taşıt Araçları
4. İletken olarak
5. Mühendislik Uygulamaları
6. Su arıtma
7. Dayanıklı tüketim aletleri (cihazlar, mutfak araç gereçleri, vs.)
8. Makine imalatı
9. Yüksek saflıkta alüminyum, elektronik ve CD lerde toz haline getirilmiş alüminyum boyalara gümüşümsü renk vermede kullanılır. Alüminyum pulcukları (özellikle ahşap boyamada), astar boyalarına da katılabilir. Böylece kurumayla birlikte alüminyum pulcuklar su geçirmez bir tabaka oluşturur.

10. Kolay şekillendirilebilir oluşu ve yüksek ısı iletkenliğinden ötürü, yeni bilgisayarların CPU'larının ısı uzaklaştırıcılarında alüminyum kullanılır. Bakır ısı uzaklaştırıcıları daha küçük olmalarına karşın daha pahalı ve yapımları daha zordur.

11. Alüminyumun çok hızlı oksitlenme özelliği, katı roket yakıtı olarak ve diğer piroteknik kompozisyonların üretiminde kullanılmasına yol açar.

Dünyada kullanılan tüm içecek kutularının % 80'i alüminyum kutularıdır. Bunun nedeni, hafif açılması kolay, darbeye dayanıklı, sağlam, çabuk soğutma özelliği ve geri kazanılabilir olmalarıdır. Alüminyum, en kullanışlı ambalaj malzemelerinden birisidir.

Alüminyum, ulaşım sektöründe taşıt araçlarının üretiminde kullanılan en önemli malzemelerden birisidir. Alüminyum kullanımının yaklaşık % 25'i taşıt araçlarının üretimine aittir. Günümüzde bir otomobilde 50kg alüminyum kullanılmaktadır tasarrufu yapılmaktadır. Yapılan hesaplar ve deneyimler sonucunda, alüminyum kullanılan bir otomobilin, yeterince alüminyum kullanılmamış bir otomobile kıyasla, ekonomik ömrü boyunca 1500 litre daha az yakıt harcadığı anlaşılmıştır. Bir uçağın ağırlıkça % 70'i alüminyumdan oluşmaktadır. Alüminyum alaşımlarının hafifliği yanı sıra sağlamlığı, uçakların ve dolayısı ile havacılık sektörünün gelişmesine en büyük katkıyı yapmıştır. Duralüminyum (alüminyum-bakır) alaşımlarından sonra gelecekte en önemli uçak malzemesi alüminyum-lityum alaşımları olacaktır. Alüminyum-lityum alaşımları ile uçakların % 15 hafiflemesi mümkündür.

Alüminyum son derece iletken bir metaldir. Bu nedenle, tüm alüminyum kullanımının Avrupa'da % 10'u, ABD'de % 9'u, Japonya'da % 7'si elektrik ve elektronik sektöründe kullanılmaktadır.

Makine elemanları uygulamalarında, yüksek dayanım/ağırlık oranı, korozyona dayanımı ve işleme kolaylığı, alüminyumun üstün özellikleridir. Vites kutuları, motor blokları ve silindir kafaları kolaylıkla alüminyum döküm ile yapılır. Son uygulamalarda krank mili yataklarında alüminyum kullanılması, bu parçaların uzun ömürlü olmasını sağlamıştır [3].

### **II.1.6. Alüminyum ve Gelecek**

Endüstri ve teknoloji geliştikçe, alüminyum kullanımı artmaktadır. Daha hafif, daha sağlam, daha verimli, daha uzun ömürlü ve sonuçta daha ekonomik ürünler için, alüminyum tercih edilmektedir. Uzay araçları dahil olmak üzere hava taşıtları, daha iyi binalar ve köprüler, elektrik nakil hatları, diğer mühendislik uygulamaları için alüminyum vazgeçilmez malzemedir. Alüminyum endüstrisi; yeni alaşımlar, teknolojik gelişmeler, üretim metotları, ürün tasarımı ve kalite kontrol için araştırma-geliştirme çalışmalarına devam etmektedir [3].

### **II.2. KURU İŞLEME ve MİNİMUM YAĞLAMA**

Kesme yağı maddeleri, eskiden beri olduğu gibi, talaşlı işleme tekniğinde soğutma, yağlama ve temizleme gibi olumlu etkileri nedeniyle hala çok önemli bir yer tutmaktadır. Ancak diğer yönden bunlar çevre ve insanlar için bir tehlike potansiyeli doğurmakta ve imha edilmeleri, devamlı artan masraflara neden olmaktadır. Bu nedenle son zamanlarda kesme yağlarından oluşan zararlı atıkların çevreye zarar vermemesi için büyük çabalar harcanmaktadır. Kuru işleme ve MSS teknikleri kesme sıvısı atıklarını azaltmak veya ortadan kaldırmak için yapılan araştırmalar arasındadır. HSS takımları ile yapılan delme işlemlerinde soğutma ve yağlama maddesi olarak genelde emülsiyonlar kullanılmaktadır. Çünkü bunlar, bu üretimin bir özelliği olan çok yüksek düzeylerdeki soğutma ve yağlama taleplerini çok iyi karşılamaktadırlar. Delme çalışmaları sırasında takımların ısı yüklenmesi özellikle yüksek düzeydedir. Ayrıca kesme köşelerinde tıraşlama ve enlemesine kesimlerde birbirini çekme (adhezyon) etkileri tipik aşınma görüntülerine neden olur [10]. Uzun delme ve yatay çalışma pozisyonlarında bu sorun, soğuk yağlama maddesinin talaş alınarak çalışılan noktaya zor ulaşabilmesi nedeniyle daha da büyür. İçlerinden soğuk yağlama maddesini akıtarak çalışan özel soğutma kanallı spiral deliciler burada genellikle en mükemmel çözümü sunarlar [9].

### **II.3. DELİK DELME**

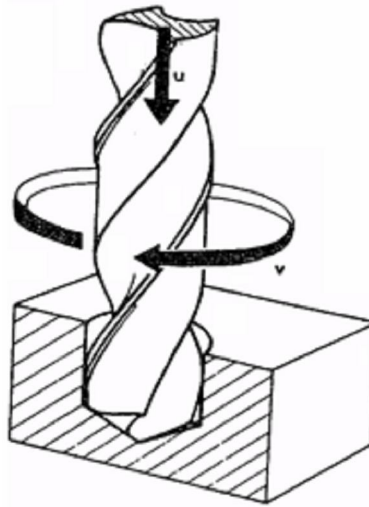
Delme işlemi en önemli talaş kaldırma işlemlerinden biridir. Delme esas olarak, kesici takımla iş parçası arasında bağıl bir hareketle talaş kaldırmak suretiyle yapılan işlemdir. Bu işlem sırasında matkap veya iş parçası ya da ikisi birden döner.

Delme işlemi hızlı ve ekonomik olmakla beraber, kesme hareketi zor ve verimsizdir. Delme işleminde talaş çıkışı ve kesme sıvısı akışı sınırlı olduğundan zor bir işleme yöntemidir.

Delme işleminde talaş oluşumu kapalı alanda oluşur ve görülemez. Takım ve iş parçası arasındaki sürtünme önemlidir; yüzeyden akan sıcaklığın yetersiz olması ve dönme ekseninde kesici ağız boyunca kesme hızı değerinin sıfır olması ana problemdir. Tüm delme takımları için ortak problemler kesme hızının merkezde sıfır, çevrede maksimum olmasından kaynaklanan problemlerdir. Bu yüzden matkap ve işlem spesifik olarak tezgaha ve iş parçasına adapte edilmeli, delik kalitesi sağlanmalı ve gerekli yöntem doğruluğu oluşturulmalıdır. Bu nedenlerden dolayı birçok takım geometrisi ve takım malzemesi geliştirilmiştir.

Talaş akışını sınırlandıran sadece matkapta oluşan talaş kalınlığıdır. İşlem sırasında delik içerisinde oluşan talaşlar işlenen yüzeye zarar vermeden, kolaylıkla kesme bölgesinden uzaklaştırılacak bir şekle sahip olmalıdırlar. Takım seçimi delik çapı, delik derinliği, sağlanması gereken toleranslar, iş parçası malzemesi, üretim hacmi ve mevcut tezgah gibi çeşitli parametrelerce belirlenir [11].

Delik delme işlemi matkap tezgahının yanı sıra torna tezgahında da yapılabilir. Bu işlem matkap tezgahında yapılırsa, iş parçası sabit olup, kesici takım olarak kullanılan matkap ile kesme işlemi gerçekleştirilir. Bu işlemde, matkap hem döner hem de eksenini doğrultusunda ilerlerken kesme yapar [6].



Şekil II.1 Takım Dönmesi (v), İlerlemesi (u) [12]

Delik işlemede, talaşın tahliyesi ve kesme sıvısının verilmesi çok daha zor olduğu, talaş ile helis kanalların ve matkap ile işlenen yüzeyler arasında sürtünmenin çok daha büyük olduğu, talaş açısının ağız boyunca değişmesi ve bundan dolayı ağız boyunca farklı kesme şartlarının olduğu göz önünde tutulursa, matkapla talaş kaldırma, tek ağızlı takıma göre çok daha karışık ve ağır koşullarda meydana geldiği sonucuna varılır [12].

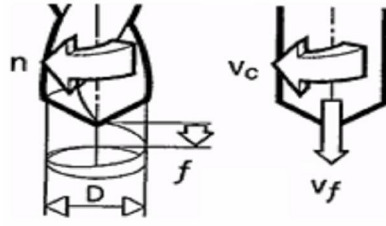
Matkaplar, delik delme ve genişletme için kullanılan takımlardır. Matkaplar dönel yapıya sahip bir veya birden fazla kesici ağızlı olan, talaş akışı için bir veya daha fazla helisel ya da düz kanala sahip talaş kaldırma takımlarıdır.

Delme işlemindeki çalışma koşulları için yapılacak temel tanımlar yekpare takım için de, değiştirilebilir uçlu takım için de aynıdır. Delme işleminde ana hareket takım veya iş parçası tarafından yapılan dönme hareketidir. Ana hareketi oluşturan ana mil hızı (n), dakikada yapılan devir sayısı olarak tanımlanır. Delme işlemi için kesme hızı (V<sub>c</sub>), çevresel hızdan yararlanılarak belirlenir, bu hız dakikadaki devir sayısı bilindiği takdirde kolaylıkla hesaplanabilir. (D) takım çapı olmak kaydıyla matkap bir dönüşte, çevresi πxD olan bir daire çizer (Şekil II.2) (Eğer çap mm cinsinden verilmişse, kesme hızının m/dak cinsinden ifade edilebilmesi için sonuç 1000 'e bölünür.

$$V_C = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad [\text{m/dak}] \quad (\text{II.1})$$

$$V_f = f \cdot n \quad [\text{mm/dak}] \quad (\text{II.2})$$

İlerleme hızı veya parçaya nüfuziyet hızı (V<sub>f</sub> - mm/dak) birim zamanda alınan yol olarak tanımlanır ve takımın iş parçasına göre veya alternatif olarak iş parçasının takıma göre ilerlemesidir. Bu aynı zamanda tezgahın veya tablanın ilerleme hızı olarak da bilinir. Devir başına ilerleme (f - mm/rev) ilerleme hızını hesaplamak için kullanılan bir büyüklük olup, takım veya iş parçasının bir devirdeki ilerlemesidir.



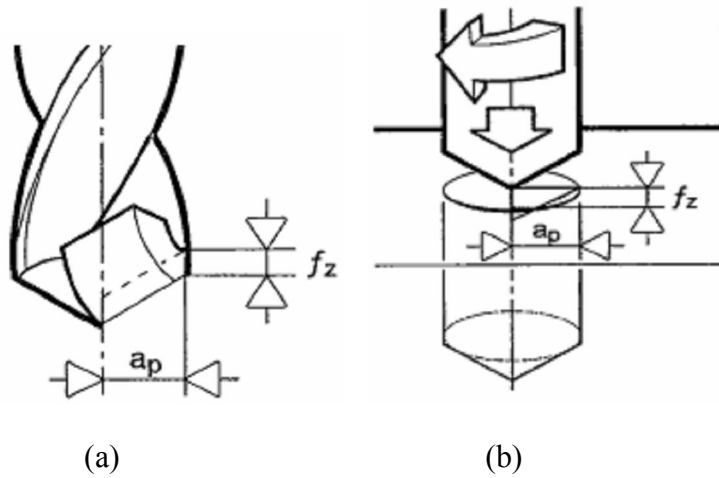
Şekil II.2. Kesme Hızı- İlerleme Hızı [7]

Talaş genişliği veya radyal talaş derinliği ( $a_p$  - mm), takımın temasta olduğu iş parçası yüzeyidir ve tornalamada olduğu gibi yarıçap cinsinden ifade edilir.

$$a_p = \frac{D - d}{2} \quad [\text{mm}] \quad (\text{II.3})$$

Takımda birden fazla kesici kenar olduğundan (z kesici kenar-sayısı) talaş kesit alanının ( $A$  -  $\text{mm}^2$ ) tanımında kenar başına ilerleme ( $f_z$  -  $\text{mm}/z$ ) değeri kullanılır. Bu alan bir kenar tarafından kaldırılan malzemenin alanıdır ve radyal talaş derinliği ile kesici kenar başına ilerlemenin çarpımına eşittir (Şekil II.3). Bu tanımlardan bazıları kullanılarak talaş debisi ( $V$  -  $\text{mm}^3/\text{dak}$ ) veya birim zamanda kaldırılan talaş hacmi hesaplanabilir. Burada talaş hacmi, kesme hızı ile talaş kesit alanının çarpımıdır. Kesme hızı [ $\text{m}/\text{dak}$ ] cinsinden ifade edilirse, talaş debisinin [ $\text{mm}^3/\text{dak}$ ] cinsinden elde edilebilmesi için sonuç 1000 ile çarpılır.

$$V = A \times V_c \times 1000 \quad [\text{mm}^3/\text{dak}] \quad (\text{II.4})$$



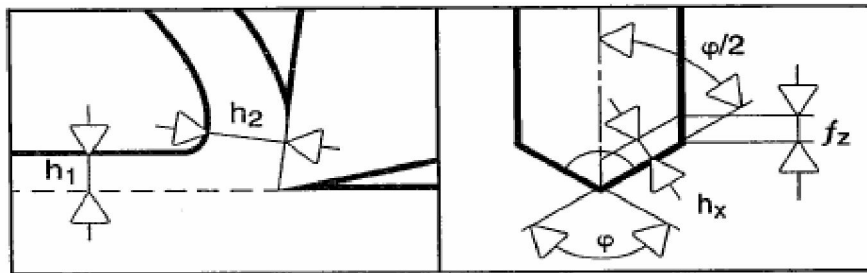
Şekil II.3 Delme İşlemlerinde Temel Tanımlar [7]  
a) Talaş Kesit Alanı, b) Kesici Kenar Başına ilerleme

İlerleme uzunluğunun ( $L+h$ -mm) ilerleme hızına bölünmesi sonucunda ( $T$ -dak) efektif işleme zamanı elde edilir. Delinmiş olan veya başka bir ifade ile takımın ilerlediği uzunluk, delik derinliği ile matkap ucu yüksekliğinin toplamına eşittir [7].

$$h = \frac{D}{2} \times \cot \frac{\varphi}{2} \quad [\text{mm}] \quad (\text{II.5})$$

$$T = \frac{L+h}{Vf} \quad [\text{dak}] \quad (\text{II.6})$$

Talaş oluşumu iş parçası malzemesi, takım geometrisi, kesme hızı, ilerleme ve kesme sıvısı seçiminden etkilenir. Genellikle artan ilerleme ve/veya azalan kesme hızı değerleri kısa talaş oluşumuna neden olurlar. Kesme hızı, matkabin çevresinden merkeze yaklaştıkça azalır. Bu nedenle kesme hızının azalması sonucunda ortaya çıkabilecek yığma kenar oluşumu riskinin göze alınması gerekir. Matkabin merkezi yakınında oluşacak belirli bir miktar yığma kenar çoğu işlem için kabul edilebilir bir durumdur. Ancak kesme hızının düşürülmesi yığma kenarın çevreye daha yakın bir bölgede oluşmasına neden olacaktır, dolayısıyla sakıncalıdır. Delme işleminde teorik talaş kalınlığı artan kenar başına ilerleme ve uç açısı ( $\varphi$ ) ile artar [13].

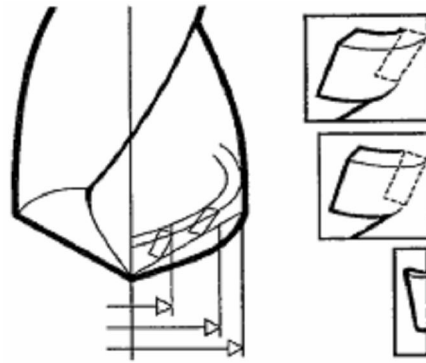


Şekil II.4 Talaş Oluşumuna Etki Eden Faktörler [7]

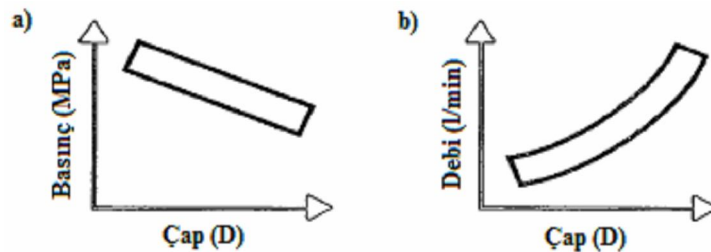
Artan ilerleme değeri ile helis açısı artar ve boşluk açısı azalır. Azalma merkeze en yakın noktada en yüksek seviyeye ulaşır. Bu ise, takım ile delik yüzeyleri arasındaki aşınmanın önlenmesi için boşluk açısının çevreden merkeze doğru artırılmasını zorunlu kılar.

Talaş açısı, kesici kenar boyunca değişir ve matkabın çevresinden merkeze doğru azalır. Matkabın hızının da çevreden merkeze doğru azalması nedeniyle kesme hızının sıfır olduğu merkez noktasında matkabın ucu son derece verimsiz çalışacaktır. Matkap merkezdeki malzemeyi kesmek yerine bastırıp ezerken talaş açısının negatif olduğu ve kesme hızının sıfıra yaklaştığı noktada bir plastik deformasyon oluşur. Bu basınç oldukça yüksek bir eksenel kuvvet bileşeninin ortaya çıkmasına neden olur. Tezgahın gücü delinecek deliğin boyutlarına göre düşükse, ilerleme kuvvetinin büyük olmasından dolayı tezgâh ana milinin esnemesi söz konusu olacak ve bunun sonucunda oval delikler elde edilecektir.

Radyal ağız nedeniyle ortaya çıkan elverişsiz çalışma koşullarının giderilmesi için takımlarda önemli değişiklikler gerçekleştirilmiştir. Radyal ağız çok inceltilmiş veya tamamen ortadan kaldırılmış ve kesici kenara matkap merkezine doğru bir yarıçap verilmiştir.



Şekil II.5 Kesici Kenarların Talaş Kaldırması [7]



Şekil II.6 Çapa bağlı basınç ve debi ilişkisi [7]

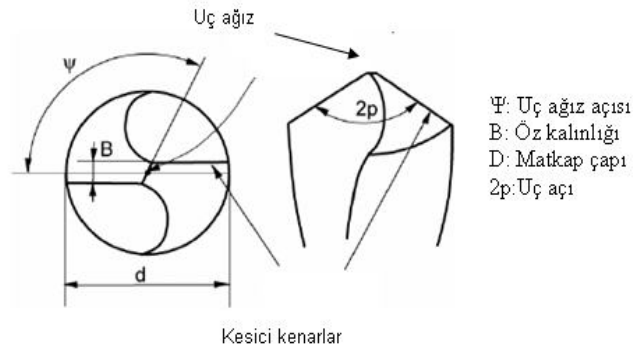
a) Basınç çap ilişkisi, b) Debi çap ilişkisi



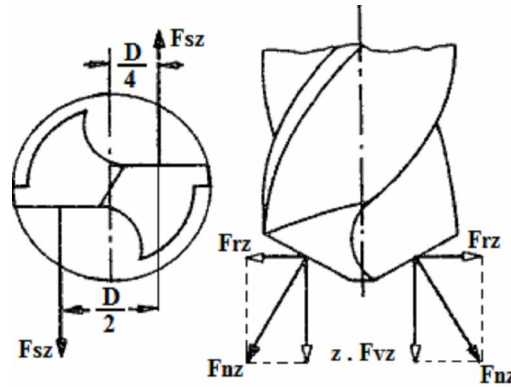
### II.3.1. Delik Delme İşleminde Kesme Kuvvetleri ve Güç

Bir matkabin performansı büyük ölçüde delme kuvvetlerine bağlıdır. Delme işleminde ortaya çıkan kesme kuvvetleri kesici kenarla matkabin ucu, talaş yüzeyleri ve matkabin çevresinde bulunan ~ kılavuzlama yapan kenarlar üzerinde etkiye bulunurlar. Teorik talaş alanının merkezine etkidiği kabul edilen kesme kuvveti teğetsel, radyal ve aksenal yönlerde etkiyen 3 bileşenden oluşur. Bu bileşenler iş parçası malzemesi, talaş derinliği, ilerleme ve takım geometrisi gibi faktörlere bağlı olarak değişim gösterirler.

Delme sırasında bir ağza karşılık gelen talaş kaldırma kuvvetlerinin bileşenleri, yani kesme kuvveti ( $F_{sz}$ ), ilerleme kuvveti ( $F_{vz}$ ) ve radyal kuvveti ( $F_{rz}$ ) Şekil II.8'de gösterilmiştir. Ağzların konumu itibarıyla her ağızda oluşan radyal kuvvetler birbirini dengelemektedir. Dolayısıyla delme işleminde sadece  $F_s$  ve  $F_v$  kuvvetleri etki göstermektedir.



Şekil II.7 Matkap Ucu Şekli



Şekil II.8 Matkapla delmede kesme kuvvetleri [12]

Bir ağza karşılık gelen kesme kuvveti;

$$F_{sz} = A_{sz} \quad k_s = \frac{ds}{2} k_s = \frac{ds}{4} k_s \quad (\text{II.6})$$

ve toplam kesme kuvveti,

$$F_{sz} = z F_{sz} = 2 F_{sz} = d s_z k_s = \frac{ds}{2} k_s \quad (\text{II.7})$$

Şeklinde ifade edilir. Burada özgül kesme kuvveti,

$$k_s = 1,2 k_{s11} h^{-z} \quad (\text{II.8})$$

Veya  $k_{sh} = 1,2 k_{s11} h^{-z}$  değeri ile

$$k_s = 1,2 k_{sh} \quad (\text{II.9})$$

Bağıntısı ile hesaplanır.

ks: Düzeltme faktörü, N/mm<sup>2</sup>

1,2 matkapla talaş kaldırma işleminin özelliklerini yansıtan düzeltme faktörüdür.

Kesme kuvvetine bağlı, bir ağza tekabül eden kesme momenti,

$$M_{sz} = \frac{F_{sz} d}{4} \quad (\text{II.10})$$

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

$$M_S = z F_{sz} \frac{d}{4} = 2 F_{sz} \frac{d}{4} = F_S \frac{d}{4} = F_S \frac{d}{4} \quad (\text{II.11})$$

veya yukarıdaki II.2 bağıntısı dikkate alınır

$$M_s = \frac{d^2 s k_s}{8.10^3} [\text{Nm}] \quad (\text{II.12})$$

$M_s$  : Toplam kesme momenti, Nm

Şeklinde yazılır, burada  $d$  (mm),  $s$  (mm/rev);  $k_s$  ( $\text{N}/\text{mm}^2$ ) olarak konulur ve  $M_s$  (Nm) olarak bulunur. Bu bağıntıdan verilen bir  $M_s$  (Nm) değerine delinebilecek delik çapı;

$$d = \sqrt{\frac{8.10^3 M_s}{s k_s}} [\text{mm}] \quad (\text{II.13})$$

Bulunur. İlerleme  $s = z.sz$  bağıntısı ile tayin edilir. Toplam ilerleme kuvveti

$$F_V = 2 F_{VZ} = 2 F_{SZ} \sin x = F_S \sin x \quad (\text{II.14})$$

Bağıntısı ile tayin edilir.

İlerleme kuvveti  $F_V$ , eksenel kuvvet niteliğindedir. Delik açmada, ana kesme ağızlarında meydana gelen bu kuvvetin yanı sıra, radyal kesme ağızında da, eksenel nitelikte  $F_Z$  ilerleme kuvveti oluşmaktadır. Şöyle ki, delik açma sırasında matkabı etkileyen ve yenilmesi gereken eksenel kuvvet,

$F_a$  : Eksenel kuvvet

$$F_a = 2 F_{vz} + F_1 = F_v + F_1 \quad (\text{II.15})$$

Yapılan deneylere göre aksenal kuvvetinin % 40'ı  $F_v$  ; % 57'si  $F_1$  ve geri kalanı (%3) sürtünme kuvvetidir.

Eksenal kuvvet  $F_a$ , ilerlemeyi sağlayan elemanları ve özellikle yatakları (rulmanları) zorlamaktadır. Tezgâhın konstrüksiyonu sırasında bu elemanlar, belirli bir aksenal kuvvete ( $F_{amax}$ ) göre hesaplanır. Çalışma sırasında  $F_a > F_{amax}$  olursa, ilerlemeyi sağlayan elemanlar ve özellikle rulmanlar çabuk bozular. Ayrıca  $F_a$  kuvveti takımı burkulmaya zorlar.  $F_{amax}$  'ın değeri tezgâh katalogunda verilir [12].

Kesme gücü ise; delme sırasında harcana güç, kesme ve ilerleme için gereken güçtür.

Kesme gücü:

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30} \text{ olmak üzere } M = \frac{P}{\omega} \text{ bağıntısından hareket edilirse.}$$

$$P_S = M_s \omega = \frac{\pi}{30} M_s n = \frac{M_s n}{9550} \text{ [Kw]} \text{ delme için gerekli güç} \quad (\text{II.16})$$

#### II.4. MATKAP YÜZEYİNDE ISI OLUŞUMU

Kesici takımların sıcaklığının kesme parametreleri üzerine etkisi birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Delme işleminde meydana gelen sıcaklık önem arz etmektedir bunun sebebi ise delme işlemi endüstride önemli bir yere sahiptir. Talaş kaldırma işleminin hız kazanması kesme hızının, ilerlemenin ve kesme derinliğinin artırılmasına bağlıdır. Makine takımı, kesici takımlar, kesme sıvıları ve malzeme bu artışta önemli rol oynar. Bu parametrelerin artması ise takımın kesici ağızları civarında sıcaklığın artmasına neden olur [14].

Matkapta sıklıkla aşırı sıcaklık görülür çünkü matkap iş parçasının içine iyice yerleşir ve ısı oluşumu küçük bir alanda meydana gelir. Sıcaklık sonuçları takım ömründe azalmalara ve takımda aşınmaların hızlanmasına sebep olabilir ve bütün bunlar işlenen iş parçasının tüm özelliklerini derinden etkileyebilir. Matkap

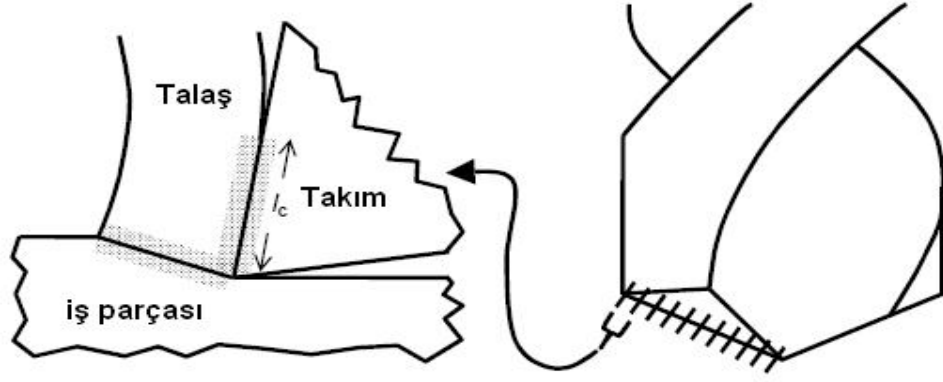
tasarımcıları, matkap ucundaki sıcaklık profiline dayanarak matkabın geometrik özelliklerini ele alırlar, tasarımları için sıcaklık dağılımlarını kesin tahmin etmeleri gerekmektedir [15].

Sıcaklık artışı takım ve iş parçası yüzeyini oldukça fazla etkilemektedir [15,16]. Sıcaklık, takım aşınması ve malzemenin tahribatı açısından en kritik parametredir [17]. Kesici takım ile iş parçası arasında oluşan bu sıcaklık, kesici takımın aşınmasını hızlandıracaktır. İlaveten, oluşan yüksek sıcaklıktan dolayı iş parçası yüzeyi de zarar görecektir. Dolayısıyla talaş yüzeyindeki bu sıcaklığın belirlenmesi oldukça önemlidir [18].

#### II.4.1. Takımın Yan Yüzeyi Üzerinde Isı Oluşumu

Her bir kesici takım basit metal kesme operasyonu yapar. Böylece metal kesme teorileri kesici kenarların her bir parçası üzerindeki ısı transferi ve kuvvetleri değerlendirmek için kullanılır. Her bir kesici takımın bütün geometrik özellikleri dahil olmak üzere eğim açısı ve yan açısı bilinir. Buna ek olarak her bir kesici takım için itme kuvveti ve kesme kuvveti; matkabın kesici kenarları boyunca kesme geometrisindeki değişiklikleri hesaba katarak Chen [19] tarafından değişikliği yapılan ve Chandrasekharan ve Coworkers [20,21] tarafından ortaya çıkarılan mekanik model kullanılarak hesaplanmıştır. Böylece her bir kesici takım için İtme kuvveti  $F_Z$  ve kesme kuvveti  $F_C$  olarak kabul edilmiştir.

Metal kesmedeki problemlerden biri de, her kesici takım tarafından işleme enerjisinin büyük çoğunluğunun tükenmesi takım yan yüzeyi üzerinde sürtünmeye ve kesme düzlemi üzerinde plastik deformasyona sebep olmasıdır [22]. Enerji aynı zamanda; sürtünme, serbest yüzey aşınması ve yeni malzeme yüzeyinin oluşumunu gibi diğer faktörler ile de tüketilir. Bununla birlikte diğer etkilerle tüketilen enerji nispeten küçüktür. Böylece her temel kesici takımında ki ısı oluşumunun toplam miktarı sürünmeyle oluşan ısı oranıyla, kesme ile oluşan ısı oranının bir fonksiyonudur ve kesici takım üstündeki kuvvet hareketlerinden hesaplanabilir [15].



Şekil II.9 Kesici Takımlarda Matkabın Kesici Ağzı

$$q = q_{kesme} + q_{sürtünme} = T \cdot \omega + F_z \cdot V_f \quad (II.17)$$

$q$ : Temel kesici takım veya basit kesici takımda oluşan ısı oluşumunun toplam oranı

$q_{sürtünme}$ : Temel kesici takım veya basit kesici takımda sürtünmeyle oluşan ısı oranı

$T^\circ$ : Ortam sıcaklığı

$\omega$ : Matkabın açısal hızı

$F_z$ : Matkap eksenine paralel kesici takım üstündeki kuvvet bileşeni

$V_f$ : İlerleme hızı, mm/dak

Kesici takımın yan yüzeyi üzerinde sürtünmeyle oluşan ısı oranı denklem II.18 'de verilir.

$$q_{sürtünme} = F_{f,r} \cdot V_{talaş} \quad (II.18)$$

$F_{f,r}$ : Kesici takım üzerinde talaş akışı yönündeki kuvvet bileşeni

$V_{talaş}$ : Talaş hızı

$F_{f,r}$  ,yatay kesmenin geometrik analizinde kullanılan  $F_z$  ve  $F_c$  olarak bilinen kuvvet bileşenleriyle ilişkili olan talaş akış yönündeki, kesici takım üzerindeki kuvvet hareketidir [23]. İlk olarak, takım hızı ve kesici kenarla belirlenen düzleme

dik olarak tanımlanan, kesici takım üzerindeki  $F_t$  kuvveti;  $F_z$  ve  $F_c$ , nin bir fonksiyonu olarak hesaplanmalı.

$$F_t = \frac{F_z + F_c \cdot a}{b} \quad (\text{II.19})$$

$F_z$ : Matkap eksenine paralel kesici takım üstündeki kuvvet bileşeni

$F_c$ : Kesici takımın kesme yönündeki kuvvetin bileşeni

$$a \equiv \frac{\sin \lambda - \cos \lambda \sin \alpha \tan \eta \cos \theta}{\sin \lambda \sin \alpha \tan \eta + \cos \lambda \cos \lambda} \quad (\text{II.20})$$

$\lambda$ : Eğim açısı

$\eta$ : Talaş açısı

$\phi$ : Kesme açısı

$\alpha$ : Yan açısı

$\theta$ : Kesme ağzı ve matkap eksenini arasındaki açı

$$b \equiv \frac{\cos \alpha \tan \eta \cos \theta}{\sin \lambda \sin \alpha \tan \eta + \cos \lambda \cos \lambda} + \frac{\sqrt{\cos^2 \lambda - \cos^2 \theta}}{\cos \theta} \quad (\text{II.21})$$

$F_{f,r}$  geometriksel olarak denklem II.22'de belirtildiği gibi  $F_t$  ve  $F_c$  ile ilişkili olabilir.

$$F_{f,r} = \frac{(\cos \alpha \cos \lambda)F_t + (\sin \alpha)F_c}{\cos^2 \alpha \cos \lambda \cos \eta + \sin \alpha (\sin \alpha \sin \eta + \sin \alpha \cos \lambda \cos \eta)} \quad (\text{II.22})$$

$V_{talaş}$  ; kesme hızıyla geometriksel bağlantılı olan talaş hızıdır.

$$V_{talaş} = V_{kesme} \frac{\cos \lambda \sin \phi}{\cos \eta \cos(\phi - \alpha)} \quad (\text{II.23})$$

$V_{kesme}$  : Kesme hızı

$\phi$ : Kesme açısı

Talaş açısı; talaş açısının yaklaşık olarak eğim açısına eşit olduğunu açıklayan Stabler'in akış kuralından hesaplanır. Aynı zamanda Kesme açısı,  $\phi$ , temas uzunluğu,  $l_c$ , her bir kesici takım için hesaplanmalı. Bono çalışmasında Alüminyum 319 ve HSS takıma uygun olan  $\phi$  ve  $l_c$  için bağıntıları deneysel değişen test datalarından belirlemiştir [24].

$$\phi = 0.3697.\alpha + 0.4667[\text{rad}] \quad (\text{II.24})$$

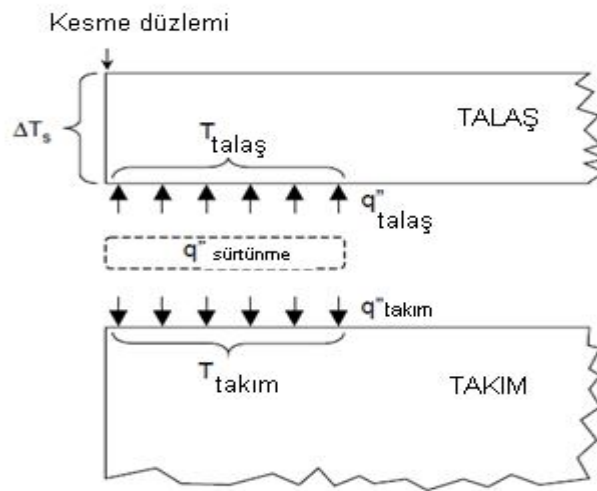
$$l_c = 4.27.t_2 \quad (\text{II.25})$$

$l_c$ : Takım –talaş temas uzunluğu

$t_2$ : Talaş kalınlığı

#### II.4.2. Takım Talaş İçindeki Isı Akışı

Kesme düzlemindeki plastik deformasyon aynı zamanda metal kesmedeki ısı oluşumunda önemli bir sebeptir. Bu ısının bir kısmı talaş içine girer ve sıcaklığını yükseltir. Takım –talaş temas üzerinde meydana gelen ısı transferinin sistematik diyagramı Şekil II.10'da görülmektedir.



Şekil II.10 Takım-Talaş Temas Alanı Üzerindeki Isı Transferinin Sistematik Diyagramı



Bu ısı transfer problemi birkaç basitleştirilmiş varsayımın yapılmasıyla analiz edilebilir [25]. Kesme düzlemi üzerinde ısı oluşumunun ortam sıcaklığının üstündeki bir miktar  $\Delta T_s$  ile kesme düzlemi sıcaklık ortalamasını yükseltmesi beklenir. Isı akışı,  $q''_{sürtünme}$ , talaşla takım arasındaki sürtünmeli etkileşimle oluşur. Takım-talaş temas alanıyla  $q''_{sürtünme}$ 'yi basit bir şekilde bölen  $q_{sürtünme}$  'dir. Talaştaki net ısı akışı,  $q''_{talaş}$ , talaşa girer ve  $T_{talaş}$  için talaş üzerindeki ortalama ara yüz sıcaklığını değiştirir ve Takımdaki net ısı akışı  $q''_{takım}$ , takıma girer ve  $T_{takım}$  için takım üzerindeki ortalama ara yüz sıcaklığını değiştirir. Bu çalışma ısı akışlarını idealleştirir ve belirler, her kesici takım için takım-talaş temas alanı üzerinde aynıdır. Ara yüzey bölgesi üzerindeki bir enerji dengesi gerektirir. Denklem II.26' da görüldüğü gibi; akışın oluşturduğu ısının toplam miktarı,  $q''_{talaş}$  ve  $q''_{takım}$  toplamına eşittir.

$$q''_{sürtünme} = q''_{talaş} + q''_{takım} \quad (II.26)$$

$q_{sürtünme}$ : Temel kesici takım veya basit kesici takımda sürtünmeyle oluşan ısı oranı

$q''_{talaş}$ : Takım talaş ara yüzü üzerinde birim alan başına talaş içerisindeki ısı akış oranı

$q''_{takım}$ : Takım-talaş ara yüzü üzerinde birim alan başına takımda oluşan ısı akış oranı

$\Delta T_s$ : Kesme düzleminde ortalama sıcaklık yükselmesi

Takımın davranışıyla takımın yan yüzeyi üzerindeki geçici sıcaklık tahmin edilebilir. Sıcaklık derinlikte artar. Denklem II.27 aşağıdaki gibidir [26].

$$T_t(x,t) - T_o = \frac{2q''(\alpha_t t / \pi)^{1/2}}{k_t} \exp\left(\frac{-x^2}{4\alpha_t t}\right)$$

$$-\frac{q''_o x}{k_t} \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{\alpha_t t}}\right) \quad (\text{II.27})$$

$\alpha_t$ : Takım malzemesinin termal difüzyonu

$k_t$ : Takım malzemesinin termal iletkenliği

$t$ : Zaman

Böylece  $t$  zamanda takım-talaş temas alanı üzerindeki takımın ortalama sıcaklığı denklem II.28 kullanılarak tahmin edilebilir.

$$T_{\text{takım}} = T_o + 2 q''_{\text{takım}} \sqrt{\frac{t}{\pi k_t p_t c_t}} \quad (\text{II.28})$$

$T_{\text{takım}}$  : Takım –talaş temas alanı üzerinde takımın ortalama sıcaklığı

$c_t$  : Matkap malzemesinin ısı kapasitesi

$p_t$  : Takım malzemesinin yoğunluğu

Yarı sınırsız madde yüzeyinde sabit hızla kayması gibi benzer ısı akışını dağıtan sürtünme kaymasının altındaki ortalama sıcaklık için jaegerin Çözümü kullanılarak takım-talaş temas alanı üzerindeki talaşın ortalama sıcaklığı tahmin edilebilir [27]. Böylece takım-talaş temas alanı üzerinde talaşın ortalama sıcaklığı denklem II.29'dan tahmin edilebilir.

$$T_{\text{talaş}} = T_o + \Delta T_s + 0.754 q''_{\text{talaş}} \sqrt{\frac{l_c}{V_{\text{talaş}} k_w p_w c_w}} \quad (\text{II.29})$$

$k_w$  : İş parçasının termal iletkenliği

$p_w$  : İş parçasının yoğunluğu

$c_w$  : İş parçasının ısı kapasitesi

Takımın ortalama ara yüz sıcaklığı, talaşın ortalama ara yüz sıcaklığına eşit olmalıdır [27]. Denklem II.28, denklem II.29 eşit ve eklenen denklem II.26 takım içindeki ısı akış ifadesine götürür.

$$q''_{takım} = \frac{\Delta T_s + q''_{sürtünme} L_{talaş}}{L_{takım} + L_{talaş}} \quad (II.30)$$

$L_{talaş}$  ve  $L_{takım}$  parametreleri denklem II.31 ve II.32 'den saptanır.

$$L_{talaş} \equiv 0.745 \sqrt{\frac{l_c}{V_{talaş} k_w p_w c_w}} \quad (II.31)$$

$$L_{takım} \equiv 2 \sqrt{\frac{t}{\pi k_t p_t c_t}} \quad (II.32)$$

Analize göre; takım içerisindeki ısı akışı; takımla talaş arasında sürtünme etkileşimiyle oluşan ısı ve kesme düzlemi üstündeki sıcaklığın bir fonksiyonudur.

Talaş içerisindeki ısı akışı denklem II.33'de verilir. Şimdiki analizde devam eden olasılığa göre; Isı takım-talaş temas alanı üzerinde talaşın ya içinde ya da dışında akmalı.

Eğer  $q''_{sürtünme}$  ve  $L_{takım}$  özellikleri,  $\Delta T_s$  'den büyük olursa; bu durumda Isı takım-talaş ara yüzü üzerinde talaş içerisine akacak. Bununla beraber; eğer  $\Delta T_s$ ,

$q''_{sürtünme}$  ve  $L_{takım}$  özelliklerinden büyük olursa bu durumda takım-talaş temas alanı üzerindeki ısı azalacak.

$$q''_{talaş} = \frac{q''_{sürtünme} L_{takım} - \Delta T_s}{L_{takım} + L_{talaş}} \quad (II.33)$$

$\Delta T_S$  Agapiou ve Deviries tarafından sunulan analitik denklemden hesaplanır [25].

$$q''_{takım} = q''_{sürtünme} (1-R_2) = \frac{(1-R_2) F_{f,r} V_{talaş}}{l_c w}, 0 \leq R_2 \leq 1 \quad (II.34)$$

(1-R<sub>2</sub>) : Takım içinde yürüyen yan yüzey üzerinde oluşan ısının bir bölümü

R<sub>2</sub> : Talaş içinde yürütülen ve yan yüzey üzerinde oluşan ısının bir bölümü

R<sub>2</sub> talaş içine akan sürtünme sıcaklığının bir parçası olarak tanımlanır. (1-R<sub>2</sub>) takım içerisine akan sürtünme sıcaklığının küçük bir parçasıdır ve daima Loewen ve Shaw' ın geliştirdiği model kullanılarak hesaplanır. Çünkü R<sub>2</sub> küçük bir parçayı temsil eder ve 0 ve 1 arasındaki değerlerde sınırlandırılır.

## II.5.DELİK DELMEDE KULLANILAN KESİCİ TAKIMLAR (MATKAPLAR)

Delme işlemlerinde kullanılan kesici takımlara genel olarak matkap denir. Matkaplar talaşlı üretimde en çok kullanılan kesici alet gruplarından biridir. Bir matkap kendi eksenini etrafında dönerek ve aynı zamanda eksenini doğrultusunda ilerleyerek iki kesici ağzı ile kesme yapar. Metallerin işlenmesinde birçok çeşitten matkaplar kullanılır. Her matkap türü bir gereksinimden ortaya çıkmıştır.

### II.5.1. Matkaplar

Talaşlı imalat takımları içerisinde önemli bir yere sahip olan matkap uçları günümüzde adet olarak en yüksek sayıda, üretilen takımlardır. İmalattaki payları %20–25 mertebesinde dir. Matkap uçları; haddeleme, frezeleme veya taşlama yöntemi ile imal edilirler.

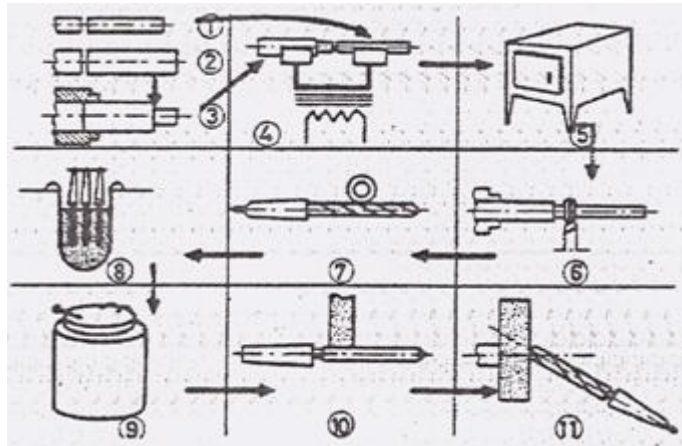
Haddelenmiş matkap uçları malzemeyi meydana getiren içyapıdaki liflerin kesilmeyip kendi üretim yönünde yönlendirilmeleri sebebiyle kırılmaya ve darbeli çalışmaya karşı daha mukavimdirler, bu nedenle;

Haddelenmiş matkap uçları, darbeli ve titreşimli çalışma yerleri ile daha az hassas olan üniversal delik delme işlemlerinde, yüksek performans gösterirler.

Taşlanmış matkap uçları ise, bilhassa Sayısal Kontrollü (NC) ve Bilgisayarlı Sayısal Kontrollü (CNC) makinelerde hassas delik delme işlemlerinde kullanılır. Ayrıca bu matkap uçlarının talaş kanal yüzey hassasiyeti daha iyi olduğundan talaşın rahat akmasını ve delinen delik yüzeylerinin daha hassas olmasını sağlar.

Frezelenmiş matkap uçları ise küçük miktarlarda standart ve standart dışı özel form ve ölçülerde üniversal freze tezgâhları ile özel amaçlı tezgâhlarda imal edilirler.

Matkaplar, kaynaklı olarak yapıldıkları takdirde, matkabın kesici kısmı hız çeliğinden, sapı ise daha ucuz olan karbon veya az alaşımlı (özellikle manganez ve silisyum içeren) çeliklerden yapılabilir. Şekil II.11'de kaynaklı bir matkabın imalat operasyonları gösterilmiştir. Sap (1) ve kesici kısım (2) kesildikten sonra, kaba olarak işlenir (3), sap ile kesici kısım elektrik direnç kaynağı ile birbirine kaynaklanır (4), tavlama işlemi yapılır (5), ince tornalama (6) dan sonra, nihai şekil verilir (7), sertleştirilir (8), temperlenir (9), taşlanır (10) ve (11) kesme açıları oluşturulur (4,11).



Şekil II.11 Kaynaklı Matkapların İmalat Yöntemleri

Temelde kesme açılarına göre N, H, W ile simgelenen üç çeşit matkap vardır. Bunlardan:

N tipi çelik ve dökme demir gibi normal, H tipi pirinç alaşımları gibi sert ve W tipi alüminyum alaşımları gibi yumuşak malzemelerde kullanılan matkaplardır.

Matkaplar yapıldıkları gerece, sap tipine kanal sayısına, yönüne, boyuna, çapına ve uç geometrisine göre sınıflandırılabilirler.

Sap çeşidine göre;

- Düz saplı matkap uçları,
- Konik saplı matkap uçları,

Kanal sayısına göre;

- Tek kanallı matkap uçları,
- İki kanallı matkap uçları,
- Üç ya da dört kanallı matkap uçları,

Kesme yönüne göre;

- Sağ matkap uçları,
- Sol matkap uçları,

Uç geometrisine göre;

- Helisel matkap uçları,
- Yarım yuvarlak ve düz kanallı matkap uçları,
- Derin delik matkap uçları,

Matkaplar içerisinde en çok kullanılanlar helisel matkaplardır. Bizde deneylerimizde genel amaçlı helisel matkaplar kullanacağız. Helisel matkapların kullanım amacına bağlı olarak genel tipleri ;

- Genel amaçlı matkap uçları,
- Düşük helisli matkap uçları,
- Yüksek helisli matkap uçları,
- Üç kanallı gövdeli matkap uçları,
- Sol yönlü matkap uçları,
- Kademeli matkap uçları, sayılabilir.

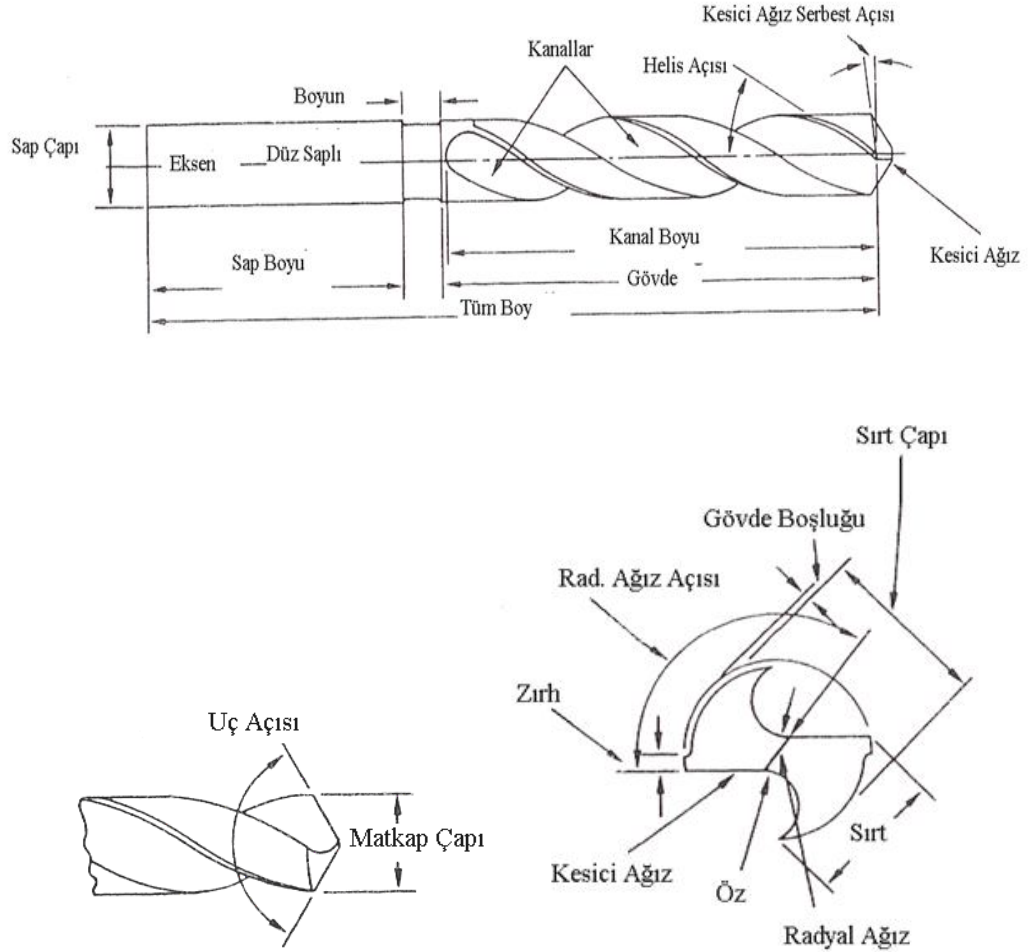
Spiral matkap en önemli matkap çeşididir. Hızlı ve ekonomik delik delmek için dizayn edilmiştir. Spiral matkap 1820 yılında “Moses Twist Drill and Machine Company” tarafından bulunmuş ve 1864 yılında A.B.D’ de patenti alınmıştır. Bugün 2–20 mm arasında silindirik deliklerin delinmesinde ve delik genişletilmesinde kullanılan en önemli matkap türüdür. Spiral matkap tüm talaş kaldırma işlemlerinin

%20-%25 oranını kapsar. Spiral matkap üretimi büyük oranlarda ve yaygın olarak kullanılmaktadır.

## II.6. SPİRAL MATKAPLAR

### II.6.1. Yapısı

Klasik spiral matkap iki kesici ağza ve iki radyal ağza sahiptir. Spiral matkabin yapısı Şekil II.12’de detaylı olarak ele alınmıştır.



Şekil II.12 Spiral Matkap Genel ve Uç Yapısı

Kesici takım enstitüsü spiral matkabın kısımlarını aşağıdaki gibi açıklamıştır; Matkap eksenini: matkap boyunca hayali olarak var olduğu kabul edilen ve tam matkabın merkezinden geçen doğru çizgisidir.

Gövde: Matkabın kesici kenar dış köşesinden boyuna veya sapa kadar olan kısımdır.

Matkap çapı: Matkabın ucundan ölçülen iki zırh arasındaki mesafedir.

Radyal ağız: kesici kenarları birleştiren özün en uç kısmıdır.

Radyal ağız açısı: Matkaba uç kısmından bakıldığı zaman kesici kenar ile radyal ağız arasındaki açıdır.

Talaş kanalı: Kesici ağızda oluşan talaşın transferini veya kesme sıvısının kesici ağza ulaşmasını sağlayan helisel veya düz kanallardır.

Kanal boyu: Kesici ağızların en dış noktası ile talaş kanalının bitim noktası arasındaki mesafe.

Helis açısı: Sırtın ön kenarı ile matkap eksenini arasındaki açıdır.

Sırt: İki talaş kanalı arasında bulunan matkap gövdesinin en dış kısmıdır.

Kesici ağız: Radyal ağızdan dışarı doğru uzanan kesici kenarlar.

Öz: Serbest yüzeyleri birleştiren matkabın merkez bölgesidir.

Tüm boy: kesici ağızların köşesi ile sap kısmının bitim noktası arasındaki uzunluktur.

Zırh: Kesici olmayan, delme esnasında boşluk sağlayan sırttaki silindirik bölgedir.

Boyun: Matkapta gövde ile sap arasında bağlantı sağlayan küçük çaplı kısımdır.

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

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

Sap: Konik veya düz olan boyundan sonra gelen matkabın tezgaha bağlanmasını sağlayan kısımdır.

Serbest açı (Boşluk açısı) : Taban yüzü üzerinde ana kesme kenarından geriye doğru, matkabın ortalama çapında ölçülen açıdır.

Talaş kırıcı: talaşın boyunu küçültmek için dizayn edilen çentik veya yivdir [28].



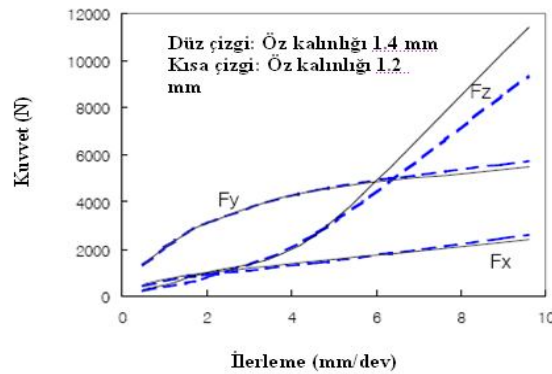
## II.6.2. Spiral Matkap Geometrisinin Talaş Kaldırmaya Etkisi

### II.6.2.1. Öz Kalınlığının Etkisi

Birçok matkapta, matkabin mukavemetini artırmak için öz kalınlığı matkabin sap kısmına doğru kalınlaşır. Matkabin boyu kısa olursa öz kalınlığı da daha kalın olur çünkü kesme işlemi için daha fazla basınç ihtiyacı olacaktır. Bu basınç kuvveti matkabin ısısının artmasına neden olacak ve nihayetinde ısının fazla olması da matkabin ömrüne olumsuz tesir ederek, matkabin ömrünü kısaltacaktır. Dolayısıyla matkabin ömrünün daha uzun olması için öz kalınlığının ince olması gerekmektedir. Öz kalınlığı matkabin burulma rijitliği açısından oldukça önemli bir parametredir. Ayrıca öz kalınlığının matkabin enine kesit polar momentini arttırdığı ortaya çıkmıştır ki bu matkabin burulma rijitliği açısından önemlidir. Diğer taraftan ise öz kalınlığına paralel olarak radyal ağız uzunluğu artmaktadır. Bu ise beraberinde daha fazla itme kuvvetine gereksinim demektir.

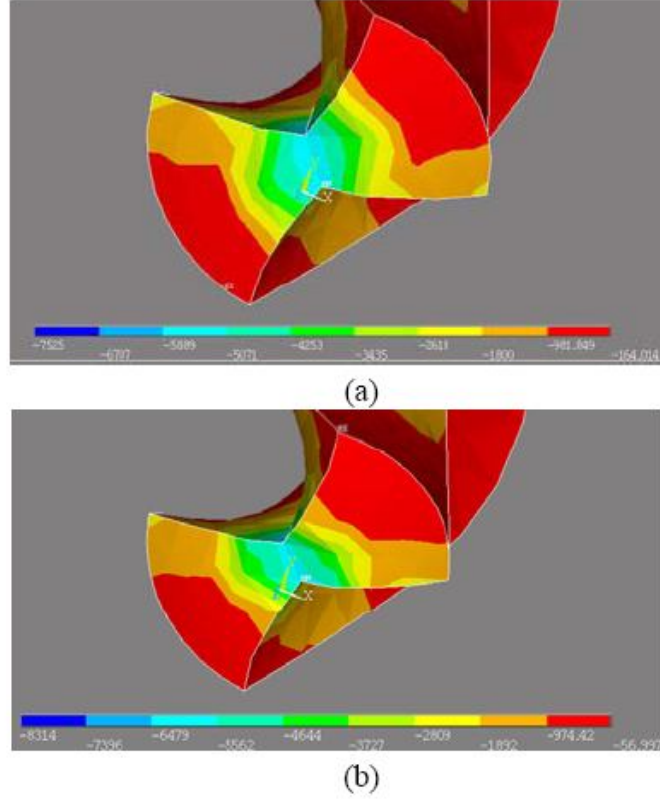
Orta boyutlarda öz kalınlığına sahip matkaplarda ise öz kalınlığı  $0.20-0.35xD$  arasında değerlerde oluyor. Bu matkaplar, yüksek hızlara karşı yüksek dijitalik özelliğine sahiptir. Bunlar genelde çeliklerin ve dökme demirlerin delinmesinde tercih edilirler. Bu matkaplarla kaliteli delikler elde edilebilir ve bu öz kalınlığına sahip matkaplar daha uzun ömürlü olur.

Parabolik tip öz kalınlığına sahip matkapların öz kalınlığı  $0.30-0.45xD$  arasındaki değerlerde olur. Bunlar, yüksek rijitliğe sahip olup, alüminyum alaşımlar ile paslanmaz çeliklerin delinmesinde kullanılırlar. Derin deliklerde bu matkapların kırılması söz konusu olmaz.



Şekil II.13 Öz Kalınlığı ve İlerleme Değerlerine Göre Kuvvet Değerleri [29]

$F_y$ ,  $F_x$ ,  $F_z$  : kesme kuvveti bileşenleridir.



**Şekil II.14** Minimum stres dağılımları a) öz kalınlığı 1.4 mm b)öz kalınlığı 1.2 mm [29]

Şekil II.14 ilerlemenin 10 mm/dev olduğunda matkap ucundaki stres (gerilim) dağılımını sonlu elemanlar modeli ile yardımcı ile gösterir. 10 mm/dev'de, z yönündeki kuvvetler artar, sıkıştırılmış stres uç ağızda meydana gelir. 1,2mm öz kalınlıklı matkap 1,4mm öz kalınlıklı matkapla karşılaştırıldığında z yönünde daha küçük kuvvetlere sahiptir, aksine öz kalınlığının azalması, z yönündeki aksinel kuvvetin azalması ve sıkışma stresinin(minimum stres) artması anlamına gelen daha geniş bir minimum strese sahiptir.

Düşünülen takım geometrisinin kesme kuvveti modelinin ve delme şartlarının yardımıyla, matkap geometrisinin deformasyonu ve stres dağılımları üzerinde kesme şartları ve matkap geometrisinin etkileri analitik olarak tahmin edilebilir [29].

### **II.6.2.2. Kesici Ağız Serbest Açının Etkileri**

Kesici ağız serbest açısı (Lip relief angle) çok önemlidir. Yeterli kesici ağız serbest açısı olmazsa düzgün delme işlemi yapılamaz. Büyük serbest açı değeri ise matkap ömrünü kısaltır. Normal şartlarda her iki kesici ağız için serbest açılar eşit olmalıdır. Kesici ağız yüksekliğindeki artma deliğın daha büyük olmasına neden olabilir.

Kesici ağız serbest açısı matkap çapına, kesici ağız boyuna ve iş parçası malzemesine bağlıdır. Matkap çapı arttıkça serbest açı azalır. Genel olarak 12° - 15° arasında olmaktadır. Örneğın; alaşımli çelikler için 12° - 15° iken, yüksek mukavemetli çelikler için 8° - 10°, titanyum alaşımlar için 7° - 10° , alüminyum ve bakır alaşımlar için ise 12° - 15° 'dir.

Ağır ilerleme değeriinde, daha sert iş parçası malzemelerinde, düşük serbest açı daha az sürtünme meydana getirerek takımın daha uzun ömürlü olmasına sebep olur.

### **II.6.2.3. Helis Açısının Etkileri**

Kanalların helis açısı, matkabın talaş açısını belirler. Helis açısı, aksel itme ve tork kuvvetlerini azaltır. Genel amaçlı HSS matkapların helis açıları 22-33° arasında matkabın çapına bağlı olarak değışir.

Helis açısı kesme açısını ifade eder. Sert malzemelerde ve küçük çaplı deliklerde takım dijitliğini artırmak için düşük helis açısına sahip matkaplar tercih edilir. Düşük helis açıları kesici ağız dayanımını artırmaktadır ancak kesme kuvvetlerinin de artmasına neden olmaktadır. Standart helis açıları 30°'dir. Helisel matkap imalatında en çok tercih edilen standart helis açılarıdır. Helis açısı fazla olan matkaplar alüminyum ve bakır gibi yumuşak malzemelerin delinmesinde kullanılır. Helis açısının fazla olması kesme kuvvetlerini azaltmakta ancak kesici ağız dayanımını azaltmaktadır.

### **II.6.2.4. Uç Açısının Etkileri**

Uç açısının talaş kaldırmaya etkisi oldukça önemlidir çünkü uç açısı matkabın itme kuvvetini ve torku ilaveten de kesici ağızın uzunluğu ve talaş kalınlığını etkilemektedir.

Dar uç açılı matkaplar (118° veya 120° den küçük açılı matkaplar) genellikle yumuşak malzemelerde kullanılırlar ve uç açıları genelde 90° olur.

Standart uçlu matkap dediğimiz uç açısı 118° veya 120° olan matkaplar ise genel amaçlı kullanım alanına sahiptir.

Geniş uç açılı matkapların uç açıları 130°, 135° ve 140°'dir. Bu matkaplar sert malzemelerin işlenmesinde kullanılırlar. Bu matkaplar değişik delme koşullarında sapma problemi yaşamazlar [28].

### **II.6.3. Spiral Matkap Gereçleri**

1900 yılından önce tüm kesici takımlarda Karbon ve düşük alaşımlı takım çelikleri kullanılmaktaydı ancak bugün sadece ağaç ve bazı demir dışı yumuşak malzemelerde kullanılmaktadır. Helisel matkap gereçlerinde istenilen özellikler, iyi aşınma direnci, sağlamlık ve sıcak sertliktir. Bu isteği karşılayan iki temel malzeme vardır. Bunlar Yüksek Hız Çelikleri (HSS) çelikler ve sinterlenmiş tungsten karbürlerdir (WC). Helisel matkaplarda en fazla HSS kullanılmaktadır.

Karbür gereçler HSS kadar olmasa da birçok alanda tercih edilmektedir. Kesici takımlar, iş parçalarının şekillendirilmelerinde kullanılan yüksek kaliteli, yüksek boyut hassasiyetli ve çoğu ileri teknoloji ürünü olan malzemelerden üretilirler. İşlenecek parçanın özellikleri, kullanılacak kesici takım malzemelerine sınıflandırmalar getirdiği gibi, takımın kullanım şartları da takım malzemesinin seçimini büyük çapta etkiler. Kesici takım malzemelerinde istenen ortak özellik ise sertlik ve sıcak sertlik, aşınma direnci, tokluk ve ekonomiktir. Uygun takım malzemesinin seçimi ile kesici takım-iş parçası malzemeleri arasında sürtünme sonucu oluşan yüksek sıcaklık aşınma mekanizmalarının (difüzyon, oksidasyon vb.) bertaraf edilmesi ile yüksek kesme hızlarına ulaşılır. Genel olarak takım malzemeleri üç ana grupta toplanabilir: Metal esaslı, karbür esaslı ve seramik esaslı takım malzemeleri. Günümüzde yaygın olarak kullanılan matkap malzemeleri ise yüksek hız çelikleri, Kobaltlı yüksek hız çelikleri ve sement karbürlerdir. Yüzey kalitesinin iyileştirilmesi ve takım ömrünün artırılmasına yönelik çalışmalar sonucunda, kübik bor nitrür (CBN) ve elmas kaplanmış takımlar da kullanılmaya başlanmıştır.

Semente karbürler imalatta daha geniş kullanım alanına sahiptirler çünkü yüksek hız gerektiren işlemlerde, kesici ağız çabuk aşınmaz, ilaveten yüksek

sıcaklıklara karşı oldukça dirençlidir. Aşınma direncinin yüksek olması ve termal dayanımının yüksek olması gibi özelliklerinden dolayı karbür uçlar oldukça geniş kullanım alanına sahiptir.

Matkaplar genellikle tek parça veya kaynaklı olarak hız çeliğinden yapılır. Hız çeliğinden yapılan matkapların kesme kabiliyetini arttırmak için kesme kısımlarına siyanürizasyon gibi kaplama işlemleri uygulanmaktadır. Bazı hallerde sert metalden yapılan matkaplar da kullanılır, bunlar daha çok takılabilir plaketli matkap şeklindedir ve sinterleme tekniği ile üretilir.

**Tablo II.4** Çeşitli Malzemelerde Kullanılan Helisel Matkap Uçlarının Helis ve Bileme Açılıları [ 30]

MALZEME	Helis Açısı $\beta$	Bileme Açısı $\alpha$
Sert lastik (Ebonit) Suni sert maddeler (Bakalit) Mermer Eternit Mika	12	80
Grafit	20-30	
Hafif metal (kısa talaşlı) Magnezyum döküm Pirinç (gevrek)	12	
Pik döküm Temper döküm-Çelik döküm	12-25	
Ç1020, Ç1030, Ç1040, Ç1050 Pirinç (özlü) Bronz Elektrolit bakır Çinko	20-30	118
Alüminyum döküm	30-40	
Ç1330, Ç1340, Ç9260 (Manganlı çelikler)	10	
Ç1350, Ç9245, Ç9260 (Yay çelikleri) Ç3915, Ç51420, Ç51440 (P.çelik) Ç1060, Ç1090, Ç1350, Ç3130, Ç3150, Ç3230, Ç3315, Ç3330	30-40	130
Ç31150, Ç5330, Ç7430, Ç7930 (Sıcak iş çelikleri)	30-40	
Pleksiglas	12	
Hafif metal (uzun talaşlı) Bakır Yumuşak suni maddeler	30-40	140

## II.7. KAPLAMA YÖNTEMLERİ

Otomasyon sisteminin gelişmesi ile birlikte kesici takımlarda meydana gelen aşınmalar üretimde aksamalara ve maliyetin artmasına sebep olmaktadır. Bu durum araştırmacıları yeni malzeme içerikli takımlar geliştirmeye itmiştir, maliyeti yüksek olan bu çalışmanın yerine sadece aşınmanın meydana geldiği yüzey üzerinde çalışmalar yapmak daha pratik ve ekonomik olacaktır. Bunun üzerine kaplama teknikleri geliştirilmiştir.

Kaplama bir malzeme yüzeyine başka bir malzeme katılması ya da çöktürülmesi (metal-alaşım bileşik- seramik kaplama, boya-cam-beton-emaye kaplama vb) işlemidir.

Metallerin çevreleriyle yaptıkları kimyasal ve/veya elektrokimyasal reaksiyonlar sonucu hasar görmeleri olayına korozyon denilmektedir. Korozyona karşı mücadelede en etkin yöntemlerden biri de kaplama uygulamasıdır.

Kaplama malzemelerinin metale yapışabilirliğini veya korozyon ortamına dayanıklılığını geliştirmek için metaller üzerine ince plazma filmlerin kaplanması son yıllarda araştırmacıların ilgisini çekmektedir [31,32]. Bu tür filmlerin, fosfatlama veya kromatlama gibi ticari metal yüzey hazırlama yöntemlerine alternatif olacağı görülmektedir [33].

İnce film üretmek için çeşitli teknikler kullanılır. Özellikle ultra ince film hazırlamak için ıslak ve kuru proses olmak üzere iki teknik uygulanmaktadır. Bunlar; Islak prosesler: Langmuir-Brodgett, yayılma, daldırma veya sıvı döküm. Kuru prosesler: fiziksel buhar biriktirme (PVD) ve kimyasal buhar biriktirme (CVD) teknikleridir. Bu prosesler içinde ince polimer film kaplamalarda en sık kullanılan CVD metodudur [32,34]. Takım çeliklerinin sert seramik malzemelerle kaplanma teknikleri araştırılmıştır. Bu araştırmalar neticesinde 1960'lı yıllarda CVD Kimyasal Buhar Biriktirme adı altında bir teknik geliştirilmiş, fakat bu yöntemle 200–5000 °C arasında sertliğini kaybeden takım çeliklerini kaplamak mümkün olmamıştır. Çünkü bu teknik için 1100–12000 °C civarında kaplama sıcaklıkları gerekmektedir. Bu teknik ile sadece sert metal tabir edilen WC malzemeler üzerine kaplama yapılabilmektedir.

Yüzey kaplama teknikleri genellikle kaplanacak malzemenin fiziksel durumuna, kaplama kalınlığına ve kaplama prosesinin sıcaklık aralığına göre sınıflandırılır.

Metaller üç ana nedenden dolayı kaplanırlar.

- 1.Korozyona karşı mukavemet
- 2.Dekoratif amaçla
- 3.Metal yüzeyinin sürtünme mukavemetinin artırılması

Hemen hemen tüm talaşlı imalat uygulamalarında sert seramik film kaplamalardan yararlanır. Delme, diş çekme, kesme gibi konularda yüksek performanslar elde edilir. Kesme ve ilerleme hızları işlenen malzemenin işlenebilme özelliği, takım ve iş parçasının bağlama durumuna stabilitesine bağlı olarak % 30–40 oranında arttırılabilir. Otomatik tezgâhlarda kullanılan takımların ömürlerinin artması, makine duruş sürelerini azaltması sonucunda birim zamanda işlenen parça sayısı arttırılabilir.

Kesme ve form kalemlerde krater oluşumu ve serbest yüzey aşınması önemli bir faktördür. Bu kalemlerde kaplama ile % 350'ye varan ömür artışı sağlanır ve bilemeden sonra dahi % 70 oranında ömür artışı devam eder.

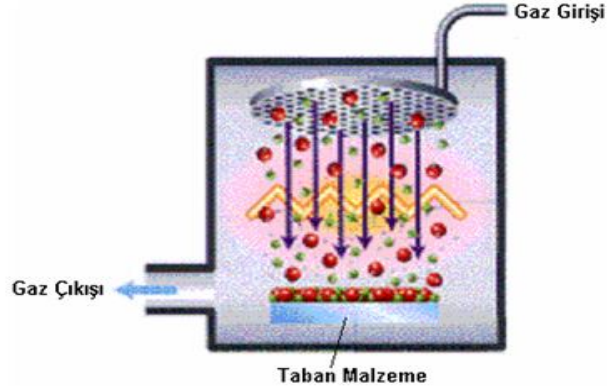
Modern yüzey işlemlerinin başlıcaları da vakum teknikleri (fiziksel buhar biriktirme, kimyasal buhar biriktirme, iyon aşılama, plazma yüzey sertleştirme), ısı püskürtme ve sol jel kaplama yöntemleri olarak sıralanabilir. Kaplama tabakasının oluşumu sert metalin gaz fazından yüklenmesi ile olur. Bunun yöntemleri ise:

Fiziksel Yöntemler: (PVD)

Kimyasal Yöntemler: (CVD)

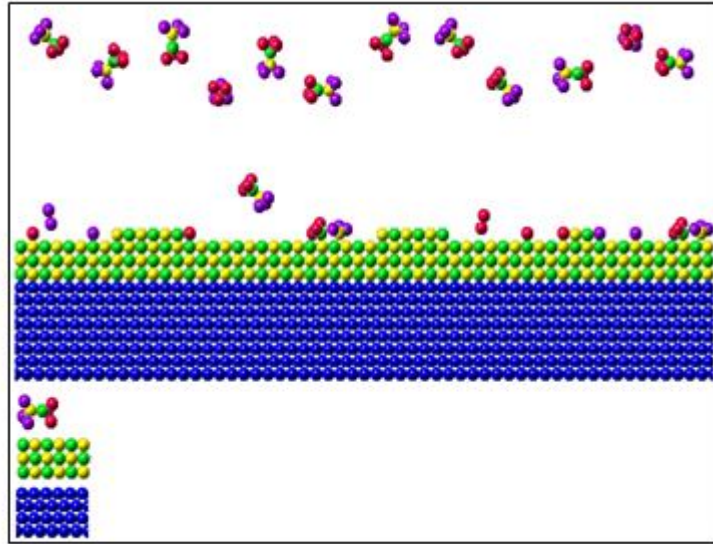
Fiziksel-Kimyasal Yöntemler =Elektroliz ergitme yöntemi, iyon kaplama-plazma yöntemi.

### II.7.1. Kimyasal Buhar Biriktirme Yöntemi



Şekil II.15 Kimyasal Buhar Biriktirme Yöntemi

Proses, bir fırın içerisinde yüksek vakum altında gerçekleştirilir. Kaplanacak malzeme proses sıcaklığına kadar ısıtılır ( $1200^{\circ}\text{C}$ ) ve fırının içerisine kaplamayı oluşturacak atomları taşıyan taşıyıcı gazlar verilir. Fırın içerisinde reaksiyonlar gerçekleşir ve reaksiyon sonucu oluşan moleküller taban malzemenin üzerine biriktirilir.



Şekil II.16 Buharlaştıran Gazlar

Bugün konvansiyonel yolla elde edilen CVD-kaplamada TiC yüzeyi için, titan karbür ve metan gazı buharlaştırılıp bu gaz bileşimi birkaç bin plaketin bulunduğu hazneye gönderilir. Bu hazne içerisinde atmosfer basıncının daha alçak değerlerde



ve 900°C–1100°C derecelerde, Titanyum Karbür (TiC) sert metal yüzeylerde yoğunlaşarak kaplama tabakası oluşur. CVD bir kimyasal reaksiyon prosesidir. Bir veya birden fazla gazın sıcak bir altlık üzerinde ayrışarak kararlı bir katı ürün oluşturmasıdır.

CVD İşleminin Temel Basamakları:

- Kimyasal madde buharının yüzeye taşınması
- Kimyasal buharın yüzeye absorbe olması
- Yüzeyde heterojen reaksiyon
- Büyümenin olacağı yüzey noktalarına buhar difüzyonu
- Filmin çekirdeklenmesi ve büyümesi
- Buharın istenmeyen bileşenin yüzeyden itilmesi veya sistem dışına alınması

İnce film oluşturma açısından CVD, PVD den çok daha karmaşık bir metottür. CVD, çok saf, yoğun ve ince taneli kaplamaların oldukça hızlı biriktirme hızlarında yapılmasına imkân veren bir yöntemdir. Özellikle plazma desteği ile karmaşık şekilli parçaların kaplanması ve üretilmesine imkân verir. CVD, metalik, seramik ve yarı iletken kaplamaların üretiminin çok yaygın yapıldığı bir tekniktir [35].

### II.7.2. PECVD Kaplama

Plazma terimi, ilk defa 1929'da Langmuir [36] tarafından iyonlarına ayrılmış bir gaz olarak tanımlanmıştır. İyonlarına ayrılmış gaz olan plazma, içerisinde iyon, elektron, uyarılmış atom, foton, nötral atom veya molekül içeren bir karışımdır. Plazma maddenin katı, sıvı ve gaz hallerinden oldukça farklılık göstermesinden dolayı maddenin dördüncü hali olarak da ifade edilir [37]. Bu haller arasında esas fark sahip oldukları enerjidir [37].

Kimyasal buhar biriktirme işleminin daha düşük sıcaklıklarda yapılabilmesine olanak tanımak amacı ile bu tekniğin plazma destekli türü olan plazma-destekli kimyasal buhar biriktirme (PECVD) ve Radyo frekansı (RF) yöntemleri son yıllarda üzerinde en çok yoğunlaşılacak kaplama yöntemlerindedir. Bu tekniklerin diğer yöntemlere göre en önemli üstünlüğü kaplanacak malzemeyi yüksek sıcaklığa çıkarmadan kaplamaya olanak sağlamasıdır.

CVD işleminin daha düşük sıcaklıklarda yapılabilmesine olanak tanımak amacı ile bu tekniğin plazma destekli türü olan plazma destekli kimyasal buhar biriktirme ve Radyo frekansı yöntemleri son yıllarda üzerinde en çok yoğunlaşılın kaplama yöntemlerindedir [38,39,40,41]. Plazma haline geçiş için, gaz halindeki maddeye enerji vermek gerekir. Gerekli plan bu enerjiyi, ısı, ışın, manyetik ve elektrik enerjisi şeklinde vermek mümkündür. Bunlardan pratikte en çok kullanılan ve en önemli olan elektrik boşalmasıyla plazma elde etmektir. Bu tür plazma için güç kaynakları doğru akım (DC), düşük frekans, (RF) veya mikrodalga frekanslıdır (MW) [42].

Plazma kaplamanın önemli bir kaplama teknolojisi olmasının birçok nedenleri vardır. Bunlar:

- Proses çözücü kullanmayı gerektirmez (bu özelliğinden dolayı çoğu kez kuru teknoloji diye adlandırılır).
- Kaplanmak istenen malzeme düşük gaz basıncı altındaki kapalı bir sistem içine yerleştirilir,
- Karmaşık geometrili malzemelerin kaplanması mümkündür.
- Ultra-ince gözeneksiz filmler hemen hemen tüm malzemeler üzerine kaplanabilir (polimer, metal, cam, seramik, fiberler vb.).
- Daha da önemlisi geleneksel kimyasal teknikler ile polimerleşmeyen monomerler (örneğin; metan, etan gibi doymuş hidrokarbonlar) ile de plazma filmler üretilebilir.

Plazma film kaplamalar biyomalzemelerde [43,44], korozyon ve oksidasyondan koruma amaçlı [38,45,40,46,47], optik amaçlı [48,49], elektrik- elektronik amaçlı [47,49,50], metal polimer ara yüzeyinde yapışma özelliğini artırmak amacıyla [51,52] ve ayrıca kompozit malzemelerin ara yüzey özelliklerini geliştirmek amacıyla [53,54] çeşitli alanlarda kullanılmaktadır.

### II.7.3. Fiziksel Buhar Biriktirme Yöntemi

Ülkemizde ilk PVD sert seramik film kaplama 1990 yılında başlamıştır. Halen endüstriyel amaç ile kaplama yapan tesisler mevcuttur.

Kesici takımların sert seramik katmanlar ile kaplanmasında en yaygın kullanılan teknikler, manyetik alanda sıçratma ve ark fiziksel buhar biriktirme teknikleridir. İki yöntemin birbirinden temel farkları ark PVD tekniğinde iyonizasyon oranını daha yüksek, kaplamanın taban malzemeye yapışmasının daha iyi olması, manyetik alanda sıçratma tekniği ile yapılan kaplamalarda ise yüzey kalitesinin daha iyi olmasıdır. Kısaca PVD yöntemi yüksek vakum altında katı ya da sıvı haldeki malzemelerin buharlaştırılarak plazmada atomlar ya da moleküller halinde taban malzeme üzerine yoğunlaştırılması olarak tanımlanabilir.

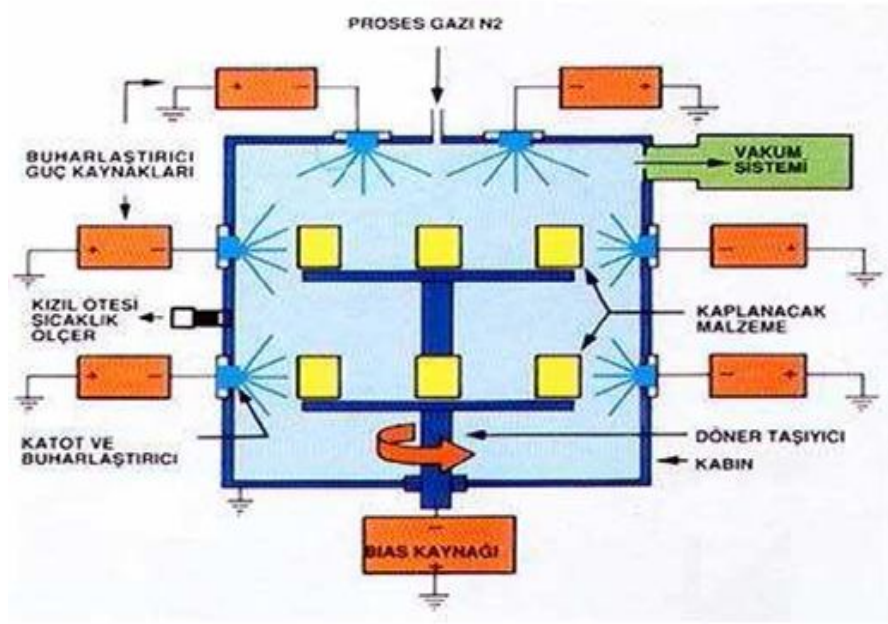
PVD teknikleri diğer kaplama teknikleri ile kıyaslandığında;

- Düşük sıcaklıklarda çalışma (taban metalinin fazla ısınma tehlikesinin olmaması),
- İstenmeyen yönlü birikimin olmaması (kaplama kalınlığının homojen olması),
- Çevre kirliliğine yol açmaması,
- En yaygın ve gelişmeye açık yöntem olması gibi avantajlarının olduğu görülmektedir.

Prensip olarak, her kaplamadan önce kaplanacak parçalar imalat hataları veya hasar bakımından etraflıca gözden geçirilir. Bundan sonraki aşamalarda ilk olarak parçalar çok kademeli bir ön temizleme işlemine uğrarlar. Bu işlemle, imalat artığı olarak kalan yağ, kir, parmak izleri vs. gibi yüzeysel birikimler tamamı ile yok edilir. Bu işlemlerden sonra parçalara elle dokunulmaz. Ön temizlikten sonra parçalar vakum odasına doldurulur ve kabinin havası boşaltılır. İstenilen vakum düzeyine erişildikten sonra ikinci bir temizleme kademesinde kaplanacak parçalar yüksek enerjili iyonlarla bombardıman edilerek, yüzeyde ince bir tabaka olarak kalmış yabancı maddeler (kimyasal artıklar, çekme tabakaları vs.) yok edilir. Aynı zamanda kaplanacak parçalar kaplama ısısına getirilir.

PVD işleminde ise oksijen ve azot gibi basit gazlara ihtiyaç duyulmaktadır. PVD tekniğindeki gelişmelerin yanında, plazma ve dengelenmemiş manyetik alanda sıçratma kullanımı bu yöntemin sanayideki uygulama alanlarını oldukça geliştirmiştir. Bu yöntemle büyütülen filmler korozyondan korunmak, sert yüzeyler elde etmek, mühendislik uygulamalarında kullanılmak, dekoratif amaçlı endüstriyel ve tüketim mallarının imalatı, enerji tasarrufu sağlayan pencerelerin imalatı, hafıza

ürünleri imalatı gibi çok farklı mühendislik uygulamalarında kullanılmaktadır [55,56].



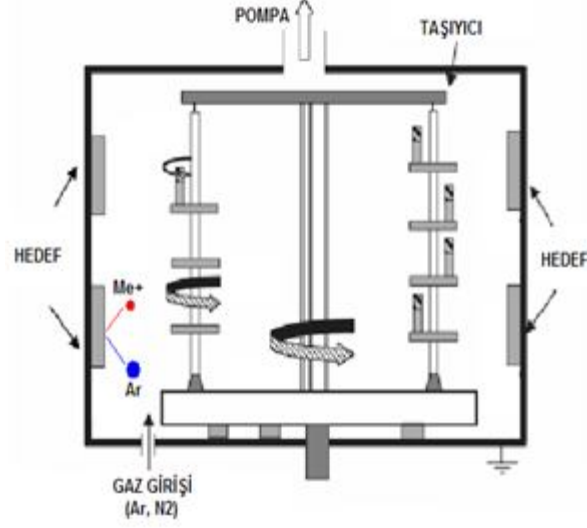
Şekil II.17 Fiziksel Buhar Biriktirme İle Sert Seramik Kaplama

PVD yöntemleri;

- Manyetik Sıçratma
- Katot Ark PVD
- Termal Buharlaştırma
- İyon Kaplama

*1.a. Manyetik Alanda Sıçratma*

Malzemeler vakum odasına yerleştirilir, fırın vakuma alınır ve proses sıcaklığına ısıtılır. Hedef malzeme üzerine Argon iyonu bombardmanı yapılır. Argon iyonları hedef malzeme yüzeyine vurur ve hedef malzemedeki atomları sıçratır. Saçılan atomlar plazma içerisinde reaktif gazla reaksiyona girer ve taban malzeme üzerine biriktirilir.

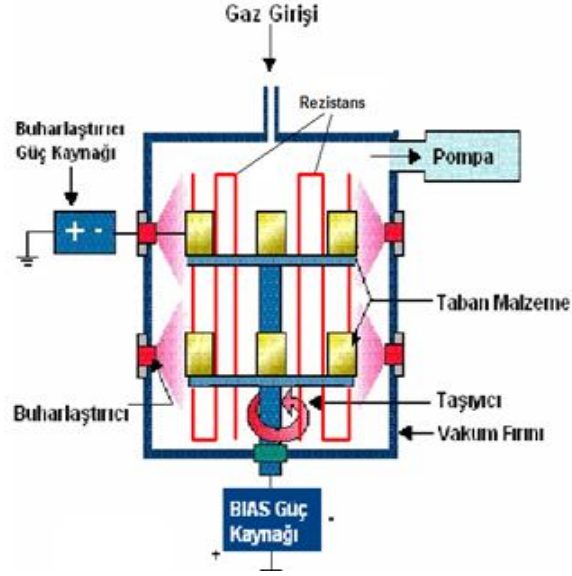


Şekil II.18 Manyetik Alanda Sıçratma

Manyetik Alan Sıçratması son on yıldır endüstriyel önem taşıyan ürünlerin kaplanmasında kullanılmaktadır. Bu yöntemin kullanılmasında çeşitli sektörlerde ihtiyaç duyulan yüksek kaliteli ve fonksiyonel filmlere olan ihtiyaç etkindir. Bu yöntemle büyütülen filmler, Geleneksel Fiziksel buhar kaplama yöntemi ile büyütülenlerden daha ince olmakla beraber, yüksek kaplama oranlarında büyütülebilmekte, çok saf, adhezyon iyi ve düzgün bir mikro yapıya sahip olabilmektedirler.

#### *1.b. ARK-PVD Buharlaştırma Sistemi*

Katodlara buharlaştırıcı akımı sürülür. Katodun önünde görülen tetiğe de ters akım verilerek katodun yüzeyine dokundurulur. Dokunmayla kısa devre olur ve ark oluşur. Tetik yüzeyden çekilir. Oluşan ark sürekli ve yüzeyde rastgele hareket eder. Ark katodun yüzeyini ısıtır ve katot malzemesi buharlaşarak fırın atmosferine karışır.

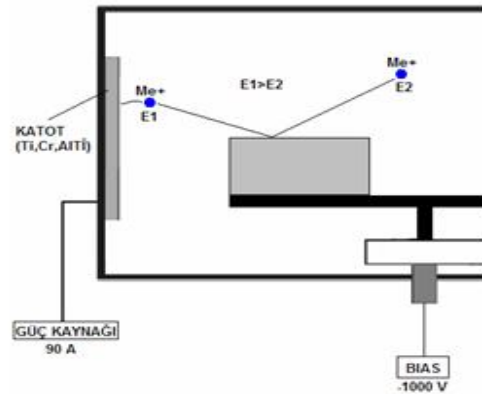


Şekil II.19 ARK-PVD Buharlaştırma Sistemi

### 1.c. İyon Bombardmanı

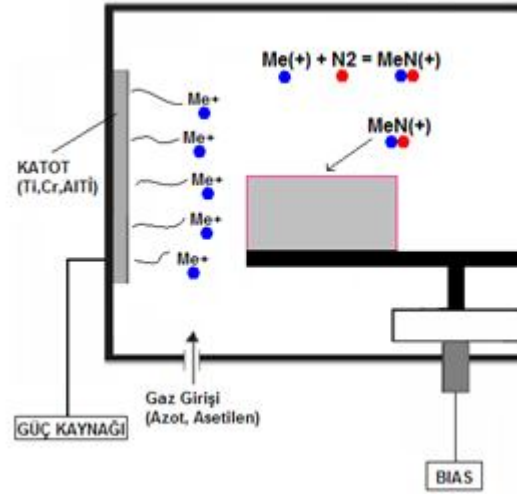
Kaplamadan önceki son temizleme ve ısıtma adımıdır. Aynı zamanda yüzeyi aktifleştirerek kaplamanın iyi tutunmasını sağlar. Katotlara yüksek buharlaştırıcı akımı verilir ve ark oluşturulur. Kaplanacak malzemelere ise yüksek negatif bias voltajı verilir.

Katottan fırlayan metal iyonu ( $Me^+$ ) hızla kaplanacak malzemenin üzerine yönelir. Malzemenin yüzeyine çarpar ve seker. Bu sırada malzemenin yüzeyinde gözle görülmeyen oksit tabakaları temizlenir ve momentum transferiyle malzeme ısıtılır.



Şekil II.20 İyon Bombardmanı

- İyon bombardımanından sonra fırının içerisi kaplama basıncına getirilir.
- Buharlaştırıcı akımı ve bias voltajı kaplama değerlerine indirilir.
- İçeriye reaktif gaz verilir ve katotlar tetiklenir
- Buharlaşan metal iyonları plazma içerisinde reaktif gazla reaksiyona girer ve malzeme üzerine birikmeye başlar [57,58,59,60].



Şekil II.21 İyon Bombardımanından Sonra Gaz Girişi

## II.8. DLC KAPLAMA

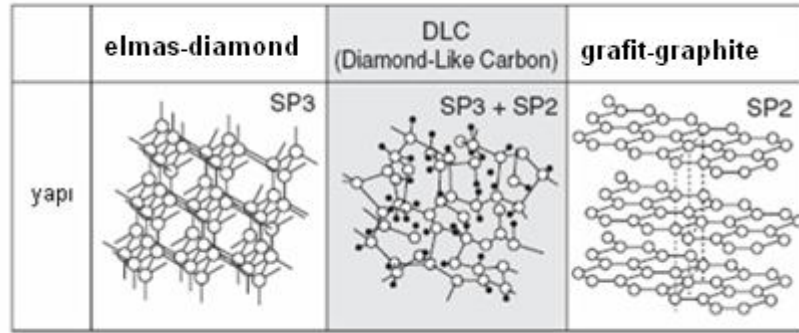
Elmas Benzeri Karbon (DLC) esas bileşeni karbon olan amorf (düzensiz) ince bir tabakadır. Yüksek sertlik, süper tribolojik özelliğe ve mükemmel adhezyon direncine sahip nadir bulunan sert ince bir tabakadır. Elmas ve grafit benzeri olan yeni geliştirilmiş DLC Film (Aurocoat) karbon bileşenidir. Elmasa amorf olması nedeniyle benzerdir.

Şekil II.22.' de elmas mikro yapısı görülmektedir. DLC film (Aurocoat) içindeki karbon bağlarının kristal yapısı düzenli değildir, DLC film elmastaki SP3 bağı ve Grafitteki SP2 bağlarının karışımıdır [61].

Karbon, genellikle grafit, elmas ve florin (C60) şeklinde bulunur. Üçü de kristal yapıda olup karbon atomlarının farklı şekillerde bağlanması sonucunda ortaya çıkmıştır ve her biri diğerinden farklı özellikler sergiler. Diğer taraftan hem SP2 (grafitteki baskın bağ) hem de SP3 (elmastaki baskın bağ) bağlı karbon içeren amorf yapıdaki karbon şekline DLC denilmiştir (Şekil II.22). Yani bu kaplamalar, çok kısa

aralıklı sıralanmış elmas (SP<sup>3</sup> tipi dörtyüzlü-tetrahedral bağlar ile tanımlanmış) ile grafitik fazlarının (SP<sup>2</sup> tipi üç köşeli-trigonal bağlar ile tanımlanmış) birlikte olduğu amorf bir yapıdır [62]. Bu düzensiz ağ içerisinde az da olsa SP<sup>1</sup> bağlı karbon atomları da bulunabilmektedir [63].

Elmas benzeri fazların sertlik ve kimyasal asallık gibi özellikleri yüksek orandaki SP<sup>3</sup> oranından kaynaklanmaktadır. Farklı koordinasyonlardaki karbon atomlarının birbirlerine oranı çökeltme (deposition) yöntemine ve amorf hidrokarbonlarda hidrojen miktarına bağlıdır. Bu farklı bağ yapılarını bir arada bulundurması nedeniyle DLC filmler elmas, grafit ve hidrokarbon polimerlerin geniş özelliklerini taşıyabilmektedirler.



Şekil II.22 Kristal Yapı

Aisenberg [64] elmas benzeri özellikler gösteren ince karbon filmler büyütmüş ve film tabakasının yüzeyinin çok düzgün olduğunu açıklamıştır. Deng [65] AISI 420 paslanmaz çelik üzerine DLC kaplamış, karbon miktarı arttıkça film sertliğinin arttığını açıklamışlardır. Wei [66] içersine Bakır, Titanyum ve Silikon gibi yabancı malzemeler de kattıkları DLC filmlerin mekanik özelliklerini araştırmış, katkılı DLC filmlerin saf DLC filmlere oranla adhezyonunun daha iyi ve aşınma dayanımının daha yüksek olmasına karşın, sertliklerinin daha düşük olduğunu açıklamışlardır. Erdemir [62] AISI M50, AISI H13 paslanmaz çelik ve elmas taban malzemeler üzerine DLC film kaplamış, elmas taban malzemeler üzerine kaplanan film tabakasının sürtünme katsayısını 0,001 ve aşınma oranlarını  $10^{-9}$  –  $10^{-10}$  mm<sup>3</sup>/Nm olarak açıklamışlardır.

DLC filmler kimyasal olarak kararlı, optik olarak geçirgen, düşük sürtünme katsayılı ve yüksek aşınma dirençlidirler. Kaplama prosesine ve parametrelerine



bağlı olarak SP3/SP2 oranı kontrol edilebilmekte, dolayısı ile kaplamanın sertlik, aşınma dayanımı ve sürtünme katsayısı gibi özelliklerine müdahale edilebilmektedir [67]. DLC içerisindeki SP3/SP2 oranı, XPS (X-ray) cihazı ile tayin edilebilmektedir. Elmas benzeri yapıları iki sınıfa ayırmak mümkündür. Bunlar; Elmas Benzeri Hidrokarbonlar (a-C:H) ve Elmas Benzeri Karbonlardır (a-C). Amorf karbon filmlerde hidrojen önemli bir rol oynamaktadır. Hidrojenli karbon filmlerin termal stabilitesi, yüksek adhezyonu ve düşük sürtünme katsayısı, bu filmlerin potansiyel uygulamaları açısından araştırmalara konu olmaktadır [68].

**Tablo II.5** Elmas, Grafit ve DLC Malzemelerin Özellikleri

	a-C	a-C:H	Grafit	Elmas
Kristal Yapı	Amorf, sp <sup>3</sup> ve sp <sup>2</sup> bağları karışık durumda	Amorf, sp <sup>3</sup> ve sp <sup>2</sup> bağları karışık durumda	Kübik	Hegzagonal
Form	Düzgün veya pürüzlü	Düzgün	---	Kristalize
Sertlik (H <sub>v</sub> )	1200 - 3000	900-3000	---	7000-10000
Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	1,6-2,2	1,2-2,6	2,26	3,51
Elektriksel Direnç (Ω/cm)	>10 <sup>10</sup>	10 <sup>6</sup> -10 <sup>14</sup>	0,4	>10 <sup>16</sup>
Isıl İletkenlik (W/m.K)	---	---	3500	2000
Kimyasal Stabilite	Asal	Asal	Asal	Asal
Hidrojen Oranı (H/C)	---	0,25-1	---	---
Büyütme Oranı (µm/sa)	2	5	---	1000

DLC filmler yüksek sertlikleri nedeniyle metaller, optik ve elektronik komponentler için koruyucu kaplamalar olarak kullanılmaktadır. Özellikle manyetik kayıt aletleri gibi koruyucu filmin 50 nm ile sınırlandırıldığı yerlerde DLC kullanımı ön plana çıkmaktadır. Son yıllarda DLC filmlerin herhangi bir ortamda tribolojik özelliklerinin, sürtünme esnasında oluşan bir ara yüz transfer tabakası tarafından kontrol edildiği belirlenmiştir. Birbirlerine karşı kayma veya yuvarlanma ile temasta bulunan elemanlardan bir tanesi yumuşak bir yüzey tabakasına sahipse, yumuşak yüzey tabakası, düşük kesme mukavemeti nedeni ile karşı malzemeye kısmi olarak transfer olur. Bu transfer tabakasının oluşumu sonucunda düşük sürtünme katsayısı elde edilir ve aşınma oldukça azalır [69]. Bu oluşuma kayma esnasında üretilen ısı ve çeki kuvvetleri etkimektedir. Transfer tabakasının kesme kuvveti ve kayan yüzeylere adhezyon çevre şartlarından, temas yükünden ve kayma hızından etkilenmektedir. Aynı zamanda transfer tabakasının kompozisyonu karşı malzeme

tarafından etkilenmektedir. DLC ve karşı malzemelerin düşük sürtünme ve aşınması, çevre şartlarından da etkilenebilen transfer tabakasının düşük kesme kuvveti ile açıklanmaktadır [70].

Franks [71] Germanyum, Silikon, Titanyum, Alüminyum, Cam ve çeşitli plastik taban malzemeler üzerine DLC kaplanmış, film tabakasının sert, kimyasal olarak inert ve infrared ışıkta geçirgen olduğunu açıklamıştır. DLC filmin biyoyumlu olduğunu, Titanyum ve çeşitli plastikler üzerine adhezyonunun güçlü olduğunu göstermiştir [72].

### II.8.1. DLC Film Kaplama Teknikleri

Elmas Benzeri Karbonlar yarı-kararlı malzemeler olduğundan elmas benzeri özellikleri elde edebilmek için, film yüzeyinin yüksek enerjili iyonlarla sürekli bombardımana tutularak çöktürülmesi gerekmektedir. Aisenberg ve Chabot [64,73] tarafından geliştirilen çöktürme yönteminden sonra DLC büyütme için iyon demeti ve plazma tekniği tabanlı yeni teknikler geliştirilmiştir. Bu metotlar tekil düşük enerjili karbon iyon demeti, karbon ve argon iyonu demeti, iyon kaplama, RF sıçratma veya karbon/grafit hedeflerden iyon demeti ile sıçratma, vakum-ark deşarjı veya lazer abrazyonu/aşındırması şeklindedir. DLC filmlerin büyütülmesinde kullanılan temel teknikler ise Plazma Destekli Kimyasal Buhar Çöktürme Reaktörleri ve Manyetik Alan Sıçratmasıdır [74].

Hsieh [75] Kapalı alan dengelenmemiş manyetik alan sıçratması yöntemi ile, 304 paslanmaz çelik üzerine titanyum içerikli DLC film kaplamış ve kaplamanın iyi korozyon özellikleri gösterdiğini açıklamışlardır. Ho-Gun Kim [76] 316L paslanmaz çelik numuneler üzerine DLC kaplamış ve vücut sıvısına benzer bir ortamda korozyon davranımlarını incelemişlerdir. Yüksek taban malzeme gerilimi (-400 V) ile kaplanan ve içersine Si eklenen DLC filmlerin korozyon dayanımlarının yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir.

Ishihara [77] RF manyetik alan sıçratması yöntemi ile argon (Ar), metan (CH<sub>4</sub>), ve tetraflorometan (CF<sub>4</sub>) gaz karışımı kullanarak, grafit hedeften Florinli Elmas Benzeri Karbon (F-DLC) filmler büyütülmüştür. Film yapısı elmas benzeri yapıdan, polimer benzeri bir yapıya dönüşmüş, sertlik ve Young modülü azalmıştır. Filmin yüzey enerjisi florin eklenmesi sebebiyle düşmüştür.

Shirakura [78] Plazma CVD yöntemi ile Polietilentetraftalat (PET) şişe içersine DLC kaplamıştır. Geleneksel şişelerle karşılaştırıldığında DLC kaplanmış PET şişeler; oksijen, karbondioksit ve kokuya karşı mükemmel bir gaz bariyeri oluşturduğu görülmüştür. Makine parçalarına DLC kaplanarak performans artışı ve enerji veriminde artma sağlanabilir. DLC kaplama, çelik matkap uçlarına PECVD prosesiyle yerleştirilir. Düşük sürtünmeye sahip ve aşınmaya dayanıklı yüzeyler elde etmek için argonla seyreltilmiş asetilen ön madde olarak kullanılır [79].

Kesici takımların imalatında uygun maliyeti sağlayabilmek için, kesici takım yüzeylerine düşük sürtünmeli, ince film kaplamalar yapılır. Bu sayede sürtünme etkileri azaltılır, metal artıklarının kesici takım yüzeylerine yapışması engellenmiş olur. Aksi takdirde enerji sarfiyatında ve takım aşınmasında artma, malzeme mikro ve makro yapısında değişme, bölgesel bozulmalar gözlenir [79].

Takım ömrünü ve kesme verimini arttırmak adına bazı firmaların ürettiği kaplamalar vardır. Bunlara örnek olarak bazı üreticilerin tercih ettiği titanyum nitritler, oksitler, karbürler, seramikler ve çeşitli elmas kaplamalar verilebilir [80,81].

DLC ince film kaplamalarına ait özellik değişimi, yapı değişimi ile alakalıdır. Ör: SP2/SP3 bağlama oranı (SP2/SP3 orbitallerinin bağlama oranı), hidrojen miktarı, sp2 birleşme ve ayrılma yoğunluğu. Yapıdaki bu değişimleri PECVD işlemine ait şu parametreleri değiştirerek elde etmek mümkündür: Ön gerilim (bias) voltajı, ön madde gazlarının cinsi, yüzey kaplama işlemi türü ve sonradan yapılan tortulandırma işlemi [82,83].

## **II.9. LİTERATÜR BİLGİLERİNİN İRDELENMESİ**

### **II.9.1. Delik Delme İşlemine Etki Eden Faktörler**

Talaş kaldırma işleminin artması; daha kısa zamanda daha fazla malzemenin kesilmesi demektir ki buda kesme hızının, ilerleme ve kesme derinliğinin artırılmasıyla mümkündür. Bunların ekonomik olarak gerçekleştirilmesi makine takımı, kesici takım, kesme sıvısı ve malzemeye bağlıdır.

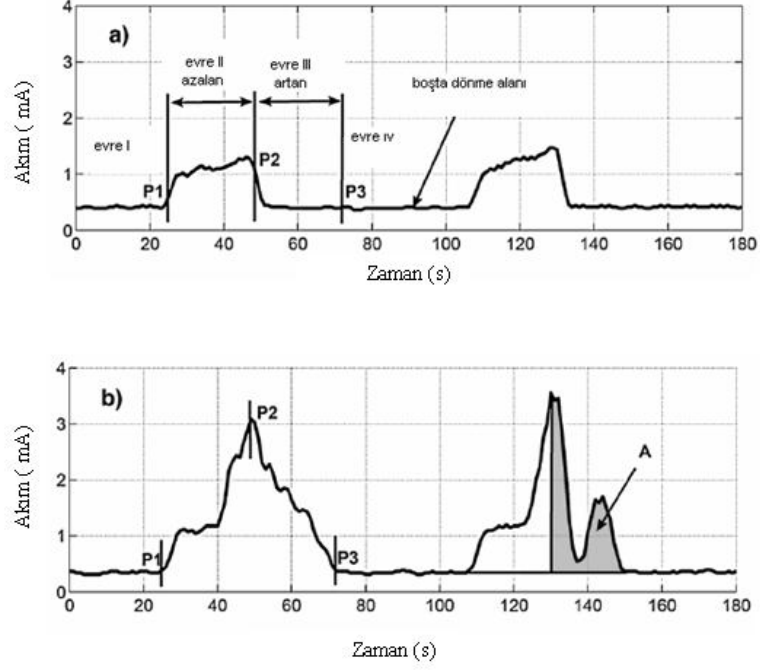
M. Zolgharni, B.J. Jones, R. Bulpett , A.W. Anson ve J. Franks [79] kuru delme işlemlerinde delme işlemlerinde enerji verimini artırma çalışmaları yapmışlardır.

Deney çalışmalarında; Diameter Ltd. şirketinde PECVD yöntemiyle çelik matkap uçlarına kendiliğinden yağlayıcı DLC film kaplaması yapılmış, ön madde olarak asetilen, argon ve Si(CH<sub>3</sub>)<sub>4</sub> gaz karışımı kullanılmıştır. Orijinal matkap uçlarına (kaplanmamış uçlara) ait bilgiler şöyledir: çap 1,5mm, uç açısı 135 ° , %8 kobalt içeren kaplamasız HSS'dir. Matkaplar helis ve sağ yönlüdür.

Tutarlı deneme koşulları oluşturmak amacıyla delme deneyleri (matkapla delme), (3 eksenli) CNC freze tezgahında (Sherline 5410 Deluxe Mill) gerçekleştirilmiştir. İş parçası olarak BS1474 HE30 (BSEN 754-5 608 2T6) alüminyum alaşımı kullanılmıştır. Bu alaşım, kuru delme işlemlerinde takıma önemli ölçüde yapışma eğilimi gösterir. Delik çapı 5mm ve derinliği 10mm' dir (kör delik). Delme işlemlerinde ortalama bir hız tercih edilmiştir, mil hızı 2600 devir/dak ve ilerleme 0.012 mm/devir olarak belirlenmiştir. Deneylerde hiçbir yağlayıcı kullanılmamıştır. Çalışma değerlendirilmeleri delme torku, dönen mile ait motorun enerji sarfiyatı ve başarılı şekilde (herhangi bir bozulma, aşınma olmadan) delinen toplam delik sayısı üzerine yapılmıştır.

Ekonomik ve teknik açıdan takım bozulmasını online olarak takip etmek için deneyde analog akım takibi yapılmıştır, bu akım delme torkuyla ilişkilidir.

Kesme parametreleri (ör: mil dönme hızı, ilerleme hızı, matkap geometrisi) yapılan bütün deneylerde benzer tutulduğunda, akımdaki değişme sadece matkabın durumu hakkında bilgi vereceği savunulmuştur.

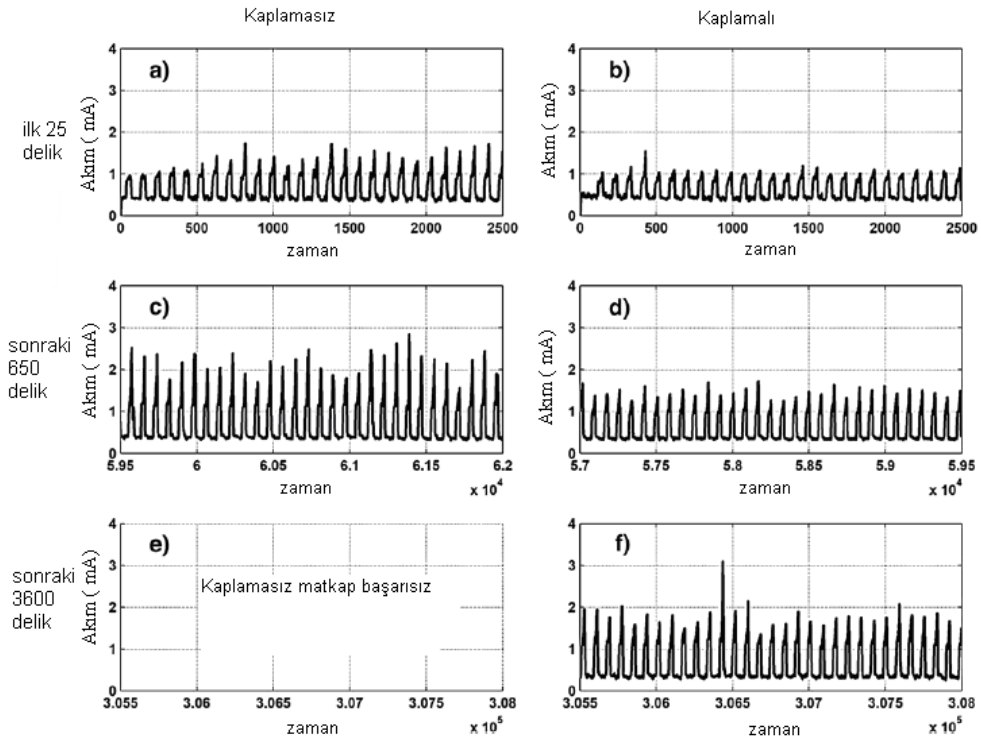


Şekil II.23 Kaydedilen Sinyal Örnekleri [79]

Şekil II.23 a ve b’de, mili döndüren motora ait akımın delme esnasındaki tipik davranışını gösterilmiştir. Delme işlemi 4 aşama olarak düşünülmüştür. Delme işleminin 1. ve 4. aşamasında matkap malzemenin dışındadır ve motor boşta çalışmaktadır. 2. ve 3. aşamada ise kesme performansı hakkında faydalı bilgiler ihtiva etmektedir. 2. aşamada matkap iş parçasına temas etmekte (P1) ve aşağı doğru hareket etmektedir. Matkap iş parçasının içine doğru ilerledikçe, güç sarfiyatı artmaktadır (P2). Şekil II.23a’da başarılı bir matkap ucuna (arzu edilen delme işlemini düzgün bir şekilde gerçekleştiren) ait sinyal gözükmemektedir. Buna karşılık Şekil II.23b’de bozulmaya yakın bir matkap ucuna ait sinyal gözükmemektedir, burada sinyal değeri oldukça yükselmiştir ve bu yükselme daha yüksek delme kuvveti ve sonuç olarak daha yüksek sürtünme katsayısı anlamına gelmektedir. 3. aşamada ise matkap iş parçasından çıkacak şekilde yukarı doğru hareket etmektedir (P3). Bu aşamada kesici takım (matkap ucu) ve talaş arasında düşük yapışma kuvveti (adhezyon kuvveti) söz konusu ise, mili döndüren motordaki tork değeri düşük olacaktır ve şebekeden çekilen akım değeri milin boş konumdaki (matkabın iş parçası dışına çıktığı durum) çalışma değerine yakın olacaktır ( Şekil II.23a).

Takım üzerine kaplanan filmlerin (kaplamaların) takım ömrüne olan etkisi araştırmak üzere bir tane kaplanmamış takım ile bir tane kaplanmış takım kullanarak,

takımın bozulmadan deldiği toplam delik sayısı, güç sarfıyatı, talaş tıkama sıklığı gibi değerler ölçülmüştür. Kullanılan matkap uçları, önceden tanımlanmış bir delme torku limit değerine yaklaştığı zaman uçların bozulduğu varsayılarak, yani güç tüketiminin kabul edilemeyecek kadar artması gibi durumlarda matkabın bozulduğu varsayımı yapılmıştır. Farklı kullanım koşullarında, kaplanmış ve kaplanmamış matkaplarla delinen 25 deliğe ait akım değerleri gözlemlenmiştir ( Şekil II.24). İlk 25 deliğe ait akım genlik değerleri birbirine çok benzer bulunmuş ancak kaplanmamış takımında bu değerler biraz daha yüksek çıkmıştır. Kaplanmamış matkapla 650 delik deldikten sonra motordaki akım değeri, mildeki yüksek kesme torkundan ötürü önemli ölçüde artmıştır, (Şekil II.24’de c ve d). Aynı zamanda kaplanmamış matkaplarla yapılan delmelerde delik sonlarına doğru akımda keskin değişimler gözlenmiştir. Buna sebep olarak kaplanmamış matkabın talaş tahliye kabiliyetinin yetersiz olduğu söylenmiştir. Son olarak, Şekil II.24f ‘de kaplanmış matkap uçlarına ait akım değerleri gösterilmiştir (3600 delik deldikten sonraki değerler işaretlenmiştir). 3600 delik deldikten sonra bile kaplanmış matkaplar, 650 delik delmiş kaplanmamış matkaplara oranla daha iyi çalışmakta olduğu araştırmacılar tarafından gözlemlenmiştir. Kaplanmış takımlarda kesme kuvveti daha stabil ve daha tutarlı davranış göstermiştir.



Şekil II.24 Kaplamalı ve Kaplamsız Matkapların Sinyal Sonuçları

M. Zolgharni ve arkadaşları [79] Zeiss Supra elektron mikroskobu ile iki matkap türünü kıyaslamış ve analiz etmiştir. Kaplanmamış matkap yüzeyi ve kanallarına alüminyum yapışması gözlemlenmiştir. Araştırmacılar bu deneyle PECVD yöntemiyle standart matkap uçlarına kaplanan DLC kaplamanın enerji verimliliği sağladığını ve performans artışı sağladığını kanıtlamışlardır.

Ön gerilim voltajı (bias voltajı) 450 V olduğunda ve argon asetilenle 1:3 oranında seyreltildiğinde kuru delme işlemleri için en uygun kaplamalar elde etmişlerdir. Ölçümler sayesinde DLC kaplı matkapların önemli ölçüde verim artışı sağladığı belirlenmiştir. Ayrıca DLC ile kapladıkları matkapların 3600 delme işleminden sonra bile 650 delik delen kaplanmamış matkaplara oranla daha az akım çektiği görülmüştür. Bu durum, alüminyumun matkap uçlarında yapışmasının azalmasıyla ve talaş kaldırmadaki kolaylığın artmasıyla ilgilidir.

Sonuç olarak alüminyum ve paslanmaz çelik işlenmesinde, optimize edilmiş ölçüde DLC kaplı matkapların kullanım ömürlerinde artış olduğu doğrulanmıştır.

H. Hanyu, T. S. Kamiya, Y. Murakami ve Y. Kondoh [84] CVD yöntemi ile pürüzsüz yüzey veren elmas kaplama ve DLC kaplamanın kombinasyonuyla yarı kuru işlemlerde kesme performansını arttırma üzerine çalışma yapmışlardır.

Araştırmacılar son zamanda, iyi kristalleşmiş ve pürüzsüz yüzey oluşturan elmas kaplamayı geliştirmişlerdir. Bu kaplama kullanılarak, geleneksel elmas kaplama yöntemlerine göre kesici takımların yapışmazlık özelliğinde önemli bir gelişme sağlanmıştır. Ancak küçük kristal tepeleri yine de giderilememiştir. Bu kaplama ile kaplanmış takımlarla alüminyum alaşımları işlendiğinde, küçük miktarda alüminyumun bu tepeler arasındaki boşluklara yapıştığı ve sonuç olarak da sürtünmede düşüş olduğu gözlenmiştir. Bu problemi çözmek adına kesici takımlarda, CVD elmas kaplamanın üzerine DLC kaplama yapmaya çalışmışlardır. DLC kaplama çok düzgün bir yüzeye sahiptir ve katı yağlama performansı da mükemmeldir. Ancak çok aşındırıcı malzemelerle temas söz konusu olduğunda yeterli dayanıklılığa sahip değildir. Öte yandan araştırmacılar tarafından geliştirilen iyi kristalleşebilen elmas kaplama, çok aşındırıcı malzemelere karşı bile muazzam dayanıklılık göstermektedir. Bu iki kaplamayı beraber kullanarak, hem yüksek yağlama özelliği hem de dayanıklılık uyumunu sağlamaya çalışmışlardır. Bu iki kaplamanın yeni kombinasyonları sayesinde alüminyum alaşımları için kullanılan

kesici takımların yapışmazlık özelliğinde iyileşme ve takım dayanımlarında başarılı bir şekilde artış sağlanmıştır.

H. Hanyu ve arkadaşlarının [84] deney çalışmaları;

CVD yöntemiyle elmas kaplanmış yüzeyin sürtünme özelliklerini iyileştirmek için, iki tür elmas kaplamanın üzerine DLC kaplama yapmaya çalışmışlardır. Bunlardan biri, kaba tanelerden oluşan ve pürüzlü yüzeye sahip olan geleneksel elmas kaplamadır. Diğeri ise iyi kristalleşebilen ve pürüzsüz yüzey oluşturan elmas kaplamadır. Her iki elmas kaplama da sıcak filamanlı bir CVD sistemi tarafından oluşturulmuştur. DLC ise RF-plazma CVD yöntemiyle kaplanmıştır. Gerekli karbon kaynağı da asetilenden karşılanmıştır.

Dört çeşit kaplama türünü alüminyum alaşımlarına karşı, pin-on disks testi ile sürtünme kuvveti testine tabi tutmuşlardır. Diskler dövülmeye elverişli alüminyum alaşımlı (JIS A7075) malzemeden yapılmışlardır. Pin ise elmas kaplıdır ve pin ucu 10mm çapında yarım küre geometrisindedir. Bu dört çeşit kaplama ise şöyledir:

DLC üst kaplamalı, pürüzlü yüzeye sahip iri (kaba) taneli elmas kaplama

DLC kaplamasız, pürüzlü yüzeye sahip iri (kaba) taneli elmas kaplama

DLC üst kaplamalı, iyi kristalleşebilen pürüzsüz yüzeyli elmas kaplama

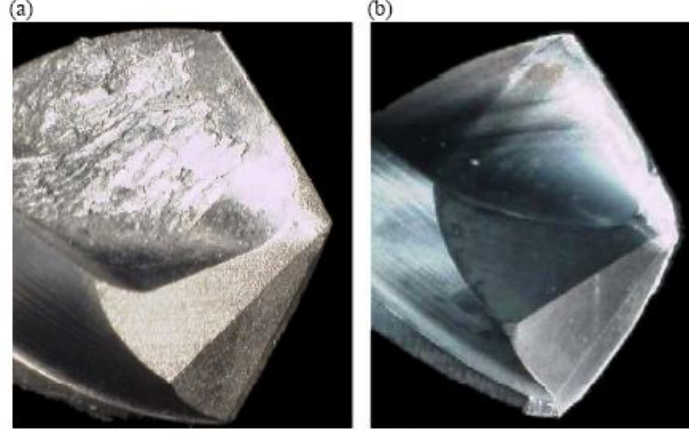
DLC kaplamasız, iyi kristalleşebilen pürüzsüz yüzeyli elmas kaplama

Ağırlık olarak %6 Co (Kobalt) ile güçlendirilmiş volfram karbürden imal edilmiş ve tane büyüklüğü 1~2 Am olan takımlar kullanılmıştır. İş parçası ise basınçlı döküm yöntemiyle elde edilmiş %12 silisyum içeren alüminyum alaşımıdır (JIS ADC12). Dayanıklılık testleri yarı kuru kesme şartları altında yapılmıştır. Yarı kuru ise operasyon esnasında kesme bölgesine yağlayıcının buhar olarak gönderilmesi anlamına gelmektedir. Buna azami miktarda yağlayıcı (Minimum Quantity of Lubricant) da denmektedir. MQL durumunda yağlayıcı buhar, harici bir hava lülesi (memesi) tarafından sağlanmaktadır. Bu lüle (memeye) ait basınç değeri  $5 \text{ kg/cm}^2$  dir. Yağlayıcı miktarı 10 ml/saat 'dir.

Sonuç olarak Pin on disk testi metodu ile sürtünme katsayıları elde edilmiştir. İyi kristalleşebilen elmas kaplama üzerine yapılan DLC kaplama en düşük sürtünme katsayısına sahiptir. 0,45'ten 0,18'e kademeli olarak bir düşüş söz konusu olmuştur. Diğeri bir taraftan, DLC kaplamasız iyi kristalleşebilen elmas kaplama 0,4 ~ 0,45



arası bir sürtünme katsayısı göstermiştir. DLC üst kaplamalı, kaba taneli elmas kaplama ise 0,6 değerinde bir sürtünme katsayısı vermiştir. Geleneksel elmas kaplamanın üzerine yapılan DLC kaplama sürtünme katsayısını düşürememiştir. DLC kaplamasız, kaba taneli elmas kaplamanın da sürtünme katsayısı değeri 0,6 olmuştur. Kaba taneli elmas kaplamanın üzerinde DLC kaplamanın olması durumunda kaba taneli elmas kaplamaya ait elmas tepeleri (mikro yapıdaki küçük elmas uçları) DLC kaplamayı kesmiş ve direkt olarak alüminyum yüzeyini çizmiştir. Bu sebepten ötürüdür ki, kaba taneli elmas kaplama üzerindeki DLC kaplama yüksek sürtünme katsayısı göstermiştir ve bu değer neredeyse DLC kaplamasız haldeki sürtünme katsayısına eşittir. Yarı kuru delme işleminde, kaplanmamış matkaplar ve DLC kaplamalı/kaplamasız iri taneli elmas kaplamalı matkaplar aşırı yüklenme sonucunda dayanma sınırına yaklaşmışlar ve nihayetinde kırılmışlardır. Bu aşırı yüklemeye sebep olarak, malzemedeki kalkan talaşın matkabın kesme yüzeyine yapışması ve delme işlemi esnasında matkap kanalına sıkışması gösterilebilir. Aksine, DLC kaplamalı/kaplamasız ve iyi kristalleşebilen elmas kaplamalarla yapılan testlerde kesme kenarında ufak çatlak görüldüğünde matkaplar hemen durdurulmuş ve matkap kırılmadığı halde dayanma sınırına yaklaşıldığı kanısına varılmıştır. DLC kaplama ve iyi kristalleşebilen elmas kaplama kombinasyonu en iyi performansı göstermiş ve bu kombinasyon sayesinde takım dayanıklılığı 15000 delikten daha yukarıya taşınmıştır. Şekil II.25'de yarıda kesilen bir deneye ait matkap ucu gösterilmiştir. Şekil II.25a'da 1800 delik delmiş kaba taneli elmas kaplamaya sahip matkabın üzerindeki DLC kaplama gösterilmektedir. Burada eğim yüzeyine, kesme kenarına ve matkap kanalına yapışan alüminyum açıkça gözükmemektedir. Şekil II.25b'de ise 15552 delik delmiş DLC ile iyi kristalleşebilen pürüzsüz yüzeyli elmas kaplama gözükmemektedir. Ne kanalda ne de kesme ağzının yan yüzeyinde herhangi bir alüminyum yapışması gözlemlenmiştir. Yarı kuru işlemlerde, iyi kristalleşebilen elmas kaplamanın üzerine yapılan DLC kaplama, DLC kaplamanın olmadığı duruma kıyasla çok daha iyi yapışmazlık özelliği göstermiştir. Aynı zamanda DLC kaplama sayesinde dayanıklılık da artmıştır.



Şekil II.25 Matkap Ucu Görüntüleri

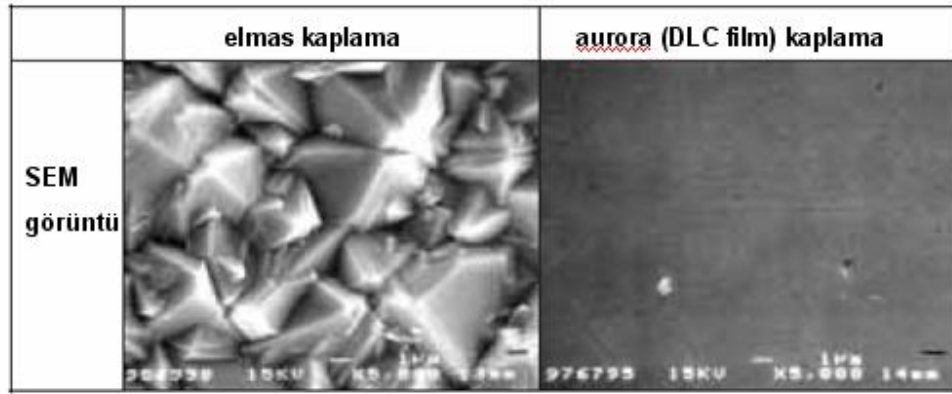
Pin –on disk testi ile sürtünme katsayısını tayin etme yöntemiyle her iki elmas kaplama türünün üzerindeki DLC kaplamaya ait sürtünme özellikleri incelenmiştir. Bu kompozit kaplamaya sahip matkapların kesme performansı yarı kuru kesme durumu için de incelenmiştir. Alüminyum alaşımına karşı en düşük yüzey sürtünme katsayısı veren kaplamanın iyi kristalleşebilen pürüzsüz yüzeyli kaplama ile DLC kaplama kombinasyonu olduğunu doğrulanmıştır.

Basınçlı döküm yöntemiyle üretilmiş %12 silisyum içeren (JIS ADC12) alüminyum alaşımını delme prosesinde tercih edilen iyi kristalleşebilen elmas kaplama üzerindeki DLC kaplamaya sahip matkaplar mükemmel yapışmazlık özelliği göstermiştir. Bu da, yarı kuru kesme koşullarında kullanılan diğer kaplamalara kıyasla çok daha uzun matkap ömrüne sebep olmuştur.

Ahmet T. Alpas ve Sukanto Bhowmick çalışmalarında AL %6 Si alaşımını (AL319) delinmesinde minimum miktarda yağlama (MQL) tekniğini kullanarak DLC kaplamalı matkabın performansını gözlemlemişlerdir. Sonuçları konvansiyonel soğutma sıvıları ile karşılaştırılmıştır. Kuru delme ve H2O-MQL sıvı şartlarındaki delme işlemleri karşılaştırmıştır. H2O-MQL kullanılarak yapılan delme işleminde yapışmanın en az düzeyde olduğu gözlemlenmiştir. Tork ve itme kuvvetinde ani yükselişlerin çok fazla olmadığı görülmüştür [85].

Yuu Kagya, Keiichi Tsuda, Haruyo Fukui, Hideto Iyori ve Kazuo Yamagata [61] DLC kaplamalı filmin ( AURORACOAT) gelişimi ve takımlar üzerindeki uygulamaları üzerine çalışmalar yapmışlardır.

Kesici takımlar için uygulanan DLC filmi geliştirmişlerdir. Alüminyum kesmede kesici takımlar ( frezeler, uçlar ve matkaplar) için DLC film uygulandığı zaman, takımlar kuru ve yarı kuru kesmenin her ikisinde de mükemmel kesme özellikleri göstermişlerdir. DLC film yağ kullanılmaksızın düşük sürtünme katsayısı ( $\mu = 0,05 - 0,2$ ) elde eder. Düşük sürtünme katsayısına ek olarak DLC film ayrıca mükemmel adhezyon direnci, yüksek sertlik ve süper aşınma direncine sahiptir. Yeni kaplama malzemeleri triboloji (sürtünme) bilimine dayandırılarak geliştirilir. Araştırmacılar alüminyum kesmede konvansiyonel CVD kaplamanın ve auroracoatın Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) yüzey görüntülerini incelemişlerdir (Şekil II.26). Konvansiyonel elmas kaplamanın yüzeyi elmas kristallerden oluşan görüntüye sahipken, auroracoat yüzeyi son derece düzenlidir.



Şekil II.26 Film yüzeyinin SEM görüntüleri.

Araştırmacılar Y. Kagiya ve arkadaşları [61] gerçek ölçüleri ispatlamışlardır; Elmas kaplamanın yüzey pürüzlülüğü

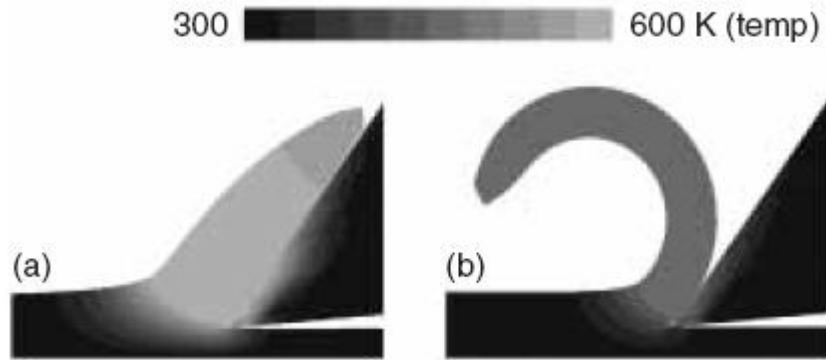
$R_a = 0,53\mu\text{m}$ ,  $R_y = 5,74\mu\text{m}$ ; Auroracoat 'ın  $R_a = 0,01\mu\text{m}$ ,  $R_y = 0,27\mu\text{m}$  'dur.

Auroracoatın Knoop sertliğinin seramikle aynı seviyede yani 30 Gpa olduğu bulunmuştur.

Auroracoatın sürtünme karakteristiğini araştırmışlar ve sürtünme karakteristiğini pin-on disk testi ile değerlendirmişlerdir. Testten sonra kaplamanın sürtünme kat sayısı ve diskteki alüminyum alaşımının adhezyonu yüzey pürüzlülüğü ölçme aleti kullanılarak ölçülmüştür. Teste sementit karbür ve çeşitli seramiklerle auroracoat karşılaştırılmıştır. Şu sonuçları çıkarmışlardır. Auroracoatın sürtünme kat sayısı son derece düşüktür.0,1'dir, diğerlerinin sürtünme kat sayısı 0,8'i geçmiştir ve

alüminyum adhezyonu meydana gelmiştir. Aynı zamanda auroracoatın yüzeyinde hiçbir alüminyum adhezyonu olmamıştır. Bu avantajlarının auroracoatın mükemmel yüzey pürüzlülüğünün sinerjisinden ve kimyasal stabilitesinden kaynaklandığı kanısına varılmıştır.

Auroracoatın yağlama etkisini araştırmışlardır. Takım yüzeyinin sürtünme kat sayısı düşük olduğu zaman, kesme direnci düşer ve bundan dolayı takım ömrü uzar. Aşağıdaki kesme şartlarını kullanarak 2 boyutlu kesme prosesi üzerinde sonlu elmanlar metodunun simülasyonunu gerçekleştirmişlerdir. İş parçası alüminyum alaşımı (A5052), Kesme hızı  $V=300$  m/dak, İlerleme  $f=0,15$  mm/dev, kesme derinliği  $d=1$  mm, takım yan açısı  $\alpha = 35^\circ$ , takım boşluk açısı  $\theta = 5^\circ$  dir. Simülasyonda kullanılan takımlar sementit karbür takım ve auroracoattır. Kesme yüzeyindeki sürtünme kat sayıları sırasıyla  $\mu = 0,8$  ve  $\mu = 0,1$ 'dir. Kesme simülasyonu 0.68 ms içerisinde gerçekleştirilmiştir. Kesme operasyonundan sonraki sıcaklık dağılımı ve talaş şekli şekilde gösterilmiştir.



Şekil II.27 Talaş Akışının Şekli

Kesme yüzeyindeki sürtünme kat sayısı düşük olduğu zaman, talaş kaldırma hızı artar ve kesme açısının artmasına neden olur. Bu durum talaştaki kıvrılma büyüklüğü ve talaş kalınlığındaki azalmayla meydana gelir.( Şekil II.27b). Sürtünme kat sayısı büyük olduğu zaman talaş kıvrılmaya karşı hassas değildir (Şekil II.27a).

Burada kesme operasyonu boyunca takım ile talaşın temas halindeki noktada; sürtünme kat sayısı 0,8 olduğunda maksimum sıcaklık 670 Kelvin (K) , sürtünme kat

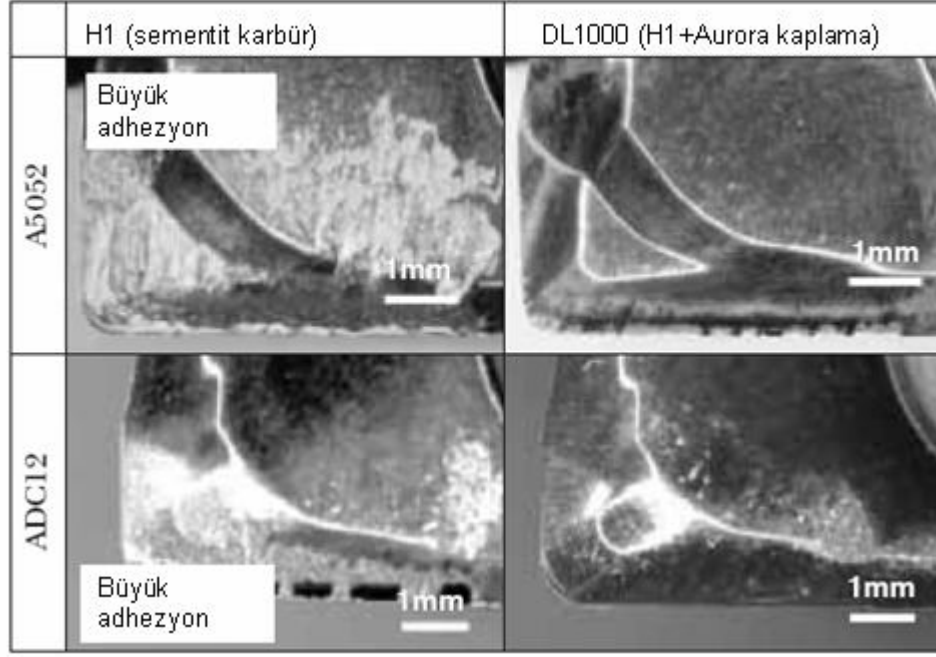
sayısı 0,1 olduğunda maksimum sıcaklık 470 K olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar şunları göstermiştir: Sürtünme kat sayısı küçük olduğu zaman sürtünme ısı tutulur ve maksimum sıcaklık 140 K'e düşer. Aynı zamanda abrazyon (aşınma) uzunluğu yani (talaş temas uzunluğu) da azalır. Sürtünme kat sayısı 0,8 olduğunda simülasyon yoluyla bulunan esas kuvvet bileşeni 60 N, sürtünme kat sayısı 0,1 olduğunda 18 N olarak bulunmuştur. Sürtünme kat sayısı 0,8'den 0,1'e düştüğünde, aynı zamanda kesme direncide 1/3 oranında düşmüştür. Buradan şunlar anlaşılmıştır; küçük sürtünme kat sayısına sahip kesici takımlar yağlanma etkisine sebep olur böylelikle kesme sıcaklıkları ve kesme kuvveti düşer.

Auracoat takımların kesme performansını araştırmışlar sementit karbürlü talaş (H1) ve DLC kaplamalı H1 (DL1000) kullanarak kesme değerlendirme yapmışlardır. Bu değerlendirmede kullanılan model the wave-shaped APET160508PDFR-S Şekil II.28'de gösterilmiştir.



Şekil II.28 APET-S

Kesme işlemi dikey işleme merkezi kullanılarak aşağıdaki şartlar altında kuru olarak gerçekleştirilmiştir. Kesme hızı 300 m/dak, kesme derinliği Ad:5 mm Rd:5 mm ve ilerleme 0,15 mm/dev. İş parçası olarak alüminyum alaşımının 2 tipi kullanılmıştır. A5052 ve ADC12'dir. Şekil II.29 A5052 ve ADC12 iş parçalarının kesilmesinden sonraki H1 ve DL1000 yüzeyini gösterir.



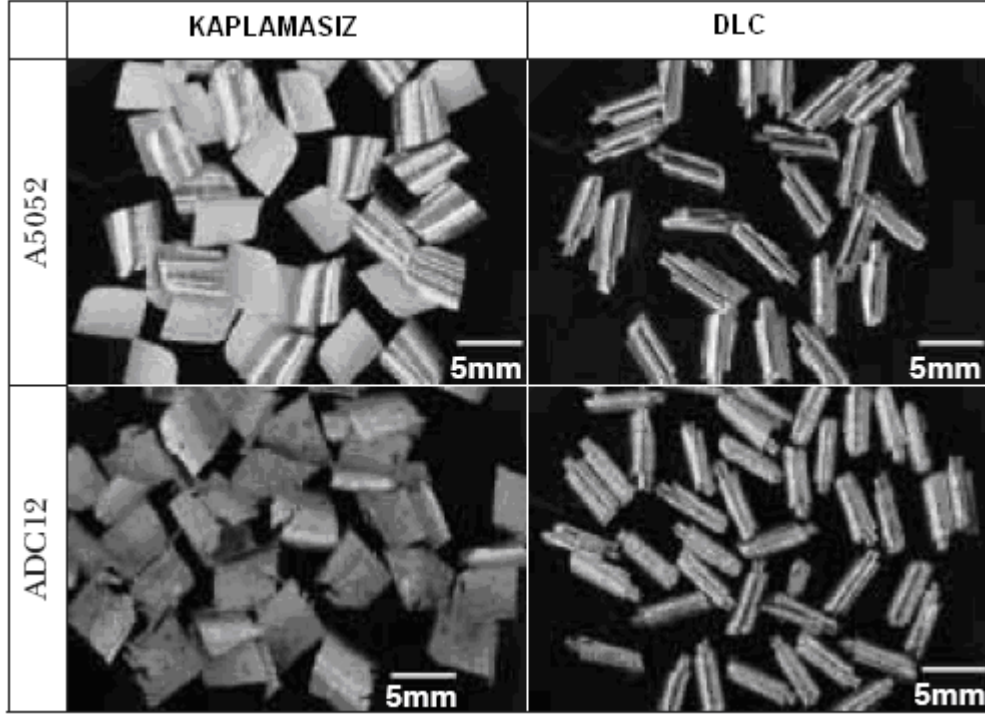
Şekil II.29 Kesme işleminden sonraki adhezyon miktarı

H1 yüzeyi alüminyum yapışmasına sahipken, DL1000'in kesme ağzı veya kesme yüzeyinde alüminyum yapışması olmamıştır.

Her iki iş parçasının yüzey pürüzlülüğü ölçülmüş ve karşılaştırılmıştır. A5052 iş parçası üzerinde H1'in Ra değeri, DL1000 in 2 katıdır. DL1000 yüzeyi daha parlaktır.

Kesme kuvveti ölçülmüş ve karşılaştırılmıştır. DL1000 kesme kuvveti düşük bulunmuştur sementit karbürün 1/3 kadardır.

Talaş şekilleri gözlemlenmiş DL1000 yaptığı talaşlar sıkıca kıvrılmış ve metalik parlaklığa sahiptir. Sementit karbürü uçlarda ise talaş çapları geniş ve donuktur. Sementit karbür uçların oluşturduğu talaşların mat ve beyazımsı olmasının sebebinin kesme boyunca sıcaklığın yükselmesi olabileceği düşünülmüştür.



Şekil II.30 Talaşların karşılaştırılması

Alüminyum kesmede ‘WDM-DLH’ matkabın kesme performansı incelenmiştir. Delme işleminde deliklerden ve matkap kanallarından talaşı uzaklaştırmak gereklidir. Eğer talaş akışı düzgün değilse, talaşlar kanalları ve deliği doldurur bu da matkabın kırılmasına sebep olur. Alüminyumun yapışması çok kolaydır. Matkaplar talaş akışı dikkate alınarak tasarlanmalıdırlar. Alüminyum yapışmasını engellemeyi amaçlayan bu özellikler Auroracoat uygulamalarıyla daha da artırılmıştır. Şöyle ki;

- Geniş inceltilmiş cep, yüksek ilerleme ile kesme esnasında yapışmayı engeller.
- Geniş inceltilmiş aç ve minimize edilmiş negatif formlu kesme kanalları yapışmayı engeller.
- 30 dereceli tasarlanmış helis kanalları yüksek ilerlemede kesmeye olanak sağlar.

Auroracoat uygulamaları kesme kuvvetini azaltır ve yüksek ilerlemeye olanak sağlar. Kesme şartları, matkap çapı: 5mm (4 kanallı ), delik derinliği 25 L/D=5mm), soğutma tipi emülsiyon tipi, kesme hızı  $V=80-200$  m/dak, ilerleme  $f=0,1-0,4$  mm/dev’dir.

Bütün şartlar altında DLC kaplı matkap küçük değerlere sahiptir, itme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve delik büyüklüğü diğer matkaplara göre küçük değerler çıkmıştır. Buna göre auroracoat (DLC film) kaplamalı matkap yüksek ilerleme için ve ince iş parçaları için uygun olduğu sonucuna varmışlardır. Azalan kesme kuvveti delik çapının daha küçük çıkmasını sağlamıştır. Yapışma olmaması delik yüzeyinin mükemmel olmasına sebep olmuştur.

H.Y. Ueng, C.T. Guo [86]; ECR-CVD sistemi ile mikro matkaplara DLC kaplanması ile ilgili çalışmalar yapmışlardır.

Mikro matkaplar üzerindeki çok katmanlı Ti/TiN/TiCN/DLC kaplama, hibrit bir PVD-ECRCVD kaplama sistemi tarafından yapılmıştır (HBS900). DLC' nin yapışma kuvvetlerini arttırmak amacıyla mikro matkaplara ilk olarak Ti/TiN/TiCN kaplaması yapılmıştır. Buna müteakiben kuru yağlayıcı özelliğine sahip amorf yapıdaki DLC kaplama ECRCVD plazması tarafından aynı hassaslıkta kaplanmıştır. Delme işlemleri için tercih edilen sert/yumuşak katmanların kombinasyonu (TiN/TiCN/DLC), talaş akışını hızlandırmakta, sürtünme katsayısını düşürmekte ve kesme kuvvetlerini azaltmaktadır. Maliyeti düşürme açısından ele alındığında Ti/TiN/TiCN/DLC çok katmanlı kaplamaları, teknik olarak bu amaca en iyi hizmet eden kaplamalardır. İşlevsel olarak düşünüldüğünde, mikro matkaplara yapılmış DLC kaplama ile delinen delik kaliteleri incelendiğinde kaplanmamış matkapla delinen deliklere kıyasla çok daha iyi neticeler elde edilmiştir. Ayrıca matkap ömürleri 2,5 kat gibi önemli bir artış göstermiştir. DLC kaplamalı mikro matkapların delme verimi ölçülmüştür.

Matkap ile delinen deliğe göre değerlendirme yapıldığında, delik içinde meydana gelen hasar ile birlikte yüzey pürüzlülüğü de hesaba katılmalıdır. Yüzey pürüzlülük tepcikleri, her zaman işlenen yüzeydeki hasar miktarını belirlemek adına dikkate alınmıştır ve işleme prosesi parametrelerinin yüzey kalitesine olan etkisini belirlemek için ölçülmüştür. Delik yüzey kalitesine etki eden faktörlerden biri de uygun olmayan matkap ucu tasarımıdır. Buna kısa kanal ve gövde uzunluğu, uygun olmayan matkap ucu geometrileri, geniş tolerans boşlukları, uygun seçilmemiş volfram karbür malzeme, v.s ilave edilebilir. Optimum delme koşullarını saptıran diğer durumlara örnek olarak uygun olmayan talaş kalınlığı değeri, uygun olmayan kademeli delme ve çok derine dalma gösterilebilir. Bu kusurlar, matkap ucu ile delik yüzeyi arasındaki temas bölgesini arttırarak sıcaklık yükselmesine sebep olur. Eğer



ısı dağılımı da yeterli düzeyde olmazsa matkap uçlarının aşınma hızında artma olacak ve sonuç olarak matkabin kesici kenarlarında hasar meydana gelecektir. Toplamda delinen delik sayısı arttıkça matkap aşınması da artacak, yüzey pürüzlülüğü değerinde kötüleşme gözlenecek ve sonuç olarak delinen delik kalitesi önemli ölçüde düşecektir.

Bu delme işleminde 0,4mm çapına sahip mikro matkap aynı işleme koşullarında çalıştırılmıştır. Mikro matkaba ait ucun ömrü deliğin yüzey pürüzlülük değeri incelenerek belirlenmiştir. FR-4 tipi baskılı devre kartları (PCB) üretiminde TiN ve DLC kaplı mikro matkapların performansı, kaplamasız matkaplarla kıyaslanarak ölçülmüştür. Kaplanmamış matkaplarla 2500 delik delince, matkap ömrü sona yaklaşmıştır. Delik kalitesi kriteri baz alınarak, delinen deliklerin yüzey kalitesi gibi değerler incelenmiş ve değerlendirilmiştir. Delme işlemi süresince matkap, fiberglas içerikten ve epoksi yapışkanından ötürü hem aşındırıcı gerilemelere hem de yapışma gerilmelerine maruz kalır [87]. Matkap incelendiğinde, delme işleminden sonra mikro matkaba ait kesici kenarların hasar gördüğü fark edilmiş ve matkapta az miktarda bakır ile fiberglas artıkları gözlenmiştir ve eğer 2500 delikten fazla delik delinmişse mikro matkaba ait kesme kenarlarında aşınma olgusu gündeme gelmiş, matkabin kesici kenarlarında sıyrıklar ve yapışan partiküller gittikçe artmıştır. Mikro matkaba ait aşınma arttıkça yüzey pürüzlülüğünün de artacağı ve sonuç olarak delik kalitesi önemli ölçüde düşeceği kanısına varılmıştır.

Kaplanmamış matkaplardan üstün olarak TiN kaplı matkaplar yüksek performans göstermiş ve 4500 delik delmiştir. TiN kaplamanın mükemmel dayanım ve yüksek sertlik özelliği sayesinde delme esnasında matkap aşınmaya karşı ve yapışmaya karşı korunmuştur. Bundan dolayı TiN kaplamalı mikro matkaplar takım aşınmasını azaltma hususunda etkin role sahiptirler (matkap kanalının aşınmasında ve kesme kenarının aşınmasında azalma). TiN kaplama bu avantajlar sayesinde daha iyi kesme kabiliyeti ve daha uzun takım ömrünü mümkün kılar. TiN ile kaplanmış keskin takım kenarları işlenebilirlik etkinliğini artırır ve makul bir güç sarfiyatı ile düzgün yüzeylerin elde edilmesini sağlar [88,89]. DLC ile kaplanmış takımlara, TiN kaplı takımlardan daha fazla olarak, 7000 delik delmek mümkündür, takım ömrü bu sayıya müsaade eder. Sert kaplamaların sağlamış olduğu bu yüksek delik sayısının dışında, uzun takım ömrüne katkı sağlayan diğer bir sebep ise fiberglas ve bakır

(Cu)'dır. Bunlar, kanal üzerinde DLC kaplamanın düşük sürtünmesinden de yararlanarak kolayca kayarlar. Dikkat edilmesi gereken bir nokta ise şöyledir; kanal üzerindeki sert kaplamalar genellikle ciddi bir pürüzlülüğe sahip olur. Bu yüzden, delme işlemi esnasında uzun takım ömründen bahsedebilmek için DLC kaplamanın düşük sürtünme özelliğinden faydalanılmıştır. Böylece iş parçasından kaldırılan talaş çok daha kolay bir şekilde kayacaktır [90], yüksek kaliteli deliklerin neredeyse tamamı DLC kaplı mikro matkaplarla elde edilmiştir. Bu DLC kaplama matkaba iyi yağlayıcılık özelliği katmış ve soğutucu gereksinimini minimum değerlere çekmiştir. Ayrıca DLC kaplama iş parçasının yapışmasını ve takıma kaynamasını engeller [91]. Diğer bir taraftan, dipten uca kadar gittikçe incelen DLC tabakası etkin bir biçimde matkap yüzeyi ile delik çeperleri arasındaki delme sürtünmesini azaltmıştır. Böylece delme kalitesi ve delme verimi artmıştır.

Baskılı devre kartları üzerinde düşük sürtünme özelliği sağlanmış ve bu sayede verimlilik artmıştır. Ayrıca delikler için lehimleme işleminden önce yapılan çapak alma gibi işlemlere gerek kalmamıştır. Bütün bunlar da üretim sürecini kolaylaştırmıştır. H.Y. Ueng, C.T. Guo [86] yaptıkları çalışmada Hibrit bir kaplama prosesi ve bu prosese ait bileşenler başarılı bir şekilde geliştirilmiş, mikro matkaplar üzerine sert/yumuşak kaplamalar PVD ve ECRCVD yöntemleriyle kaplanmıştır. Sert/yumuşak olan ve birçok katmandan meydana gelen bu kaplama Ti/TiN/TiCN sert katmanından ve yağlayıcı özelliğe sahip orta sertlikteki DLC kaplamadan meydana gelmiştir ve düşük sürtünme katsayısına sahiptir. Bütün proses boyunca, Ti/TiN/TiCN/DLC çok katmanlı kaplamalarını kullanabilmişlerdir. PCB üzerinde işaretlenmiş olan delikler delinirken düşük sürtünme özelliği sağlanabilmiş ve bu sayede verim artışı sağlanmıştır.

Leonello Zaquini ve Patrik Reusser [92] delme işleminde kaplamasız ve DLC kaplamalı matkaplar kullanarak %7 Si içeren alüminyum ve pirinç (Cu-Zn38Pb2) malzeme üzerine delme işlemi gerçekleştirmişlerdir. Kistler 9271 dinamometre ile kuvvetleri hesaplamışlardır.

- Çap 6mm matkap için kullanılan işlenecek malzeme %7 Si içeren alüminyumdur.
- Çap 1mm matkap için işlenecek malzeme pirinç (Cu-Zn38Pb2)'dir.

**Tablo II.6** Kullanılan Kesici Takımlar

Çap	Z (kesici ağız)	Takım numarası	Kaplama Türü
6	2	6	Kaplamasız
6	2	6	DLC
1	2	6	Kaplamasız
1	2	6	DLC

Özgül enerjiyi (spesifik enerjiyi) hesaplamaya çalışmışlardır.

$$W_c = \frac{P_C}{Q} \quad (II.35)$$

Ortalama tork değeri ve eksenel kuvvetler ölçüldüğü zaman, spesifik enerji saptanır. Burada PC kesme gücü (N.mm/min), Q; birim zamanda kaldırılan talaşın hacmi (mm<sup>3</sup>/min).

$$W_c = \frac{(F_z \cdot V_f + M_e \cdot 2\pi \cdot n)}{V_f \cdot \pi \cdot \frac{D^2}{4}} \quad (II.36)$$

M tork [ Nmm],F<sub>Z</sub> eksenel kuvvet [N],h<sub>o</sub> talaş derinliği [mm],b talaş genişliği [mm]. W<sub>c</sub> ise Özgül enerji [N/mm<sup>2</sup>].

Ø6 kaplamasız takım, delik derinliği 12mm, işlenecek malzeme %7 Si içeren alüminyum alaşımı seçilerek yapılan işlemde aşağıdaki Tablo II.7 sonuçlarındaki özgül enerji değerlerine ve eksenel kuvvete ulaşılmıştır.

**Tablo II.7** Ø6 HSS Kaplamasız Takımla Elde Edilen Özgül Enerji Değerleri

Vc [m/min]	n [dev/min]	f [mm/dev]	Vf [mm/min]	Fa[N]	M [Ncm]	Wc [N/mm <sup>2</sup> ]
80	4244	0.1	424	506	62.5	1406.78
80	4244	0.15	637	632.74	70.81	1071.42
80	4244	0.2	849	770.5	136.51	1544.03
100	5305	0.1	531	487	66	1483.89
100	5305	0.15	796	624.25	83.25	1255.41
100	5305	0.2	1061	794	94.477	1077.83
100	5305	0.25	1326	881.7	121.8	1113.85
125	6631	0.1	663	487	65.74	1478.11
150	7958	0.1	796	480.65	68.57	1540.78
150	7958	0.15	1194	596.94	86.22	1298.45
150	7958	0.2	1592	701	112.87	1278.90
190	10080	0.1	1008	581	97.75	2192.77

Vc =80 m/dak kesme kuvveti hariç, özgül enerjide 0,2mm ilerleme ye kadar azalma olmuştur. Kesme hızının Vc=80 m/dak ve ilerlemenin f=0,2 mm/dev olduğunda özgül enerjideki artış, belki boşluk açısının eksikliği nedeniyle olabileceği varsayılmıştır.

Kaplamalı Ø6 DLC takımında alınan değerler ve bulunan değerler Tablo II.8'de verilmiştir.

**Tablo II.8** Ø6 DLC Kaplamalı Takımla Elde Edilen Özgül Enerji Değerleri

Vc [m/min]	n[dev/min]	f [mm/dev]	Vf [mm/min]	Fa[N]	M [Ncm]	Wc [N/mm <sup>2</sup> ]
80	4244	0.1	424	235.64	41.119	922.09
80	4244	0.15	637	296.62	57.95	869.01
80	4244	0.2	849	366.7	75.37	850.41
80	4244	0.25	1061	444	98.6	892.15
100	5305	0.1	531	247.81	42.1	944.32
100	5305	0.15	796	320	58.7	880.95
100	5305	0.2	1061	450.18	74.75	846.48
100	5305	0.2	1061	478.65	76.214	863.75
100	5305	0.25	1326	572.24	121	1095.79
150	7958	0.1	796	247.53	46.5	1042.09
150	7958	0.15	1194	321.28	59.87	898.33
150	7958	0.2	1592	439.075	81.43	920.31
190	10080	0.1	1008	244	36.4	817.52
190	10080	0.15	1512	354	66.57	998.74

Bu çalışmaya göre araştırmacılar DLC kaplamalı takımın aksenal kuvvetlerinin ortalamasının kaplamasız matkaptan 2.5 kat daha düşük olduğunu gözlemlemişlerdir. DLC kaplı takımında BUE meydana gelmemiştir, kaplamasız takımında talaş yapışması

meydana gelmiştir. DLC kaplamalı takımın aşınması kaplamasızına göre düşük çıkmıştır.

Kalidas [93] farklı matkap kaplamaların, kuru ve ıslak delme şartları altında gösterdiği performansı ve delinen deliğin yapısı ve kalitesi üzerine etkisini deneysel olarak incelemiştir. Kalidas, termokupl yöntemini tercih eden araştırmacılardandır. Termokupl'u silindirik iş parçası üzerinde değişik noktalara açtığı deliklere yerleştirmek suretiyle değişik noktalarda matkap uç noktasına 1,27 – 2,54mm kadar yaklaşmayı başarmıştır.

Rivero [94] değişik kaplamalı matkapların kuru delmedeki performansını araştırmıştır. Rivero, yaptığı deneysel çalışmada Termokupl yöntemini kullanmıştır.

Sıcaklık ölçümünü gerçekleştirmek için iş parçası içerisine Termokupl yerleştirerek matkap uçuna 0.2mm kadar yaklaşmayı başarmıştır. Diğer bir sıcaklık ölçüm metodu olan pirometre ile de sıcaklık ölçümünü gerçekleştirdi. Rivero ayrıca değişik kesme parametrelerinin sıcaklık değişimine tesirini de araştırmıştır. Tüm bu deneylerde kullanılan matkapların kaplama malzemesi olarak ise Balinit Hardlube ve Balinit Triton DLC kullanılmıştır.

Nouari [95] alüminyum alaşımı kuru delmede kesici takım aşınmasının deneysel olarak analizini ve optimizasyonunu yapmıştır. Kesme parametrelerinin delik kalitesine tesirini inceleyerek, alüminyum malzeme için optimal kesme hızının  $V= 65$  m/dak olduğu sonucuna ulaşmıştır. Ayrıca deliğin ortalama yüzey pürüzlülüğünü, çapak boyunu ve sapmalarını da kesme parametrelerine bağlı olarak incelemiştir. Ayrıca değişik kaplama türlerinin delik kalitesine tesirini de inceleyen Nouari, kaplamaların işleme kalitesini ciddi mahiyette etkilemediğini ortaya koymuştur.

Zeilmann [96] Tİ6A14V iş parçasının delinmesi esnasında karbür matkabın ulaşabileceği maksimum sıcaklığı Termokupl yöntemini kullanarak araştırmıştır. Zelimann deneyinde değişik kaplamalı (TİALN, CrCN ve TİCN)karbür matkapları kullanmıştır. Çalışmasındaki temel gayenin, minimum yağlama miktarı şartlarında değişik kaplamaların sıcaklığını değerlendirmek olduğunu belirtmektedir. Termokupl ile kesici takım arasında 0,2mm mesafe vardır.

Kelly [97] çalışmasında değişik kesme sıvılarını minimum seviyede kullanmış veya kuru delme yapmıştır. Çalışmasında iş parçası olarak Alüminyum alaşım

kullanan Kelly, sıcaklık ölçme metodu olarak ise termokupl kullanmıştır. Termokuplu alüminyum malzemeye gömerek, kesici takımın dış çapına yaklaşık 0,2mm kadar yaklaşmış ve delme esnasında kesici takım dış çapında oluşan sıcaklığı, iş parçası sıcaklığını değerlendirmiştir. Ayrıca finiş yüzeyini ve delinmiş deliğin doğruluğunu da incelemiştir.

Longbottom [98] çalışmasında talaşlı imalatta kullanılan sıcaklık ölçüm yöntemlerinden bazılarını karşılaştırmıştır. Özellikle termokupl ile temassız (termal kamera) ölçümü karşılaştırmıştır. Longbottom'a göre temassız ölçüm daha iyi sonuç vermektedir

Wan [99], çalışmasında, hızlı talaş kaldırmada sıcaklık ölçümünü ve sıcaklık ölçüm metotlarını incelemiştir. Wan'a göre sıcaklık ölçüm metotları;1-Termokupl-kesici takım iş parçası termokupl, gömme termokupl, kombinasyon termokupl, 2-Optik kızılötesi pirometre, 3-kızılötesi fotoğraf, 4-Termal boya (thermal paints), 5-mikroyapısal veya mikrosertlik gözlem şeklinde gruplandırmıştır. Bu yöntemlerin avantajlarının yanı sıra kısıtlamalarının da olduğunu belirtmektedir.

Lazoğlu [100], çalışmasında delme işleminin mekanik ve dinamik hareketi esas olarak, kesme kuvvetleri ve delik kalitesinin tahmini için matematik model geliştirmiştir. Yapısal dinamik modüllerle mil ve modele entegre edilen takım sisteminin titreşimlerini delik kalitesini tahmin etmek için ölçmüştür. Böylece, kuvvetleri tahminin yanı sıra, delinmiş deliğin 3 D modelinin belirlenmesi ve görülmesini sağlayarak ilaveten imalat ve tolerans limitlerini en uygun şekilde seçilmiştir. Teorik model sonuçları ile ölçülen kuvvetleri ve Bilgisayar Destekli Koordinat Ölçme Aleti (CMM) ile delik profilini doğrulamak için çok sayıda deney yapmıştır. Sonuç olarak model tahminleri ile kuvvetler ve CMM ölçümleri arasında ciddi farklılık çıkmadığını ifade ettiği sonucuna ulaşmışlardır.

Mohan [101] çalışmasında cam elyaf takviyeli kompozit malzemenin delinmesi esnasında kesme parametrelerinin kesme kuvvetleri ve torca tesirini araştırmıştır. Bu çalışmada Taguchi optimizasyon metodolojisini kullanarak cam elyaf takviyeli kompozit malzemeler için kesme parametrelerini optimize etmiştir. Modan çalışmasında dataları toplamak ve analiz etmek için MINITAB14 yazılımını kullanmıştır. Çalışmadan elde ettiği datalara dayanarak; delmede torca tesir eden en önemli parametrelerin iş parçası kalınlığı ve matkap çapı olduğunu ifade etmiştir.

Strenkowski [102] spiral matkap ile delik delme esnasında oluşan itme kuvveti ve torku tahmin etmek için analitik sonlu elemanlar tekniği geliştirmiştir. Bu yaklaşım; kesici uçtaki kesme kuvvetlerini, eğik kesme davranışı gösteriyor olarak kabul etmekte ve radyal bölgedeki kesme davranışını ise dik kesme davranışı olarak kabul etmektedir. Her iki kısımdaki itme kuvveti ve torklar birleştirilmiş ve böylece toplam kuvvet belirlenmeye çalışılmıştır. Tahmin edilen ve ölçülen, itme kuvveti ve torklar arasındaki fark oldukça azdır. Bu çalışmada AISI 1020 çeliği değişik çaplarda, değişik kesme hızlarında ve ilerlemelerde delinmiştir. Ayrıca bu çalışmada matkabın sıcaklığının tahmini de izah edilmiştir. Dik kesmede talaş açısı değerleri; -30, -15, 0, 10,20 ve 30 tercih edilmiştir. Tüm takımların kesici ağız serbest açısı  $10^\circ$  seçilmiştir. Yatay da ise talaş açısı sıfır derece ama eğim açısı ise 5, 15, 25, 35 ve 45 seçilmiştir. Strenkowski'nin çalışmasından elde ettiği datalar incelendiğinde; Talaş açısı arttığı zaman, itme kuvveti (düşey)'nin azaldığı ve matkap çapı arttığı zaman ise delmedeki itme kuvveti'nin arttığı görülmektedir.

Onwubolu [2], yaptığı çalışmada yüzey tesir metodolojisi yöntemini temel olarak, kesme hızı, ilerleme ve matkap çapı gibi delme kontrol parametrelerinin aksenal kuvvet ve torka tesirini tahmin etmek için matematiksel model geliştirmiştir. Matematiksel modeli geliştirmek için Microsoft Excel regresyon analiz modülünü kullanmıştır. Bu parametrelerin delmede optimal kullanımı sonucunda aksenal kuvvet ve torkta önemli ölçüde azalma meydana geleceğini vurgulamaktadır.

Bakkal ve Shih [103] çalışmalarında zirkonyum esaslı cam elyafli kompozitin delinmesi esnasında oluşan kesici takım aşınması, tork ve itme kuvvetini araştırmışlardır. Bu malzemenin yüksek hızlarda delinmesi esnasında talaştan ışık yayılması, kesici takımın aşırı ısınması ve aşınması meydana gelmiştir. Kesici köşelerde BUE meydana geldiği gözlenmiştir. Ki buda kesmeyi zorlaştıracığı için daha fazla kesme kuvvetine ihtiyaç duyulmaktadır. Kesici takım kaplaması olarak WC-Co kullanılmıştır. Ayrıca daimi aşınma ve BUE in tesiri incelenmiştir.

Bakkal ve Shih'in [103] en önemli bulgularından biri ise ışık saçan talaş ile beraber takım aşınması çok olmaktadır. Fakat talaş rengi ışık saçmayacak olursa, takım aşınması yine olmasına rağmen aşırı olmamaktadır şeklinde bir yorum getirmektedirler.

Hızlı delik delmede kesme kuvvetleri ile ilgili literatür araştırmasında yapılan çalışmaların bir kısmı ve araştırma konuları;

Matkap ile delik delmede kesme kuvveti ve tork'un incelenmesi ve araştırılması yukarıda atıf yapılan çalışmalarla sınırlı olmamakla beraber bu çalışmalara paralel birçok çalışma literatürde mevcuttur. Bu çalışmalardan farklı olabilecek yönü ise kullanılan iş parçası olmaktadır. Özellikle kompozit malzemeler, alüminyum alaşımlar, süper alaşımlar vb. malzemelerin delinmesi esnasında oluşan kesme kuvveti ve torklar incelenmiş bu parametrelerin delik kalitesine etkileri araştırılmıştır.

### **II.9.2. Metal Kesmede Sıcaklığa Tesir Eden Faktörler ve Sıcaklık Ölçme Yöntemleri**

Bu araştırma alanında sıcaklık tahmininden ayrı olarak, sıcaklık ölçümü yapmak daha zor ve emek isteyen bir iştir. Çünkü kesme köşesine çok yakın yerlerde sıcaklık ölçümü yapmak çok zordur. Sıcaklığın birincil etkisi takım aşınması üzerinedir. Farklı takım aşınma mekanizmaları olmasına rağmen, genel olarak sıcaklığa bağımlı mekanizmaların kademeli olarak takımı aşındırdığı bilinir. Diğer taraftan, takım ömrü takım yüzeylerindeki maksimum sıcaklık değerleriyle belirlenir. Takımdan ayrı olarak sıcaklık ve sıcaklık gradyeni (değişimi), alt ve ara yüzeylerde deformasyona, işlenen yüzeyde metalürjik yapı değişimlerine ve parçada artık (kalıntı) gerilmelere sebep olur. Diğer bilinen bir problem ise düşük ısı iletim katsayısına sahip metallerin kesiminde gerçekleşmektedir. Ör: Titanyum (Ti). Titanyumun ısı iletim katsayısının düşük olması kesme işlemi esnasında üretilen ısının küçük bir kısmının talaşa, büyük kısmının ise takıma transfer edilmesi anlamına gelir ve bu da takımda termal (ısı) gerilmeler oluşturur. Termal (ısı) gerilmenin bir sonucu olarak takımda yorulma, çatlaklardan dolayı aksama ve aşınma daha sık olur. Bazen sıcaklık takımdaki kristal bağlama (atomlar arası bağlanma enerjisi) sınırlarını aşabilir ve bu takımın hızlı aşınmasına sebep olur çünkü takımın yapıldığı malzemenin kristalleri arasındaki bağ hızla kaybolmaktadır. Sert tornalama işlemlerinde (>45 Rockwell C), iş parçasının yüksek sertlik değerlerinden ötürü, yüksek sıcaklık ve yüksek mekanik gerilmeler meydana gelir ve bu takımın erken aşınmasına sebep olur. Takımın aşınması sadece takım ömrünü kısaltmakla kalmaz,



aynı zamanda kalıntı gerilmeleri arttırır ve yüzey kalitesine olumsuz etki eder, yüzeyde beyaz kat hatası oluşturur [104].

İşleme operasyonlarında sıcaklığı ölçmek maksadıyla çok sayıda deneme yapılmıştır [105]. Termokupl kullanılarak ölçüm yapma deneysel çalışmalarda en fazla kullanılan yöntemdir. Termokuplların temel çalışma prensibi şöyle açıklanabilir: Termokupllar iki farklı metal esaslı telin birleşme noktalarındaki sıcaklık farkına göre bir çıkış voltajı üretirler. Genel olarak iki tip termokupldan bahsetmek mümkündür; gömülü termokupllar ve dinamik termokupllar [104]

Kitagawa [106], alüminyum oksit kaplı volfram tel ile karbür girdileri arasında bir mikro termokupl yapmıştır. Yerel sıcaklıkları ölçmek için termokupla ait tel bağlantı noktaları takım yüzeyinde ve takım içinde yer almıştır. Seramik bir takımla kesilen inconel 718 (nikel bazlı süper alaşım) için, 150 m/dak'lık kesme hızında 1200<sup>0</sup>C ye yakın sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Grzesik [107], iş parçasına gömülü tipte olan standart bir K tipi termokupldan yararlanarak ara yüzey sıcaklıklarını ölçmüştür. Orta düzeyde karbon içeren çelikler ve ostenitik ( $\gamma$ ) paslanmaz çeliklerin, yüksek hızlardaki işleme proseslerinde kullanılması durumunda, minimum ara yüzey sıcaklığını elde edebilmek adına bazı ideal kaplama yapıları tercih edilmiştir. Bununla birlikte, iş parçası materyalinin ve takım kaplamasının uygun seçilmesine rağmen en üst tabakada yer alan kaplamanın ısıl bariyer etkisi gösterdiği de rapor edilmiştir.

O'Sullivan Ve Cotterel [108], iş parçası içinde iki termokupl kullanarak alüminyum 6082-T6'nın tornalanması esnasındaki sıcaklığı ölçmüşlerdir. Artan kesme hızının, yüksek talaş kaldırma kabiliyetine bağlı olarak, işlenen yüzeyde sıcaklık düşmesine sebep olduğunu saptamışlardır. Ve bu, talaşların daha fazla ısı taşınması sonucunu doğurmuş ve böylece iş parçasına daha az ısı iletilmiştir. Ayrıca, işlenen yüzeydeki sıcaklık artışının takım aşınmasına sebep olduğunu bildirmişlerdir. Ay [109], bir takımın üç yüzeyinin kenarlarına 9 adet K tipi hassas termokupl konumlandırmıştır. Aşınma ilerlemesinin, sürekli bir sıcaklık artışıyla birlikte aşınma prosesini hızlandırması amaçlanmıştır. Diğer taraftan, talaş geometrisinin bölgesel olarak kararlı hal sıcaklıklarına etki ettiği saptanmıştır. Termokuplların pahalı olmamaları ve kolay kullanılabilir olmalarına karşın, ısı akışını engellemeleri ve sınırlı ölçüde geçici rejim tepkisi vermeleri, sıcaklık gradyeninin (değişiminin) ölçülmesinin zorluğu gibi dezavantajları da bulunmaktadır. Termokupllara ilaveten,

kızılötesi ışınım (IR) teknikleri vasıtasıyla sıcaklık ölçme muhtemelen işleme operasyonlarında kullanılan ikinci en yaygın yöntemlerdendir. IR tekniğinde, yüzey sıcaklığı gövdeden yayılan termal enerjiye dayanılarak ölçülür. Sıcaklık alanı ölçümlerinde kullanılan IR tekniği, infrared (kızılötesi) ışın yayınımına duyarlı filmlere veya çiplere sahip kameralar yardımıyla yapılır [104]. Dewes [110], sertleştirilmiş çeliğin yüksek hızlarda işlenmesi esnasında açığa çıkan ısıyı ve buna bağlı olarak sıcaklığı ölçmek için bir IR kamera sistemi ve bir termokupl sistemi kullanmıştır. IR tekniğinin termokupl tekniğine göre daha düşük sıcaklıklar tespit ettiğini rapor etmiştir

Muller ve Renz [111], ve Lazoğlu [104], yüksek bölgesel kararlılığa sahip, hızlı fiber optik sistemli iki renkli pirometre (yüksek ısı termometresi) kullanarak bilinmeyen yayınımına sahip yüzeylerin ölçümünü yapmışlardır. Pirometre (yüksek ısı termometresi) bir tornalama işleminde kullanılmış ve fiber optikler sıcaklığın ve kesme hızının aşınmaya olan etkisini incelemek adına farklı ölçüm konumlarına imkan tanımıştır. Ming [112], yüksek hızlı frezeleme işleminde takım/talaş ara yüzey sıcaklıklarını ölçebilmek için uzak sensör tipinde bir pirometre kullanmıştır.

C.Dinc, I.Lazoglu, A.Serpengüzel [104] yaptıkları çalışmada dikey işleme prosesi için takımlardaki sıcaklık değişimini inceleyen yüksek hassasiyetli kızılötesi kamera vasıtasıyla daha önce geliştirilen sonlu fark sıcaklık tahmin modelinin geçerliliği araştırmışlardır. Termal deneyler iki farklı malzeme ile gerçekleştirilmiştir. Deneyler 2mm et kalınlığına sahip boru şeklindeki iki farklı malzemeyle gerçekleştirilmiştir, bunlar 7075 alüminyum ve AISI 1050'dir. Amerika demir ve çelik kurumu standartları (AISI) Kesici takım olarak Sandvik firmasının volfram karbür alaşımlı takımları kullanılmıştır (Model: N123K2-0600-0002-BG H13A), herhangi bir kaplama söz konusu değildir. Deneylerde farklı geometrilere sahip iki grup yer almıştır; ilk grupta  $6^{\circ}$  eğim açısı olan takımlar ve ikinci grupta  $8^{\circ}$  eğim açısına sahip olan takımlar yer almıştır. Farklı kesme hızlarında ve ilerleme oranları kullanılarak testler gerçekleştirilmiştir. Termal deneyler için kızılötesi kamera tertibatından yararlanılmışlardır. Yüksek hassasiyetli kızılötesi kameradan elde edilen sıcaklık ölçüm sonuçlarını, sonlu fark sıcaklık tahmin modeli sonuçlarıyla (takım/talaşın ara yüzeylerinde maksimum ve ortalama sıcaklık değerleri, takım yüzeyindeki sıcaklık dağılımı göz önünde bulundurularak) kıyaslamışlardır.

Takım/talaş ara yüzeyindeki maksimum sıcaklığın, artan kesme hızı ve ilerleme oranı değerleriyle birlikte arttığı görülmüştür. Takım eğim açısı ile takım/talaş ara yüzeylerindeki maksimum sıcaklık arasındaki ilişkinin ayırt edici olmadığı belirlenmiştir. Deneysel sonuçların simülasyon sonuçlarına uyum sağladığını saptamışlardır.

Delme esnasında Matkapta oluşan sıcaklığı tahmin etmek için Hervey ve Cook [113] matkabın kesici kenar boyunca oluşan ortalama sıcaklığını tahmin için model geliştirmiştir. DeVries [114] ise kesici ağız boyunca oluşan sıcaklığı tahmin için oldukça karmaşık bir analitik model geliştirmiştir. DeVries'in yaptığı bu çalışma Agapiou ve DeVries [115] tarafından tekrar irdelenerek spiral matkap ucunda (kesici ağız ve talaş yüzeyindeki) geçici sıcaklık dağılımının analitik modelini geliştirmişlerdir. Bu model takım talaş ara yüzündeki talaşın sıcaklığının hesaplanması temeline dayanır. Elde ettikleri bu sonuçları [116] deneysel çalışmalarında elde ettikleri verilerle karşılaştırmışlardır.

Agapiou ve Stephenson [117] yeni bir model geliştirmiştir ki bu modelde geçici ve sürekli sıcaklık dağılımı gelişigüzel nokta geometrisinde hesaplanmıştır. Burada genel olarak; takımı, yarı sonsuz yapı davranışı olarak kabullenmek vasıtası ile ısı akışı ve sıcaklık dağılımı analitik olarak modellenmiştir. Bu modeller farklı matkap uçlarındaki sıcaklığı hesaplamakta kullanılmış ve deneysel verilerle karşılaştırılmıştır.

Birçok araştırmacı matkabın baştan başa sıcaklık dağılımlarının hesaplamak için analitik ve nümerik metotları birleştiren ve matkabın kompleks geometrisini hesaba katan modeller geliştirmişlerdir. Bu metotlar; kesici takımdaki ısının akışı için analitik denklemden hesaplanan modele, ısı akış yüklerini uygulayan matkap sıcaklığını hesaplamak için sonlu farklar veya sonlu elemanlar modelini kullanmışlardır. Bu yaklaşımın oldukça basit ve güçlü bir metot olduğu kanıtlanmıştır. Bono matkap sıcaklığı için önceki gelişmelerde birleştirilen analitik ve nümerik modellerin her birinin takım-talaş temas alanı üzerinde takım içindeki ısı akışının miktarının analizine ihtiyaç duyduğunu açıklar. Önceki modellerin her birinde, takım içerisinde ısı akışının hesaplanması iki temel adımda oluşmuştur. Birinci adımda takımın yan yüzeyindeki sürtünmeden dolayı oluşan ısının miktarı hesaplanır, yan yüzey üzerinde oluşan ısı, talaş akış yönündeki takım üzerinde ortaya çıkan kuvvetlerin bileşenleri ve talaş hızının sonucunun bir fonksiyonudur. İkinci

adımında takım ile talaş arasındaki ısı kaybı hesaplanır. Bu ısı kaybı daima Loewen ve Shaw [118] tarafından geliştirilen model kullanılarak hesaplanır. Takım için uygulanan ısı akış yükleri çoğunlukla takım içine akan ısının sürtünmesiyle yan yüzey üzerinde oluşan ısıdan veya temas alanından ayrılmayla saptanır [15].

.Matkabın kesici ağızı boyunca sıcaklık dağılımları, birbiriyle benzer özellik taşıyan önceki çalışmalarda incelenmiştir [119,115,120,116]. Her bir metot, maksimum kesme ağız sıcaklığının, matkabın temel kesme ağız ucuna yakın yerde veya üstünde oluştuğunu tahmin eder. Bu tahmin edilen sıcaklık dağılımları bazı deneysel ölçülen sıcaklık profilleriyle çelişkilidir. Çok sayıda araştırmacı ve deneysel ölçüm, sıcaklığın ya kesici kenarlar boyunca üniform olduğunu ya da maksimum matkap sıcaklığın matkabın radyal (uç) ağızının yanında veya üstünde meydana geldiğinin söyler. De Vires [119] matkap yanına gömme metodu ile radyal (uç) ağız yakınındaki sıcaklık profilini ölçmüştür. Onların kaydettiklerine göre bazı durumlarda, radyal ağızın yakınında ölçülen sıcaklıklar tahmin edilen sıcaklıklardan daha geniştir. Radyal ağızın yanında sıcaklıkları artıran düz sıcaklık profilini ölçmüşlerdir. Watanebe [121] matkap sıcaklık profilini takımla iş parçası arasına termokupl teli gömerek ölçmüş ve nispeten düz sıcaklık profilini bulmuştur. Mills ve Mottishaw [122] matkap malzemesindeki en küçük yapıların değişimlerini inceleme ile matkap sıcaklık profilini ölçmüşler ve matkap ekseninin yanında meydana gelen en yüksek sıcaklıkları bulmuşlardır [15]

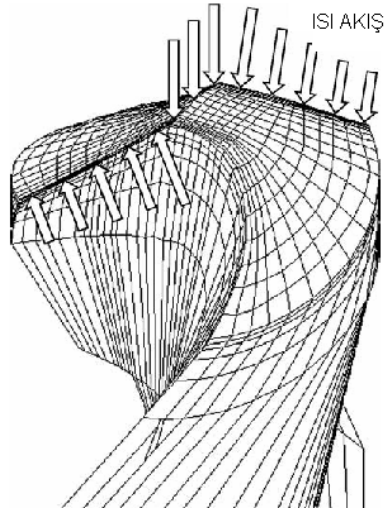
Bono ve arkadaşları [15] çalışmalarında matkaptaki sıcaklık dağılımlarını hesaplamak için sonlu elemanlar modelini kullanmıştır. Sonlu elemanlar modeli önceki çalışmalarda olduğu gibi analitik denklemden hesaplanmıştır [116,121]. Çalışmalarında ısı akış yüklerini hesaplanması için farklı metotlar geliştirmişlerdir. Kesme düzlemi üzerinde sürtünme ısısını ve ısı oluşumunu göz önünde tutmuşlardır. Geleneksel inanişâ göre matkabın maksimum sıcaklığı dış köşenin yakınında meydana gelmektedir, Bono ve arkadaşlarının [15] modeline göre aynı zamanda deneysel ölçümlere göre maksimum sıcaklık radyal ağız(uç ağız) üstünde meydana gelir. Bu sonuç bazı matkapların tasarlanmasında önemlidir. Performans problemleri daha fazla matkap sıcaklığına bağlıdır. Matkabın dış köşesinin tasarımının değişmesiyle, alüminyumun kuru delme işleminde yığılmanın meydana gelmesi bu duruma bir örnektir. Bononun araştırması matkabın uç ağız (radyal)

kısımının tasarımının maksimum matkap sıcaklığı üzerinde büyük etkilere sahip olduğunu gösterir.

Bono ve arkadaşlarının [15] yaptığı çalışma Alüminyum 319 iş parçasında deliği işleyen Ø9.22mm HSS matkabın durumunu inceler. Matkaptaki sıcaklık dağılımı sonlu elemanlar modeli ABAQUS standardı ile hesaplanmıştır. Uygulanan model şekilde gösterilir. Şekildeki matkaptaki ısı oluşumu, esas kesici kenarlar ve uç ağızı üzerindeki ısı akışıyla modellenmiştir.

Modelin diğer tüm yüzeyleri adiabatiktir. Çünkü matkap sıcaklığı ucun yanında artar fakat kalıntılar nispeten kesici kalem sapında sabittir. Sıcaklık geçişlerinin geniş olduğu matkap ucunda sıcaklık dağılımları küçüktür. Sıcaklık geçişleri matkap kesici kenarlarından uzaklaştıkça azalır böylece daha geniş sıcaklık dağılımları matkabın geri kalan kısımlarında kullanılır. Kesinlik için, Isı akış yükleri uygun büyüklükteki alan üzerinde uygulanır, uç ağız ve esas kesici ağzın yan yüzeyi üstündeki dağılımların büyüklüğü her bir temel kesici takımdaki talaş ile takım arasındaki temas uzunluğunun hesaplanmasına dayanılarak belirlenir.

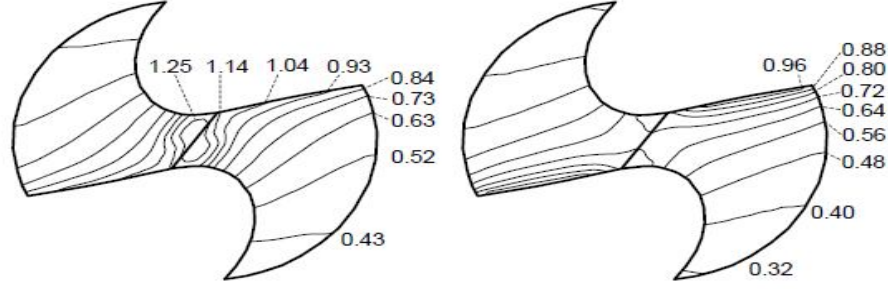
İş parçası içerisine matkabın ilk girişi esnasında matkap tam olarak devreye girmez, sadece matkabın bir bölümü kesme yapar.



**Şekil II.31** Isı Akış Yükleri ve Matkabın Sonlu Elemanlar Modeli [15]

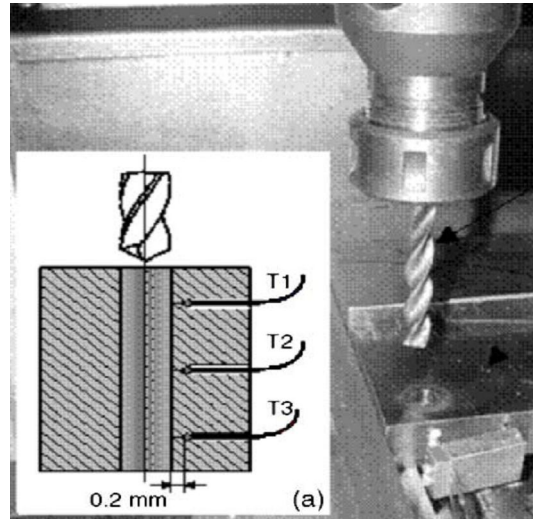
Bono ve arkadaşları [15] delme işlemi boyunca matkaptaki sıcaklık dağılımlarını hesaplayan model geliştirmiştir. Bu modelde matkap için uygulanan ısı akış yükleri hesaplanmıştır. Çalışmalarında devir başına ilerleme 124 µm, 998 hız

(dev/dak), derinlik 25mm, malzeme Alüminyum 319 kullanılarak Ø9.92 HSS matkabını analiz etmişlerdir. Radyal (uç) ağızda yükselmiştir. Tahmini model ve gerçek ölçümler karşılaştırıldığında maksimum sıcaklığın radyal ağızda meydana geldiğini görmüşlerdir. Radüslü kısımlarda sıcaklık azalır ve kesme ağzın sonuna yakın yerlerde minimum değere ulaşır.

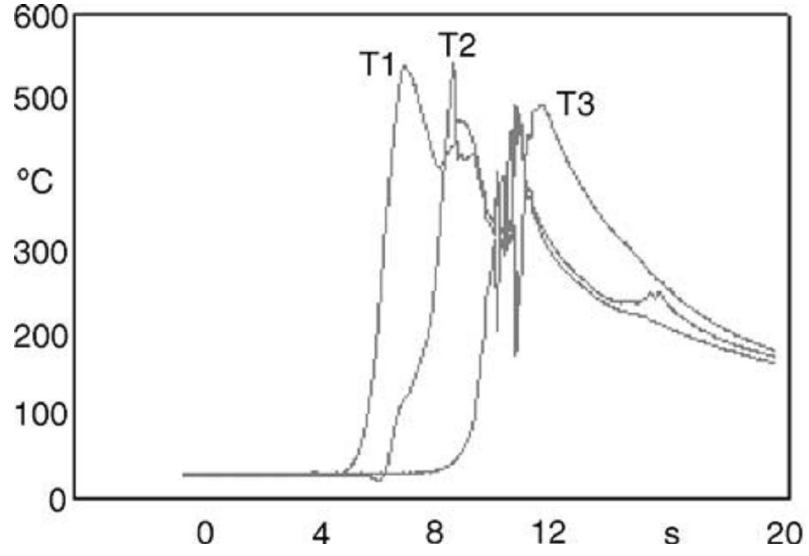


**Şekil II.32** Isı oluşumu denklemlerinden II.30 ve II.34 kullanılarak 25mm derinlikteki deliği delme esnasında matkap ucundaki tahmini normalleştirilmiş sıcaklık dağılımları [15]

Rodrigo Panosso Zeilman ve Walter Lindolfo Weingaertner [123] çalışmalarında kuru delme ve minimum yağlama miktarı (MQL) ile Tİ6Al4V malzeme üzerine çeşitli matkaplarla (kaplamasız, TİAlN, CrCN, TİCN) delik delmişlerdir. K tipi termokupulları delik duvarına 0,2mm kalacak şekilde yerleştirmiş ve oluşan sıcaklıkları ölçmüşlerdir.

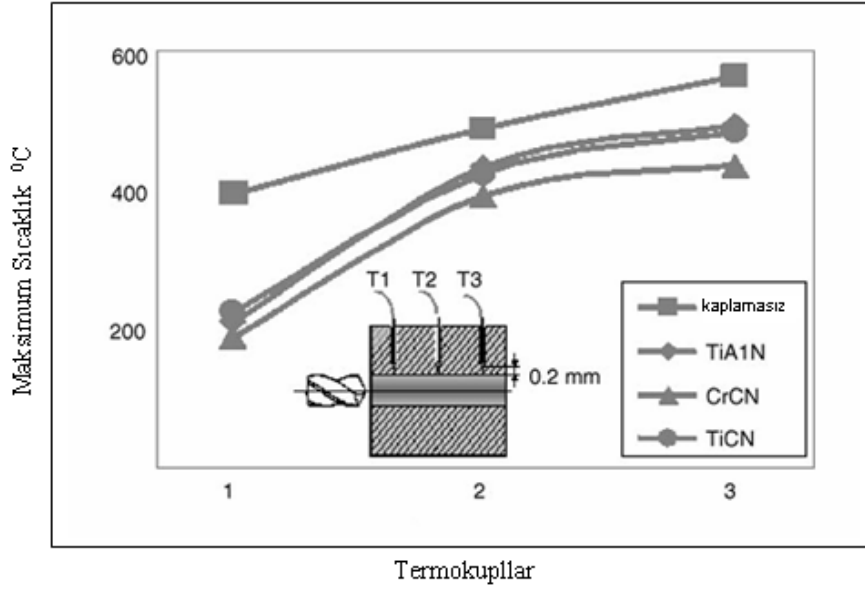


**Şekil II.33** Deney Düzenegi [123]

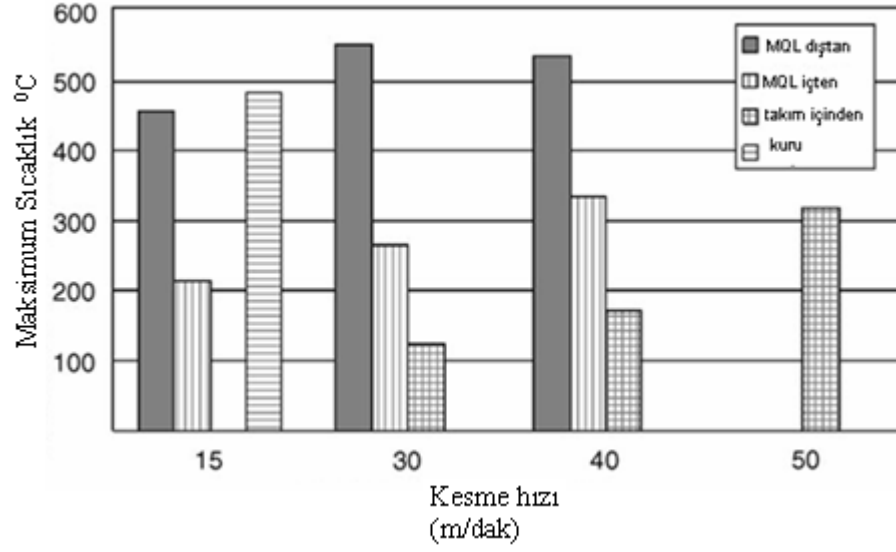


Şekil II.34 Kuru Delme İşleminde Sıcaklık Davranışı[123]

Kuru delme işleminde TiAlN matkap kullanmışlardır. Kesme parametreleri olarak  $V_c:40\text{m/dak}$ ,  $f: 0,10\text{ mm/dev}$  kullanarak sıcaklıkları ölçmüşlerdir. Ölçülen sıcaklıklar Şekil II.34'de gösterilmektedir. Farklı soğutma sıvıları kullanarak çalışmalarını sürdürmüşlerdir.



Şekil II.35 Minimum yağlama miktarı (MQL) kullanılarak farklı derinliklerde bulunan 3 termokupl da meydana gelen maksimum sıcaklıklar [123]



**Şekil II.36** Farklı kesme sıvısı şartlarında maksimum sıcaklıklar [123]

Dıştan Minimum Yağlama (MQL dıştan), İçten Minimum Yağlama (MQL içten.), Takım içerisinde soğutma sıvısı kullanma, kuru işleme şartlarında meydana gelen maksimum sıcaklıklar ve kesme hızı değerleri Şekil II.36'da görülmektedir.



## **BÖLÜM III. TEZ ÇALIŞMALARI**

### **III.1. ARAŞTIRMA YÖNTEMİ**

Bu çalışmada iki farklı yöntem uygulanmıştır. İlk kısımda deneysel çalışma yapılmıştır ve deney şartları belirlenirken Taguchi deney tasarımı yöntemi kullanılmıştır. İkinci kısımda ise, deneysel çalışmada elde edilen verileri değerlendirmek ve optimizasyonu için Taguchi optimizasyon yöntemi kullanılmıştır.

Deneysel çalışmada, sıcaklık ölçümünü gerçekleştirmek için literatürde kullanılmakta olan bir yöntem olan, *Termokupl (Isıl çift) yöntemi* kullanılmıştır. Bu çalışmada Termokupl, iş parçasına açılan bir delikten salınarak kesici takıma 0,2mm kadar yaklaştırılmıştır. Kesici takımın delme işlemi boyunca sıcaklığının ölçümü, üç farklı noktadan iş parçası içerisine salınan ısıl çiftlerle gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışma kısmında uygulaması daha detaylı anlatılacaktır.

Kesme kuvveti ölçümü için, yine literatürde kullanımı yaygın olan *Dinamometre ile ölçüm yöntemi* tercih edilmiştir. Hazırlanan iş parçası dinamometre üzerine sabitlenerek delme esnasında oluşan kuvvet dataları bilgisayara x, y ve z eksenlerinde grafiksel olarak aktarılmıştır.

### **III.2. METERYAL**

#### **III.2.1. CNC Freze Tezgahı**

Deney düzeneğinde kullanılan CNC tezgahı; üç eksenli lineer ve dairesel enterpolasyon yapabilen, metrik ve inç birimlerinde ISO format programlama yapabilen FANUC kontrol üniteli O-M serisi, bir adet Freze tezgahıdır (Şekil III.I). Tablo III.1’de CNC freze tezgahının teknik spesifikasyonları verilmiştir.

**Tablo III.1** CNC Freze Tezgahının Teknik Spesifikasyonları

Model No	VMC –550+APC
Tabla çalışma yüzeyi	40” x 20” (1000 x 500mm)
Hareket sınırları	X : 31.5” (800mm) Y : 20” (500mm) Z : 17.7” (450mm)
İş mili motor Gücü	10 HP (30 min.) / 7.4 HP (cnot)
Tabla yükleme kapasitesi	1980 Lbs (900 kg)
Tezgah zemin alanı	92.5” x 98.4” (2350 x 2500)
Makine ağırlığı	12100 Lbs (5500kg)



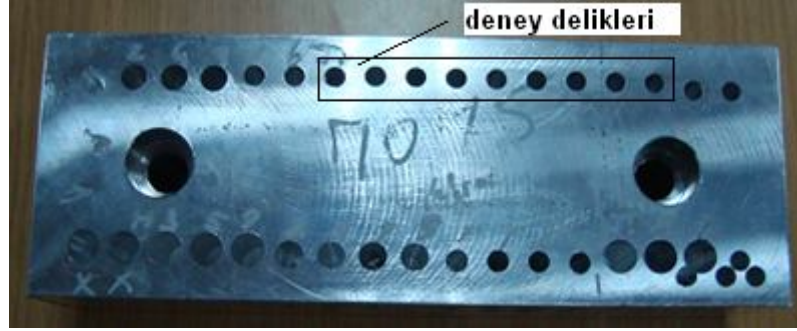
**Şekil III.1** Johnford VMC – 550 Model CNC Freze Tezgahı

### III.2.2. Deneyde Kullanılan İş parçası Malzemesi (Al7075) Özellikleri

Alüminyum, metal pazarında demir ve çelikten sonra ikinci sırayı almaktadır. 1989’da ABD’de 4.03 milyon ton alüminyum üretilmiştir.

Alüminyum endüstrisindeki hızlı büyüme bu metalin eşsiz özellik ve kombinasyonuna atfedilmektedir. Bu özellikler alüminyumu çok yönlü yapı ve

mühendislik malzemelerinden biri yapmaktadır. Alüminyum ağırlıkça hafiftir ve alaşımları yapı çeliklerinden daha fazla mukavemetlendirilmişlerdir. Alüminyum iyi elektriksel ve ısı iletkenliğe ve yüksek bir ısı ve ışık yansıtma özelliğine sahiptir. Pek çok hizmet şartlarında korozyon direnci oldukça iyi ve zehirsizdir. Alüminyum dökülebilir ve pek çok şekle getirilebilir ve geniş bir aralıkta yüzey kalitesi verir. Alüminyumun bu üstün özellikleriyle mühendislik malzemesi olarak büyük önem kazanması şaşırtıcı değildir [124].



Şekil III.2 Deneyde Kullanılan AL7075 Malzeme

### III.2.3. Deneyde Kullanılan Kesici Takım

Deneyisel çalışmada kullanılan DLC kaplamalı matkaplar (Şekil III.3) ve matkaplara ait boyutsal ve mekanik özellikler aşağıda Tablo III.2’de sunulmuştur.

Tablo III. 2 Matkabin Özellikleri

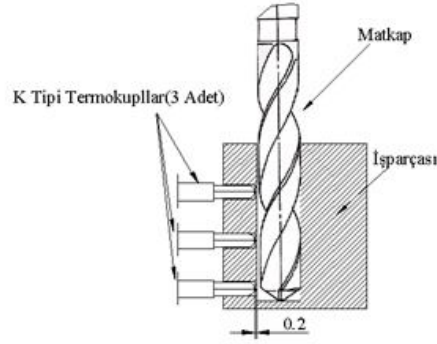
Matkap çapı	6mm
Kanal sayısı	2
Uç açısı	118 °
Kanal uzunluğu	41mm
Tutucu sap tipi	Silindirik
Kaplama türü	DLC
Toplam boy	85mm



Şekil III.3 Deneyde Kullanılan Ø6 DLC Kaplamalı Matkap

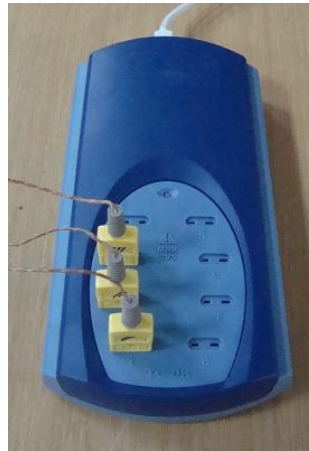
### III.2.4. Deneyde Kullanılan Sıcaklık Ölçüm Cihazları

Deneyisel çalışmada, sıcaklık ölçümünü gerçekleştirmek için bir düzenek oluşturulmuştur. Bu düzenekte; 2mm çapında 3 adet K (Chromega® - Alomega®) tipi Teflon kaplı PFA OMEGA termokupl kullanılmıştır. Bu termokupllar 500 °C'ye kadar sıcaklık ölçebilmekte ve 10 µsn yanıtama zamanına sahiptir. Termokupllar Şekil III.4'de gösterildiği gibi iş parçası içerisine açılan deliğe salınmıştır. Termokuplların arasındaki mesafe 10mm olarak belirlenmiştir.



Şekil III.4 Termokuplun Yerleştirilme Düzenegi [28]

Termokupllardan alınan sıcaklık değerlerini toplamak ve bilgisayara aktarmak için Pico® TC-08 marka 8 kanallı termokupl data toplayıcısı kullanılmıştır (Şekil III.5). Ayrıca bu cihazın “PicoLog for Windows 32 Bits” yazılımı sayesinde ölçülen sıcaklık değerleri bilgisayara aktarılıp, grafiksel ve/veya sayısal olarak görülmektedir.



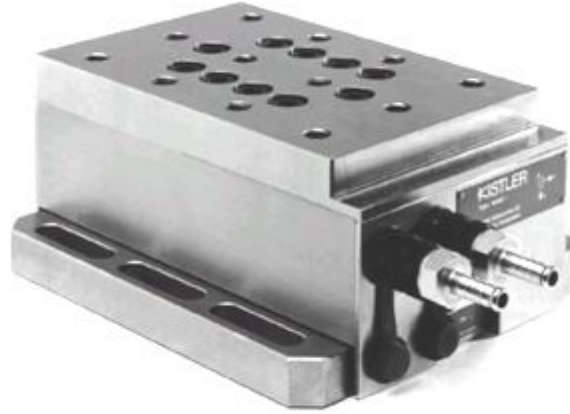
Şekil III. 5 Pico® TC-08 Marka 8 Kanallı Termokupl Data Toplayıcısı



kullanılmıştır. Bu amplifikatör kuvvet sensöründen üç eksen (x,y,z) gelen voltaj sinyallerini ayrı ayrı değerlendirmektedir. Üç kanallı ve mikroişlemci kontrollü olan bu amplifikatör, dinamometreden gelen sinyalleri yükselterek volt olarak çıkış vermektedir. Bu datalar RS232 C ve IEEE-488 ara yüz çıkışları sayesinde bilgisayara aktarılmıştır.

**Tablo III.3** Kuvvet Sensörünün Teknik Özellikleri

ÖZELLİK	SEMBOL	BİRİM	DEĞERLER
Ölçme aralığı	$F_x, F_y$	kN	-15.....15
	$F_z$	kN	-10.....30
Aşırı yük	$F_x, F_y$	kN	-20/20
	$F_z$	kN	-12/40
Hassasiyet	$F_x, F_y$	pC/N	$\approx$ -8
	$F_z$	pC/N	$\approx$ -3.8
Rijitlik	$C_x, C_y$	kN/ $\mu$ m	$\approx$ 0.8-1
	$C_z$	kN/ $\mu$ m	$\approx$ 2
Doğal Frekans	$F_o (x,y)$	kHz	$\approx$ 1.5-1.7
	$F_o (z)$	kHz	$\approx$ 2.5-2.7
Çalışma sıcaklığı aralığı	----	°C	$\leq \pm 0.02$ (0-70 °C)
Yalıtım Direnci	----	T. $\Omega$	$\geq 10$
Bağlantı tipi	----	----	10-32 UNF



**Şekil III.7** Kistler Dinamometre

### III.2.5.2. Yük Amplifikatörü

Yük amplifikatörü olarak KISTLER 5019b tipi yük amplifikatörü kullanılmıştır (şekil III.8). Bu amplifikatör kuvvet sensöründen üç eksende (x,y,z)gelen voltaj sinyallerini ayrı ayrı değerlendirmektedir. Üç kanallı ve mikro işlemci kontrollü olan bu amplifikatör, dinamometreden gelen sinyalleri yükselterek volt olarak çıkış vermektedir. Bu datalar RS232 C ve IEEE-488 ara yüz ıkışları sayesinde bilgisayara aktarılmıştır.



şekil III.8 KISTLER 5019b Tipi Yük Amplifikatörü

### III.2.5.3. Analiz Programı

KISTLER 5019b yk amplifikatöründen alınan dataların değerlendirilmesi ve grafiksel olarak ifade edilmesi için geliştirilen DynoWare isimli yazılım programı kullanılmıştır. Bu program sayesinde 3 eksende de iř parçasına etki eden kuvvetler grafiksel olarak görülmekte ve istenildiği taktirde data olarak Microsoft Office Excel programına aktarılabilir.

## III.3. METOT

### III.3.1 Taguchi İle Deney Tasarımı

Kesme parametrelerinin daha verimli bir şekilde seçilmesini sağlamak ve harcanan zamanı ve malzemeyi azaltmak için Taguchi tekniği alternatif bir yaklaşım

olarak devreye girmektedir. Temel olarak TT, yüksek kalite sistemleri için güçlü bir yöntemdir. Maliyet, kalite ve performans tasarımlarını optimize etmek için basit, verimli ve sistematik bir yaklaşım sunmaktadır. Son yıllarda çok geniş bir kullanım alanı bulmaktadır. TT, bir ürün ya da prosesin mühendislik optimizasyonunu; sistem tasarımı, parametre tasarımı ve tolerans tasarımı gibi üç adımlık bir yaklaşım içerisinde çözebilmeyi amaçlamaktadır [125].

Sistem tasarımında; temel fonksiyonel bir prototip tasarım üretmek için bilimsel veri tabanı oluşturulur. Sistem tasarımını parametre tasarımı takip eder. Bu tasarımın amacı; kalite karakteristiklerini geliştirmek için proses parametre değerlerinin ayarlarını optimize etmek ve optimal proses parametreleri altında ürün parametre değerlerini tanımlamaktır. Taguchi tekniğinin kullanım sebebi, çıktı değerlerinin hedefte ve minimum varyansla sağlanmasıdır. Bu amaçla sistem tasarımında ortaya konulan tasarımın uygulanarak, etki eden faktörlerin uygun seviyelerinin belirlenmesi işlemine parametre tasarımı denir [126]. Parametre tasarımı özetle;

1. Kalite karakteristiklerinin (bağımlı parametrelerin, örneğin; takım ömrü, yüzey pürüzlülüğü) ve tasarım parametrelerinin (bağımsız parametreler, örneğin; kesme hızı, talaş derinliği, ilerleme miktarı vb.) belirlenmesi,
2. Tasarım parametreleri ve etkileşimlerinin seviyelerinin belirlenmesi.
3. Uygun bir lineer grafik ya da ortogonal dizinin belirlenmesi ve bu ortogonal dizine parametrelerin uygun seviyelerinin yerleştirilmesi,
4. Ortogonal dizine yerleştirilen seviyelerde deneysel çalışmanın gerçekleştirilmesi,
5. Deneysel sonuçları kullanarak S/N oranlarının hesaplanması ve sonuçların analiz edilmesi,
6. Optimal tasarım parametrelerinin seçilmesi,
7. Doğrulama testlerinin yapılması,

şeklinde basamaklandırılabilir. Daha sonraki adımda ise, belirlenen tasarım parametrelerinin uygun seviyeleri belirlenir. Sonraki aşama, uygun bir lineer grafik ya da ortogonal dizi belirlemek ve bu ortogonal dizine parametrelerin uygun seviyelerini yerleştirmektir. Taguchi kısmi faktöriyel deney tasarımlarına “ortogonal



dizi” ismini vermiştir. Ortogonal diziler Taguchi taraflardan aşağıdaki gibi kodlanmıştır [126,127].

$$LX(Y^Z) \quad (III.1)$$

Bu kodlamada;

L: Latin kare tabanlı anlamındadır.

X: tasarımdaki deney sayısı,

Y: Deneydeki seviye sayısı,

Z: Deneyde kullanılabilecek max. faktör sayısı.

Bu kodlamannın pratikte (YZ) kısmı pek kullanılmamaktadır. Taguchi tarafından hazırlanan dizilerin listesi aşağıdaki çizelgede verilmiştir (Tablo III.4). L18 (41x24) tasarımında 41 bir adet dört seviyeli, 24 dört adet iki seviyeli faktör anlamına gelmektedir.

**Tablo III.4** Ortogonal dizin tipleri

L4(2 <sup>3</sup> )	L8(2 <sup>7</sup> )	L16(4 <sup>5</sup> )	L16(4 <sup>1</sup> x2 <sup>12</sup> )
L12(2 <sup>11</sup> )	L20(2 <sup>19</sup> )	L64(4 <sup>21</sup> )	L16(4 <sup>3</sup> x2 <sup>6</sup> )
L16(2 <sup>15</sup> )	L32(2 <sup>31</sup> )	L8(4 <sup>1</sup> x2 <sup>4</sup> )	L32(4 <sup>9</sup> x2 <sup>4</sup> )
L9(34)	L12(3 <sup>1</sup> x2 <sup>4</sup> )	L25(5 <sup>6</sup> )	L128(4 <sup>41</sup> x2 <sup>4</sup> )
L18(3 <sup>7</sup> x2 <sup>1</sup> )	L18(6 <sup>1</sup> x3 <sup>6</sup> )	L50(5 <sup>10</sup> x10 <sup>1</sup> )	L50(5 <sup>11</sup> x2 <sup>1</sup> )
L24(3 <sup>1</sup> x2 <sup>16</sup> )	L24(3 <sup>1</sup> x4 <sup>2</sup> x2 <sup>13</sup> )	L49(7 <sup>8</sup> )	L125(5 <sup>31</sup> )
L27(3 <sup>13</sup> )	L36(2 <sup>1</sup> x6 <sup>2</sup> x3 <sup>5</sup> )	L98(7 <sup>14</sup> x14 <sup>1</sup> )	L98(7 <sup>15</sup> x2 <sup>1</sup> )
L36(3 <sup>3</sup> x6 <sup>3</sup> )	L54(3 <sup>25</sup> x2 <sup>1</sup> )	L64(8 <sup>9</sup> )	L27(9x3 <sup>9</sup> )
L54(6 <sup>3</sup> x3 <sup>24</sup> )	L81(3 <sup>40</sup> )	L16(8x2 <sup>8</sup> )	L81(9 <sup>10</sup> )
L81(3 <sup>4</sup> x9 <sup>1</sup> )		L121(11 <sup>12</sup> )	L169(13 <sup>14</sup> )

Deneyisel çalışmaların yapılması parametre tasarımın dördüncü aşamasıdır. Bir sonraki aşamada ise, deneysel sonuçları kullanarak S/N oranlarını hesaplamak ve sonuçları analiz etmektir. Hedef değerlerin sağlanması için deney sonuçlarının ortalamaları; varyasyonun minimize edilmesi için sinyal-hata oranı (S/N) kullanılmaktadır. Sinyal hata oranı Taguchi tekniğinde, “sinyal-S” terimi çıkış karakteristiği için bilinen ya da bulunan değer; “gürültü-N” terimi ise tanımlanmamış değer olarak tanımlanır. Bu nedenle; bilinen değerlerden kalite karakteristiğini

ölçmek için Taguchi yöntemi sinyalin gürültüye dönüştürüldüğü S/N oranını kullanmaktadır [126].

Toplam S/N çeşidi sayısı yetmiş kadardır, fakat bunların en çok üç tanesi yaygın olarak kullanılmaktadır: Daha küçük daha iyidir, daha büyük daha iyidir ve nominal daha iyidir şeklindedir. Ancak, bu çalışmada daha küçük daha iyidir kullanılacaktır.

Daha küçük daha iyi (S/N<sub>s</sub>): Ortalamayı ve değişimi olabildiğince küçültmek istenen problemlerde kullanılır. Örneğin, talaşlı imalatta, yüzey pürüzlülüğünün optimizasyonu için kullanılabilir [11].

### III.3.1.1. Deney Tasarımları

Deney tasarımları Taguchi tekniği kullanılarak yapılmıştır. Böylece, daha az deney ile daha geniş kapsamlı sonuçlara ulaşmak mümkün olmuştur. Bu durumda zaman ve maliyetten kazanım sağlanmıştır [1].

Deneysel çalışmalarla kesme sıcaklığı veya diğer bir ifade ile, delme sıcaklığının ölçülmesi ve kontrolü imalatta önemli bir husustur. Talaş kaldırma prosesinde, kesici takım ve iş parçasının birbiri ile teması söz konusu olduğundan dolayı ısı oluşumu pek tabidir. Ancak, bu oluşumun belli sınırlar dahilinde kalarak, iş parçasına yapısal anlamda zarar vermemesi istenmektedir. Temas bölgesindeki sıcaklıktaki artış, haliyle alüminyum iş parçasının yumuşayıp kendisini bir nebzede olsa salmasına sebebiyet vermekte, bu durum hem talaş kaldırma prosesini hem de malzemeyi işlenen yüzeyini olumsuz anlamda etkilemektedir. Bir matkabın performansı büyük ölçüde delme kuvvetlerine bağlıdır [29]. Delme kuvvetlerinin ve sıcaklık değerlerinin küçük olması delme işleminin ve matkap performansının artmasında önemli olması nedeniyle en küçük en iyidir prensibi kullanılmıştır.

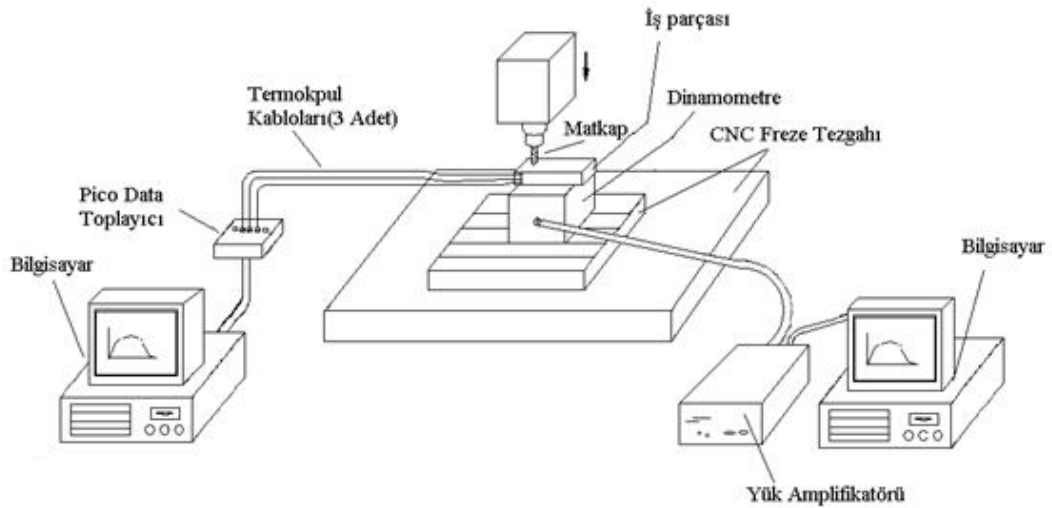
En küçük en iyi prensibinde göre S/N oranını hesaplamakta kullanılan formülasyon aşağıda verilmiştir.

$$S / N = -10 \times \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_{i^2} \right) \quad (III.2)$$

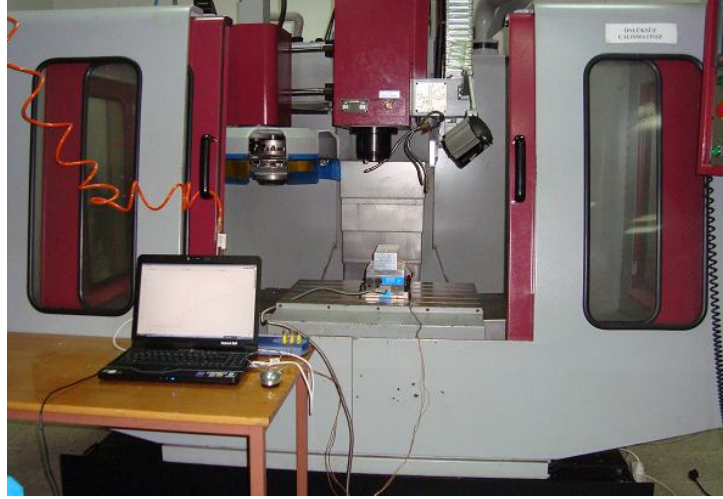
Denklemdaki  $n$ =deney şartlarında yapılan deney sayısı ve  $y$  ise ölçülen karakteristiği ifade etmektedir.

Bu çalışmada, amaçlanan kesme parametreleri olan kontrol faktörlerinin alüminyum 7075 alaşım malzemesi için optimal seviyelerini belirleyerek, delme esnasında matkaba kaldırılan talaşın yapışma oranını azaltarak; delme performansının düşmesini önlemek, diğer taraftan ise; malzemenin işlenen yüzeyinde ısıdan dolayı oluşabilecek şekil değişimi, genleşme ve deformasyonu önlemektir. Bu çalışmada, kesme parametreleri olarak; kesme hızı ve ilerleme oranı dikkate alınmıştır. Delme prosesinde delik yüksekliği 30mm olarak sabit tutulmuştur.

Kuvvet ölçümü için oluşturulan düzenedeki parçalar; üç boyutlu kuartz dinamometre, üç kanallı charge-amplifikatörü, dinamometreye bağlanabilen uç bağlama aparatı, ölçüm bilgilerinin analizi için program, bilgisayar bağlantısı için ISA tipi A/D kartı ve ara bağlantı kablolarından oluşmaktadır. X, Y ve Z eksenlerinde ölçülen kesme kuvvetleri bilgisayar ortamında grafiğe dönüştürülmüştür. Kuvvet ölçüm düzeneği de Şekil III.9 ve Şekil III.10 şematik ve fotografik olarak görülmektedir.



Şekil III.9 Deney Düzeneğinin Şematik Gösterimi [11]



Şekil III.10 Deney Düzeninin Fotoğrafik Gösterimi

Bu deneysel çalışmada kesme parametreleri olarak, ilerleme oranı ( $f$ ) ve kesme hızı ( $V_c$ ) kullanılmıştır. Deney süresince Ø6 DLC kaplamalı matkap kullanılmıştır.

Deneyde kullanılacak parametreler ve seviyeleri Tablo III.5, L9 deney tasarımı ise Tablo III.6 'da sunulmuştur.

Tablo III.5 Kontrol Faktörleri ve Seviyeleri

	Faktörler	Birim	1. Seviye	2. Seviye	3. Seviye
1	(A) Kesme hızı [ $V_c$ ]	(m/dak)	50	60	70
2	(B) İlerleme oranı [ $f$ ]	(mm/dev)	0,20	0,25	0,30

Tablo III.5 'deki faktörler göz önünde bulundurularak, deneysel çalışma için en uygun tasarım olarak 9 deneyli Taguchi L<sub>9</sub> ortogonal dizin seçilmiştir. Tablo III.6'da Minitab 15 istatistik yazılımı yardımı ile belirlenen L<sub>9</sub> lik deney tasarımı görülmektedir.

**Tablo III.6** Taguchi L<sub>9</sub> Deney Tasarımı

Deney No.	Değişkenler	(A) Kesme hızı (m/dak)	(B) İlerleme oranı (mm/dev)
1	A <sub>1</sub> B <sub>1</sub>	1	1
2	A <sub>1</sub> B <sub>2</sub>	1	2
3	A <sub>1</sub> B <sub>3</sub>	1	3
4	A <sub>2</sub> B <sub>1</sub>	2	1
5	A <sub>2</sub> B <sub>2</sub>	2	2
6	A <sub>2</sub> B <sub>3</sub>	2	3
7	A <sub>3</sub> B <sub>1</sub>	3	1
8	A <sub>3</sub> B <sub>2</sub>	3	2
9	A <sub>3</sub> B <sub>3</sub>	3	3

### III.3.1.2. Delme Sıcaklığı ve İtme Kuvveti Ölçümü ve Sonuçları

Deneyde ölçülen kuvvet ve sıcaklık değerleri Tablo III.7 ' de verilmiştir.

**Tablo III.7** Deneylerden Elde Edilen Sıcaklık ve İtme Kuvveti Sonuçları

Deney No.	Değişkenler	T (°C)	F(N)
1	A <sub>1</sub> B <sub>1</sub>	42	642
2	A <sub>1</sub> B <sub>2</sub>	44	755
3	A <sub>1</sub> B <sub>3</sub>	45	848
4	A <sub>2</sub> B <sub>1</sub>	43	655
5	A <sub>2</sub> B <sub>2</sub>	46	752
6	A <sub>2</sub> B <sub>3</sub>	48	865
7	A <sub>3</sub> B <sub>1</sub>	45	666
8	A <sub>3</sub> B <sub>2</sub>	47	768
9	A <sub>3</sub> B <sub>3</sub>	50	877

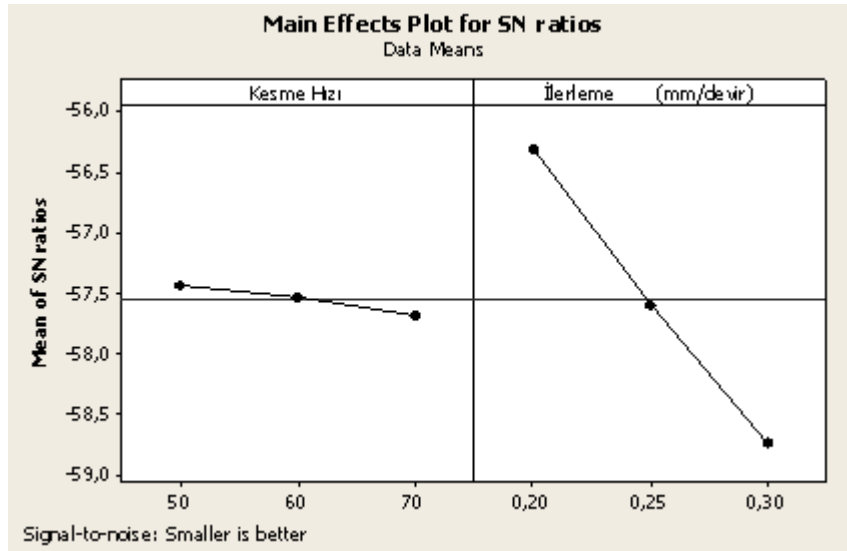
### III.3.1.3. Analizlerin Değerlendirilmesi ve Sonuçları

Tablo III.8'de her deney için ölçülen itme kuvveti ve sıcaklık değeri üzerinden denklem III.2 yardımıyla hesaplanan sinyal/gürültü oranları verilmiştir.

**Tablo III.8** Delme Sıcaklığı ve İtme Kuvveti Değerleri ve S/N Oranları

Deney No.	T (°C)	S/N (dB)	F (N)	S/N (dB)
1	42	-32,4650	642	-56,1507
2	44	-32,8691	755	-57,5589
3	45	-33,0643	848	-58,5679
4	43	-32,6694	655	-56,3248
5	46	-33,2552	752	-57,5244
6	48	-33,6248	865	-58,7403
7	45	-33,0643	666	-56,4695
8	47	-33,4420	768	-57,7072
9	50	-33,9794	877	-58,8600

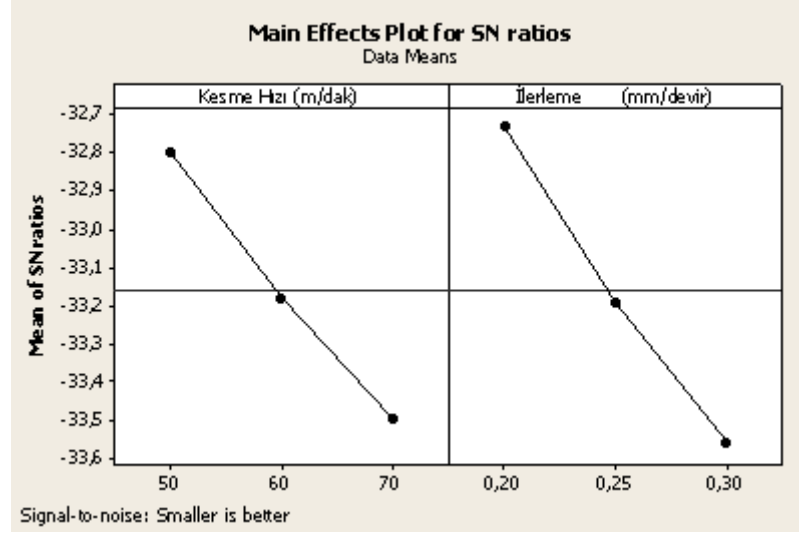
Deneysel sonuçlar neticesinde ölçülen itme kuvvetlerinin ve sıcaklığın yorumlanması ile S/N oranlarına bağlı olarak optimal parametreler tahmin edilmiştir.



**Şekil III.11** İtme Kuvveti (F) İçin Kontrol Faktörlerinin S/N Oranları

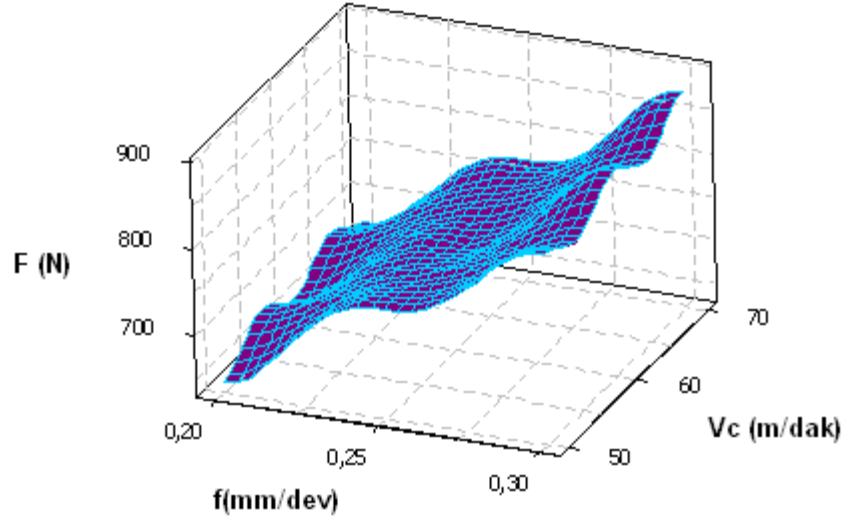
Şekil III.11’de kontrol faktörlerinin S/N oranları görülmektedir. En küçük en iyidir yaklaşımıyla yapılan optimizasyona göre, maksimum itme kuvvetinin en küçük olduğu seviyeler, kesme hızında 50 m/dak, ilerleme oranında 0.20 mm/devir olmuştur.

Şekil III.12’ de ise kontrol faktörlerinin sinyal gürültü oranları görülmektedir. En küçük en iyidir yaklaşımı ile yapılan optimizasyona göre minimal delme sıcaklığının olduğu seviyeler, kesme hızında 50 m/dak, ilerleme oranında 0.20 olmuştur.



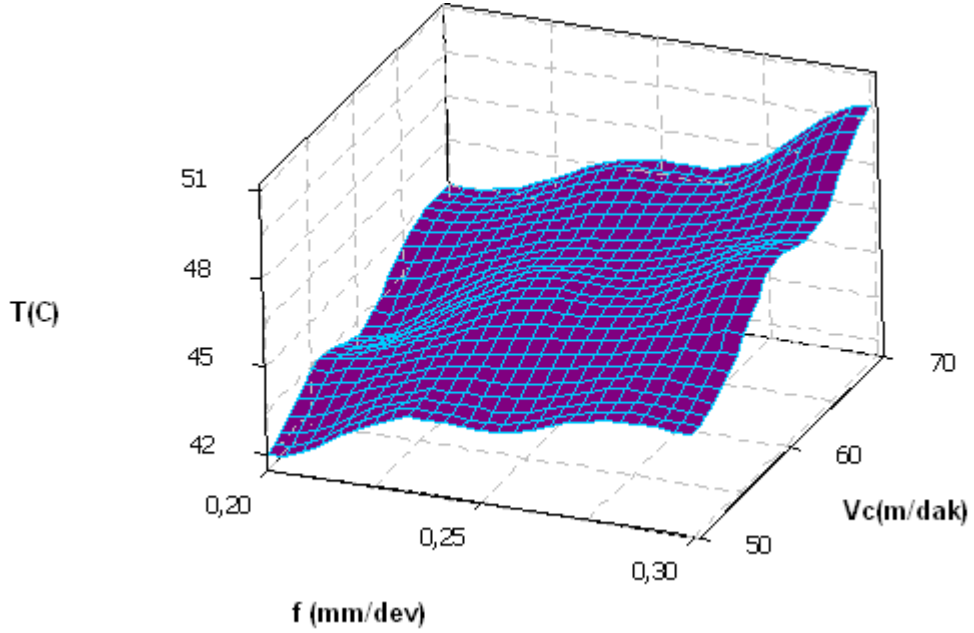
Şekil III.12 Delme sıcaklığı için kontrol faktörlerinin S/N oranları

İtme kuvveti veya diğer bir ifade ile thrust force olarak tanımlanan ve matkap ilerleme yönüne zıt yönde oluşan ve matkap uç bölgesinde aşınmalara neden olabilen bu kuvvetin, delme prosesinde irdelenmesi bilimsel tamamlayıcılığı açısından önemlidir. Yapılan deneysel çalışmada, ilerleme oranı ve kesme hızı değişimin itme kuvveti ve sıcaklık değişime etkisi sırasıyla Şekil III.13 ve Şekil III.14'de görülmektedir.



Şekil III.13 Kesme Parametrelerinin İtme Kuvvetine Etkisi

Şekil III.13’de görüldüğü gibi, itme kuvvetinin oluşumunda en önemli faktör ilerleme oranıdır. İlerleme oranındaki artış ile itme kuvveti artmaktadır. Kesme hızındaki değişimin itme kuvveti üzerindeki etkisi göz ardı edilebilecek seviyede olmuştur.



Şekil III.14 Kesme Parametrelerinin Delme Sıcaklığına Etkisi

Şekil III.14’de görüldüğü gibi, sıcaklık oluşumunda ilerleme oranı ve kesme hızı etkili olmuştur. İlerleme oranındaki ve kesme hızındaki artış ile sıcaklık artmaktadır.

#### III.3.1.4. Anova İle Parametrelerin Değerlendirilmesi

AL7075 malzemenin Ø6 DLC matkap ile delinmesinde, iki değişik faktör, üç değişik seviyede kullanılarak dokuz deney yapılmış ve bu deneylerin her birinden farklı İtme kuvveti ve sıcaklık yanıt değerleri ölçülmüştür. Bu farkların tamamen tesadüf mü yoksa faktörlerden mi kaynaklandığı ve her faktörün bu yanıtta etkisini belirlemek için varyans analizi kullanılmaktadır.

Ortalama itme kuvveti ve sıcaklık değerlerinin varyans analizi sonuçları Tablo III.9 ve Tablo III.10’da sunulmuştur. Tablo III.9’da Verilen P değeri önem seviyesi hakkında bilgi vermektedir (uygun ya da uygun değil). Kesme parametrelerinin sıcaklık ve itme kuvvetinin önem seviyeleri yüzde olarak



verilmiştir. Tablo III.9’da görüldüğü gibi en etkili parametre ilerleme oranıdır (%98.70). Kesme hızının oluşan kuvvete etkisi ise %1,10’ dur. Tablo III.10’da görüldüğü gibi ilerleme oranının etkisi % 56,194, kesme hızının etkisi ise %40,265’ dir.

**Tablo III.9** F Değerlerine Göre ANOVA Sonuçları

Notasyonlar	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Değişkenler	F Oranı	P değeri	Yüzde Oranı %
A	2	734	367	11,84	0,021	1,10
B	2	65522	32761	10,5681	0,000	98,70
HATA (e)	4	124	31	-	-	0,18
TOPLAM	8	66380	-	-	-	100

**Tablo III.10** T Değerlerine Göre ANOVA Sonuçları

Notasyonlar	Serbestlik derecesi	Karelerin Toplamı	Değişkenler	F Oranı	P değeri	Yüzde Oranı %
A	2	20,222	10,111	22,75	0,007	40,265
B	2	28,222	14,111	31,75	0,004	56,194
HATA (e)	4	1,778	0,444	-	-	3,540
TOPLAM	8	50,222	-	-	-	100

### III.3.1.5. Regresyon Modeli İle İtme Kuvveti ve Sıcaklık İçin Tahminsel Denklem Oluşturulması

Talaş kaldırma için kullanılan kontrol faktörleri (ilerleme oranı ve kesme hızı) ile yanıt itme kuvveti( F) ve sıcaklık (T) arasında tahmini denklem oluşturulmuş ve

bunlar arasındaki ilişkiyi tanımlayabilmek için doğrusal regresyon analizi kullanılmıştır. Bu deneysel çalışma için elde edilen F ve T denklemi aşağıda sunulmuştur.

$$F(N) = 170 + 1,10 V_c + 2090 f + \varepsilon \quad (III.3)$$

$$R^2 = 0,998$$

$$T(^{\circ}C) = 23,7 + 0,183 V_c + 43,3f + \varepsilon \quad (III.4)$$

$$R^2 = 0,962$$

Bu denklemde  $V_c$  Kesme hızını  $f$  ilerleme oranını sembolize etmektedir. Ayrıca,  $\varepsilon$  hatayı ifade etmektedir. Denklemin F için belirleme kat sayısı  $R^2$  değeri 0,998 ve T için belirleme kat sayısı  $R^2$  değeri 0,962 olarak elde edilmiştir.  $R^2$  değerinin 1'e yaklaşması, tahmin modelinin gerçek ilişkiye yakınlığını ifade etmekte ve 0,80 ve üzeri olması durumunda kuvvetli ilişki olarak kabul edilmektedir. Bu çalışmada elde edilen tahminsel denklemde  $R^2 > 0,8$  olduğu için kabul edilebilir sınırlar içindedir ve kuvvetli ilişkiye sahiptir.

### III.3.1.6. Optimal Parametrelerin Tahmin Modellerinin Oluşturulması

Deneysel sonuçlar neticesinde ölçülen itme kuvveti ve sıcaklık değerlerinin yorumlanması ile S/N oranlarına bağlı olarak optimal parametreler tahmin edilmiştir.

Tahmini İtme Kuvveti(F)

$$\text{Min. } F = A_1 + B_1 - (Y) \quad (III.5)$$

$$748,3333 + 654,333 - 758,6667$$

$$= 644 \text{ N}$$

$A_1$  ( $A_1$  parametresinin itme kuvveti değerlerinin toplamının ortalaması)

$B_1$  ( $B_1$  parametresinin itme kuvveti değerlerinin toplamının ortalaması)

Y (Deneydeki tüm itme kuvvetlerinin toplamının ortalaması)

F için S/N Oranlarının Tahmini (max.)

$$\eta_{A_1} + \eta_{B_1} - \eta \quad (III.6)$$

$$(-57,4259) + (-56,3150) - (-57,5449)$$

=-56,1960 dB

$\eta_{A1}$  ( A1 parametresinin S/N oranlarının toplamının ortalaması)

$\eta_{B1}$  ( B1 parametresinin S/N oranlarının toplamının ortalaması)

$\eta$  (deneydeki tüm S/N oranlarının toplamının ortalaması)

**Tablo III.11** F İçin Optimal Değerleri

Kesme Parametreleri	Seviye	F yanıt değerleri	S/N yanıt değerleri
A	1	748,333	-57,4259
B	1	654,333	-56,3150

### Tahmini Sıcaklık (T)

$$\text{Min. } T = A_1 + B_1 - (Y) \quad (\text{III.7})$$

$$43,6667+43,3333-45,5556$$

$$=41,4444^\circ \text{ C}$$

Sıcaklık (T) için S/N Oranlarının Tahmini (max.)

$$\eta_{A1} + \eta_{B1} - \eta \quad (\text{III.8})$$

$$(-32,7994)+(-32,7329)-(-33,1593)$$

$$=-32,3730 \text{ dB}$$

**Tablo III.12** T (Sıcaklık ) İçin Optimal Değerleri

Kesme Paramerteleri	Seviye	Sıcaklık yanıt değerleri	S/N yanıt değerleri
A	1	43,6667	-32,7994
B	1	43,3333	-32,7329

Taguchi optimizasyon yöntemi ile itme kuvveti için yapılan tahmini model, ilerleme oranının 0,2 mm/dev, kesme hızının 50 m/dak değerlerinde itme kuvveti için optimal değerlere (644 N) ulaşılabileceğini ortaya koymuştur. Optimal koşullar, daha önce yapılan mevcut deney şartları arasında bulunmaktadır. Deneysel çalışmada itme kuvveti 642 N ölçülmüştür. Aynı şekilde sıcaklık için yapılan tahmini modelde de, ilerleme oranının 0,2 mm/dev, kesme hızının 50 m/dak değerlerinde sıcaklık için optimal değerlere (41,444°C ) ulaşılabileceğini ortaya koymuştur. Optimal koşullar, deney tasarımıımızda mevcuttur. Deneysel çalışmada sıcaklık değeri 42°C'dir. Tahmini değerler deney tasarımında yapıldığından ve tahmin edilen değerden daha az ve yakın değerler çıktığından doğrulama deneylerine gerek duyulmamıştır.

## BÖLÜM IV. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Bu çalışmadan elde edilen sonuçları iki bölüm halinde sunmak mümkündür. İlk olarak; Deneysel çalışmada elde edilen sonuçlar verilecektir. İkinci kısımda ise Taguchi optimizasyon yönteminin kullanılması ile elde edilen sonuçlar sunulacaktır.

Kuru Delme işleminde iş parçası olarak Al 7075-T6 seçilmiştir. Literatürde Aerospace Alloy olarak da isimlendirilen bu malzeme, oldukça önemli ve geniş kullanım alanına sahiptir. Özellikle de uzay, uçak ve otomobil sanayinde kullanılmaktadır. Hafif ve mukavim olması gibi özelliklerinden dolayı kullanımı her geçen gün artmaktadır.

Deneysel çalışma için kesme parametrelerinin tayininde literatür ve imalatçıların uygulamalarından istifade edilmiştir. Dikkatli ön çalışma ve Taguchi metodu ile deney tasarımının yapılması sonucunda, delme sıcaklığı ve itme kuvveti için optimal şartlar yapılan dokuz deney içerisinde olmuştur. Herhangi bir ön çalışma ve deney tasarımı yöntemi kullanmaksızın yapılacak onlarca deney ile bu sonuca ulaşmak mümkün olabileceken, yapılan dokuz deney ile de aynı sonuca ulaşılabilmiştir. Zaman ve maliyet açısından değerlendirildiğinde, uygun kontrol faktörlerinin tespitinin ve Taguchi deney tasarımının etkisi görülmektedir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

- Al 7075 alaşım malzemesinin DLC kaplamalı matkaplarla, yüksek performansta kuru delinmesi mümkündür. DLC kaplamadan dolayı işleme prosesinde kaldırılan talaş kesici takım üzerine yapışmayarak performansı olumsuz etkilememektedir.
- Delme sıcaklığının oluşumunda en etkili faktörün, yapılan deneysel çalışma neticesinde ilerleme oranı olduğu görülmüştür. Diğer taraftan kesme hızındaki değişimin de delme sıcaklığını etkilediği görülmüştür.
- Delik delmede önemli bir araştırma konusu olan, itme kuvvetinin oluşumunda da dominant etkiye sahip faktör ilerleme oranı olmuştur. İlerleme oranının artması ile itme kuvvetinin arttığı yapılan çalışmadan elde edilen diğer önemli bir sonuçtur.

- Deneysel çalışmalarda, deney sayısının azaltılarak başarılı sonuçlara ulaşılması için uygulanan deney tasarımı ve optimizasyonun yapılabildiği Taguchi metodu delik delme prosesi içinde başarılı bir şekilde uygulanabilmiştir. Rastgele yapılan bir deneyden elde edilen sonuçlara nazaran iki kat daha iyi sonuçlar Taguchi metodu ile elde edilebilmiştir.
- Varyans analizi (anova) ile deneysel çalışmadan elde edilen sonuçların oluşumunda hangi kontrol faktörlerinin ne kadar önem derecesine sahip olduğu başarılı bir şekilde belirlenmiştir.
- Regresyon analizi ile böyle bir deneysel çalışma için itme kuvveti ve sıcaklık tahminsel denklemi sırasıyla % 99,8,%96,2 doğruluk ile elde edilmiştir.
- Elde edilen sonuçlar literatür dikkate alınarak değerlendirildiğinde, DLC kaplamaların alüminyum 7075 alaşım malzemesinin işlenebilirliğine olumlu katkı sağladığı ve özellikle kesici takımın performansındaki iyileşmeye hız kazandırdığı sonucuna ulaşılmıştır.

Geleneksel imalat yöntemlerinde yaygın olarak kullanılan matkap ile delik delme yöntemi üzerinde uzun yıllar boyunca değişik özelliklere sahip soğutucu sıvılar kullanılarak, işleme esnasında oluşan sıcaklığın düşük seviyelerde olmasını sağlamak ve işleme performansını artırmak amaçlanmıştır. Fakat soğutucular, çevresel faktörler ve maliyeti dikkate alındığında tercih edilebilirliğini yitirmiştir. Bu durum yeni araştırmalar yapmayı gerektirmiştir. DLC kaplamalı matkaplar kuru delme işleminde kullanılarak istenilen performans yakalanmaktadır. Bu deneysel çalışmada da olduğu gibi delme işlemi kuru olarak DLC matkap ile gerçekleştirilmiş ve DLC matkabın avantajlarından yararlanılmıştır.

## **BÖLÜM V. SON DEĞERLENDİRMELER ve ÖNERİLER**

Al 7075 malzemesi kullanıldığı yerler itibariyle önemli bir yere sahiptir, bu malzemenin imalatında kesme parametreleri, kesici takım özellikleri çok iyi belirlenmelidir. Optimal kesme parametrelerinin ve optimal kesici takımlar kullanılarak yapılan talaşlı imalat işlemlerinde, yüzey kalitesi daha iyi oluşacak ve kesici takım daha uzun ömürlü olacaktır. Optimal parametrelerin seçimi, yapılan imalatın ekonomikliği açısından da önemlidir. Alüminyumun kuru işlenmesinde, alüminyumun kesici takıma yapışma eğiliminin fazla olması kesme işlemini zorlaştırmaktadır. Bu durumu azaltmanın yöntemleri arasında kesici takımın kaplanması en ön sırada gelmektedir. DLC kaplamalı matkaplar yapışma eğilimini önlemektedir. Kesme işleminde sıcaklığın oluşması, istenmeyen bir durumdur, sıcaklığın artması takım ömrünü olumsuz etkilemektedir. Bu çalışmada seçilen optimal parametreler ile sıcaklık sonuçları düşürülmüştür. Aynı zamanda DLC matkapların delme işlemindeki performansı gözlemlenmiştir.

## KAYNAKLAR

- [1] Kurt, M.; Bađcı, E.; Kaynak, Y.: “Aplication of taguchi methods in the Optimization of cutting parameters for surface finish and hole diameter accuracy in dry drilling processes”, *Int. Journal Adv Manuf Technology*, (2007)
- [2] Onwubolu, G.C.; Kumar, Shivendra.: “Response surface methodology-based approach to CNC drilling operations”, *Journal of Materials processing Technology* (2005)
- [3] Kasaplar, G.: “Alüminyum Yüzeyindeki Oksit Tabakasının Okzalit Asit Anodizing Yöntemiyle Geliştirilmesi ”, *Yüksek Lisans Tezi*, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, Türkiye (2007).
- [4] Eruslu, N.; Altımsoglu, Y.; Taptı, A.: “Alaşımalar” *Ders Notu*, (2000).
- [5] Salman, S.: “Alaşımalar ”, Marmara Üniv,(1997) 52-57
- [6] Sahin, Y.; *Talas Kaldırma Prensipleri II* , Star ofset-Selale ofset, Nobel Yayın Dağıtım Ltd. Sti., Ankara,Türkiye (2000).
- [7] Çakır, M. C.: *Modern Talaslı İmalat Yöntemleri*, Vipasa, Bursa,Türkiye (2000).
- [8] Sahin, Y.: *Talas Kaldırma Prensipleri I*, Star ofset-Selale ofset, Nobel Yayın Dağıtım Ltd. Sti., Ankara (2002).
- [9] Hüseyinođlu, M.: “7075 Alüminyum Alaşımının Freze İle İşlenmesinde Minimum Soğutma Sıvısı Kullanmanın Performans Karakteristiklerine Etkisi”, *Y.Lisans Tezi*,Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi, Eleziđ, Türkiye (2008) 7-15.
- [10] Aksoy, Z.: “Kuru veya Minimal Miktar Soğutma Sıvısı ile Talaş Kaldırma”, (2001)
- [11] Kutlu, L.: “AL2024-T4 Alüminyumun Elmas Benzeri Karbon (DLC) Kaplanmış Matkaplarla Delinmesinde Kesme Parametrelerinin Deneysel İncelenmesi ve Taguchi Yöntemiyle Optimizasyonu ”, *Y.Lisans Tezi*, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enst.,İstanbul (2008) 63-65.
- [12] Akkurt, M.: *Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları*, Birsen Yayınevi, Ankara, Türkiye (1998) 117-181.



- [13] KIVAK, T.: "İNCONEL 718'in Delinebilirliğinin Araştırılması", *Y. Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (2007) 22-31.
- [14] Chen, W.C.; C, C.; T, Sao.: "Cutting performance of different coated twist drills", *Journal of Materials Processing Technology* ,88 (1999).
- [15] Bono, M.; Ni, J.: "The location of the maximum temperature on the cutting edges of a drill", *International Journal of Machine Tools&Manufacture* (2003).
- [16] Paul, A.; Kapoor, S.G.; DeVor, R.E.: "Chisel edge and cutting lip shape optimization for improved twist drill point design", *International Journal of machine Tools&manufacture*, 45 (2005)
- [17] Kim, K.W.; Ahn, T.K.: "Force prediction and stress analysis of a twist drill from tool geometry and cutting conditions", *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing* ,Vol.6,No.1,Ocak (2005).
- [18] Abukhshim, N.A.; Mativenga, P.T.; Sheikh, M.A.: "Heat generation and temperature prediction in metal cutting: A review and implications for high speed machining", *International Journal of Machine Tools&Manufacture*, 46 (2006) 782-800
- [19] Chen, Y.: "Modeling For New Drilling Process Development", Diss. University of Michigan (1999).
- [20] Chandrasekharan, V.: "A Model To Predict The Three-Dimensional Cutting Force System For Drilling With Arbitrary Point Geometry", University of Illinois at Urbana-Champaign (1996).
- [21] Chandrasekharan, V.; Kapoor, S.G.; DeVor, R.E.: "A mechanistic model to predict the cutting force system for arbitrary drill point geometry", *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 120 (1998) 563–570.
- [22] Shaw, M.C.: *Metal Cutting Principles*, Oxford University Press (1984).
- [23] Bono, M.; Ni, J.; "A model for predicting the flow of heat into the workpiece in dry drilling", *Journal of Manufacturing Science and Engineering* ,124 (2002) 773–777.
- [24] Zhang, L.: Diss. University of Michigan (2002).
- [25] Agapiou, J.S.; M.F. DeVries, "On the determination of thermal phenomena during drilling-Part I-Analytical models of twist drill temperature distributions", *International Journal of Machine Tools and Manufacture*,30 (1990) 203–215.

- [26] Incropera, F.; DeWitt, D.: “Fundamentals of Heat and Mass Transfer”, Wiley, New York, (1990).
- [27] Loewen, E.G.; Shaw, M.C.: “On the analysis of cutting-tool temperatures”, *Transactions of the A.S.M.E.*, 76 (1954) 217–231.
- [28] Kaynak, Y.: “ Matkap ile delik delme esnasında kesme parametrelerinin kesme kuvveti ve sıcaklığın değişimine etkisinin deneysel olarak incelenmesi” *Y.Lisans Tezi* ,Marmara Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü., İstanbul (2006).
- [29] Kim, K.W.; Ahn, T.K.: “Force Prediction and Stress Analysis of of a Twist Drill from Tool Geometry and Cutting Condition”, *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing Vol. 6, No.1, January* (2005).
- [30] Tosun, G.: “2124 AL/SiC Kompozitinin Matris Özelliklerinin İşleme Sartlarına Etkisinin Arastırılması”, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü ,(2002).
- [31] Sabata, A.; Van Oij, W.J.; Yasuda, H.K.: “Plasma- Polymerized Films of Trimethylsilane Deposited on Cold-Rolled Steel Substrates. Part 1. Characterization by XPS, AES and TOF-SIMS”, *Surface and Interface Analysis*, v 20, n10, (1993) 845-859.
- [32] Morita, S.; Hattori, S.: “Application of Plasma Polymers”, in *Plasma Deposition, Treatment, and Etching of Polymers*, edited by R. d'Agostino, Academic Press, Inc., London, (1990).
- [33] Shelley, T.: “Siloxane Coatings Hold Key to Metal Protection”, *Euroka Engineering Materials and Design*, (1996) 28-29.
- [34] Morosoff, N.: “An Introduction to Plasma Plasma Polymerisation”, in *Plasma Deposition, Treatment, and Etching of Polymers*, edited by R. d'Agostino, Academic Press, Inc., London , (1990).
- [35] Akbulut, H.: *Nano Nano Kaplama Teknikleri*, Sakarya Üniversitesi, (2006)
- [36] I. Langmuir, I.: “The Interaction of Electron and Positive Ion Space Charges in Cathode Shcaths”, *Phys. Rev.*, 33, (1929),954-989
- [37] Grill, A.: “Cold Plasma in Materials Fabrication, IEEE Pres”, *Piscatavray* (1993).
- [38] Sabata, A.; Van Ooij, W.J.; Yasuda H.K., “Plasma- Polymerized Films of Trimethylsilane Deposited on Cold-Rolled Steel Substrates. Part 1. Characterization by XPS, AES and TOF-SIMS”, *Surface and Interface Analysis*, v 20, n10, (1993), 845-859.

- [39] Atar, F.; Johannesson, T.: “Adhesion Evaluation of Ceramic Coatings on Tool Steel Using the Stratch Testing Technique”,*Surface and Coatings Tech.*, 78, (1996), 87-102.
- [40] Stock, H.R.; Berndt, H.; Mayr, P.: “Plasma-Assisted Chemical Vapour Deposition with Titanium Amides as Precursors”,*Surface and Coatings Tech.*, 46, (1991), 15-23.
- [41] Beck, A.J.; Candan, S.; Short, R.D.;Goodyear, A.; Braithwaite, N. St. j.: “The role of Ions in the Plasma Polymerization of Allylamine”,*J. Phy. Chem. B.* 105. (2001), 5730—573.
- [42] Candan, Ş.: “Çelik yüzeylerin boyanma, yapışma ve korozyon özelliklerini arttırmak için RF ve PECVD plazma filmler ile kaplanması”,*I.Demir-Çelik Sempozyum Bildirileri* 107 ,Makine Mühendisleri Odası.
- [43] Davv, R.; Candan, S.; Beck, A.J.; Devlin A.J.; Brook, I.M.; MacNeil, S.; Davvson, R.A.; Short, R.D: “Plasma Copolymer Surfaces of Acrylic Acid / 1.7 Octadiene: Surface Characterisation and the Attachment of ROS 17/2.8 Osteoblast-like cells”,*Biometarials*, 19,(1998) , 1717-1725.
- [44] Ratner, B.D.; Chilkoti, A.; Lopez, G. P.: “Plasma Deposition and Treatment for Biomaterial Applications”, in d'Agostino, Plasma Deposition. Treatment, and Etching of Polymers, edited by R. d'Agostino, *Academic Press, Inc.*, London . (1990).
- [45] Morita, S.; Hattori, S.: “Application of Plasma Polymers” in Plasma Deposition, Treatment, and Etching of Polymers, edited by R. d'Agostino, *Academic Press, Inc.*, London, (1990).
- [46] Chryssou, C.E.; Pitt, C.W.: “Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Thin Films by Plasma Enhanced Chemical Vapour Deposition Using Trimethyl-Amine Alane (TMAA) as the Al Precursor”, *Appl. Phys.*, (1997), 469-475.
- [47] Wrobel, H.; Wertherimer W.J, “Plasma Deposition, Treatment, and Etching of Polymers”, edited by R. d'Agostino, *Academic Press, Inc.* London, (1990)
- [48] McCulloch, A.; Man, H.T.; Song, K.; Yoon, H.: “Mechanical Failure in Thin-Film Nonlinear Optical Polymers: Structure and Processing Issues, *J. Appl. Polym. Sci.*, 53,(1994), 665-676.

- [49] Shi, F.F.: “Developments in Plasma-Polymerized Organized Thin Films with Novel Mechanical, Electrical and Optical Properties”, *J. M. S.-Rev. Macromol. Chem. Phys.*, (1996), 795-826.
- [50] Candan, S.; Beck, A.J.; Toole, L.O.; Short, R.D.: “The Effect of 'Processing Parameters' in Plasma Deposition: Acrylic Acid Revisited”, *Journal Vacuum Science and Technology*, A16 (3),( 1998),1702-1709.
- [51] Inagaki, N.; Yasuda, H.: “Adhesion of Glow Discharge Polymers to Metals and Polymers”, *J. Appl. Polym. Sci.*, 26, 1981,3333-3341.
- [52] Mernagh, V. A.; Kelly, T.C.; Ahern, M.; Kennedy, A.D.; Adriaansen, A.D.M.; PRamaekers, P.P.J.; McDonnell, L.; Koekoek, R.: “Adhesion Improvements in Silicon Carbide Deposited by Plasma Enhanced Chemical Vapour Deposition' *Surface and Coatings Tech.*, 49, (1991), 462-467
- [53] Li, Z.F.; Netravali, A.N.: “Surface Modification of UHSPE Fibers Through Allyamine Plasma Deposition. II. Effect on Fiber and Fiber/Epoxy Interface”, *J. Appl. Polym. Sci.*, 44, (1992), 333-346.
- [54] Li, R.; Ye, L.; Mai, Y-W.: “Application of Plasma Technologies in Fibre-Reinforced Polymer Composites: a Review of Recent Developments” *Composites Part A*, 28A, (1997), 73-86.
- [55] [www.koumakina2001.8m.com](http://www.koumakina2001.8m.com) (15.09.2008).
- [56] [www.titanit.com.tr](http://www.titanit.com.tr) (15.03.2008) .
- [57] [www.barismetalkaplama.com](http://www.barismetalkaplama.com) (10.04.2008).
- [58] [www.galsangalvano.com](http://www.galsangalvano.com) (03.02.2009).
- [59] [www.eksenkimya.com](http://www.eksenkimya.com) (02.10.2008).
- [60] [www.ugurkaplama.com](http://www.ugurkaplama.com) (26.07.2008).
- [61] Kagiya, Y.; Tsuda, K.; Fukui, H.; Iyori, H.; Yamagata, K. : “Development of DLC Coating Film (AURORACOAT) and its Application to Tools”, *Sei Technical Review*.Number 55. January ( 2003).
- [62] Erdemir, A.: “Genesis of Superlow Friction and Wear in Diamondlike Carbon Films”, *Tribology International*, 37, 1005 – 1012 (2004).
- [63] Kurt, M.; “304L Paslanmaz Çelik Üzerine DLC Kaplanması Mekanik-Tribolojik Özelliklerinin Araştırılması”, *Y.Lisans Tezi* ,Atatürk Üniversitesi,Fen Bilimleri Enstitüsü (2006)
- [64] Aisenberg, S.: “Properties and Applications of Diamondlike Carbon Films”, *J. Vac. Sci. Technol*,A, 2, 2 (1984).

- [65] Jianguo, D.; D.; Manuel, B.; Ying, W.: “Reactive Sputtered Titanium Carbide/Nitride and Diamondlike Carbon Coatings”, *J. Vac. Sci. Technol. A*, 16, 4, (1998).
- [66] Wei, Q.; Narayan, R. J.; Sharma, A. K.; Sankar, J.: “Preparation and Mechanical Properties of Composite Diamondlike Carbon Thin Films”, *J. Vac. Sci. Technol. A*, 17, 6.
- [67] Pasinli, A.: “Biyomedikal Uygulamalarda Kullanılan Biyomalzemeler”, *Teknolojik Araştırmalar*, 4, 25 – 34, (2004).
- [68] Venables, J. D.; Wernick, J.H.; Angus, J. C.; Bell, P. M.; Cuomo, J.J., DeVries, R.C.; Feldman A.; Gels Michael W.; Hoover, D.S.; Messier, R.: “Status and Applications of Diamond and Diamond-Like Materials”, *An Emerging Technology Report of the Committee on Superhard Materials*, (1990)
- [69] Koji, K.: “Wear in Relation to Friction”, *A Review*, *Wear*, 241, 151-157, (2000).
- [70] Donnet, C.; Gril, A.: “Friction Control of Diamond-Like Carbon Coatings”, *Surface and Coatings Technology*, 94-95, (1997) 156 – 462.
- [71] Franks, J.: “Preparation and Properties of Diamond Like Carbon Films”, *J. Vac. Sci. Technol. A*, 7, 3, (1989).
- [72] Scholl, R.A.: “Power Systems for Reactive Sputtering of Insulating Films”, *Surface and Coatings Technology*, 93, (1997) 7 – 13.
- [73] Chabot, R.: “Ion-Beam Deposition of Thin Films of Diamondlike Carbon”, *Journal of Applied Physics*, 42, (1971) 2953 – 2958.
- [74] Reinhard D., 2001, *Diamond Thin Films Handbook*, New York, USA, p 83.
- [75] Hsieh, W. P.; Wang, D. Y.; Shieu, F. S.: “Characterization of the Ti-Doped Diamond Like Carbon Coatings on a Type 304 Stainless Steel”, *J. Vac. Sci. Technol. A*, 17, 3, (1999).
- [76] Kim, H.; Ahn, S.; Kim, J.; Park, S.; Lee, K.: “Electrochemical Behavior of Diamond-Like Carbon Films for Biomedical Applications”, *Thin Solid Films*, 475, (2005), 291– 297.
- [77] Ishihara, M.; Kosaka, T.; Nakamura, T.; Tsugawa, K.; Hasegawa, M.; Kokai, F.; Koga, Y.: “Antibacterial Activity of Fluorine Incorporated DLC Films”, *Diamond & Related Materials*, 15, (2006), 1011 – 1014.

- [78] Akira, S.; Masaki, N.; Yoshinori, K.; Hideyuki, K.; Terumitsu, H.; Tetsuya, S.: “Diamond-Like Carbon Films for PET Bottles and Medical Applications, *Thin Solid Films*”, (2006) 494, 84 – 91.
- [79] Zolgharni, M.; Jones, B.J.; Bulpett, R.; Anson, A.W.; Franks, F.: “Energy efficiency improvements in dry drilling with optimised diamond-like carbon coatings”, *Diamond & Related Materials* ,(2008).
- [80] Flom, D.G.; Komanduri, R.; Lee, M.: “ *Annual Review of Materials Science*”,14 (1984) 231.
- [81] Rivero, A.; Aramendi, G.;Herranz, S.; Lopez, L.N.; Lacalle, D.: *J. Adv. Manuf Technol.* 28 (2006) 1.
- [82] Zou, J.W.; Reichelt, K.; Schmidt, K.; Dischler, B.;*Appl. Phys.* 65 (1989) 3914.
- [83] Khan, R.U.A.; Carey, C.D.; Silva, S.R.P.; Jones, B.J.; Barklie, R.C.: *Phys. Rev B* 63 (2001) 121201 (R).
- [84] Hanyu, H.; Kamiya, S.; Murakami, Y.; Kondoh, Y.: “The improvement of cutting performance in semi-dry condition by the combination of DLC coating and CVD smooth surface diamond coating”, *Surface & Coatings Technology* 200 (2005) 1137– 1141
- [85] Alpas, A.T.; Bhowmick, S.: “Minimum quantity lubrication drilling of aluminium– silicon alloys in waterusing diamond-like carbon coated drills” *,International Journal of Machine Tools & Manufacture* (2008)
- [86] Ueng, H.Y.; Guo, C.T.: “ Diamond-like carbon coatings on microdrill using an ECR-CVD system”, *Applied Surface Science* 249 (2005) 246–256
- [87] Frank, L.: *Surf. Coat. Technol.* 107 (1998) 191.
- [88] Ezugwu, E.O.;Okeke, C.I.; Mater, J.: *Process. Technol.* 116 (2001) 10.
- [89] Nickel, j.; Shuaib, N.; Yibas, B.S.; Nizam, S.M.: *Wear* 239 (2000) 155.
- [90] Derflinger, V.; Brandle, H.; Zimmermann, H.: *Surf. Coat. Techol* 113 (1999) 216.
- [91] Hockauf, W.; Proll, H.; Baüerle, R.;Eisenblatter, G.; Rehbein, W.: *VDI Berichte* 1375 (1998) 135.
- [92] Reusser, P.; Zaquini, L.: Report DLC Argor, “ Tests for evaluating the efficiency of the DLC coating” , Le Locle, le (2006)
- [93] Kalidas, S.; DeVor, R.E.; Kapoor, S.G.: “Experimental investigation of the effect od drill coatings on hole quality under dry and wet drilling conditions” *Surface and Coatings Technology* 148 (2001) 117-128

- [94] Rivero, A.; Aramendi, G.; Herranz, S.; Lopez de Lacalle, L.P.: “An experimental investigation of the effect of coatings and cutting parameters on dry drilling performance of aluminium alloys” *Int. J. Manuf Technol* (2006)28:1-11.
- [95] Nouari, M.; List, G.; Girot, F.; Coupard, D.: ”Experimental analysis and optimisation of tool wear in dry machining of aluminium alloys” *Wear* 255(2003) 1359-1368.
- [96] Zeilmann, R.P.; Weingaertner, W.L.: “Analysis of temperature during drilling of Ti6Al4V with minimal quantity of lubricant” *Journal of Materials processing Technology* (2006).
- [97] Kelly, J.F.; Cotterell, M.G.: “Minimal lubrication machining of aluminium alloys” *Journal of Materials processing Technology* 120(2002) 327-334.
- [98] Longbottom, J.M.: “Temperature measurement while machining”faculty of Computing, *Engineering and mathematical Sciences*, Bristol (2005).
- [99] Wan, Y.; Tang, Z.T.; Liu ,Z.Q.; Ai, X.: “The assessment of cutting temperature measurements in high speed machining” *Materials Science Forum Vols.* (2004)162-166.
- [100] Pirtini, M.; Lazoğlu, İ.: “Forces and hole quality in drilling” *International Journal of Machine Tools&Manufacture* 45(2005) 1271-1281.
- [101] Mohan, N.S.; Ramachandra, A.; Kulkarni, S.M.: “Influence of process parameters on cutting force and torque during drilling of glass-fiber polyester reinforced composites”*Composite Structures* 71 (2005) 407-413.
- [102] Strenkowski, J.S.; Hsieh, C.C.; Shih, A.J.: “An analytical finite element technique for predicting thrust force and torque in drilling” *International Journal of Machine Tools&Manufacture* 44 (2004) 1413-1421.
- [103] Bakkal, M.; Shih,A.J.; McSpadden, B.S.; Scattergood, R.O.: “Thrust force, torque, and tool wear in drilling the bulk metallic glass” *International Journal of Machine Tools&Manufacture* 45 (2005) 863-872.
- [104] Dinc, C.; Lazoglu, I.; Serpenguzel, A.: “Analysis of thermal fields in orthogonal machining with infrared imaging”, *journal of materials processing technology*, 198 (2008) 147–154.
- [105] Abukhshim, N.A.; Mativenga, P.T.; Sheikh, M.A.: “Heat generation and temperature prediction in metal cutting: a review and implications for high

- speed machining”, *international. J. Mach. Tools Manufacture* 46 (7-8),(2006) 782–800.
- [106] Kitagawa, T.; Kubo, A.; Maekawa, K.: Temperature, (1997). Wear of cutting tools in high-speed machining of Inconel 718 and Ti–6Al–6V–2Sn. *Wear* 202 (2), 142–148.
- [107] Grzesik, W.: “Experimental investigation of the cutting temperature when turning with coated indexable inserts.” *J. Mach. Tools Manufacture* 39 (3), (1999),355–369.
- [108] O’Sullivan, D.; Cotterell, M.: “Temperature measurement in single point turning”. *J. Mater. Process. Technol.* 118 (1–3),(2001), 301–308.
- [109] Ay, H.;Yang, W.J.: “ Heat Transfer”, (1998). “Life of metal cutting tools in turning”. *Int. J. Heat Mass Transf.* 41 (3), ,613–623.
- [110] Dewes, R.C.; Ng, E.; Chua, K.S.; Newton, P.G.; Aspinwall, D.K.: “ Temperature measurement when high speed machining hardened mould/die steel”. *J. Mater. Process. Technol.* 92/93, (1999) ,293–301.
- [111] Muller, B.;Renz, U.: “Time resolved temperature measurements in manufacturing”. *Measurement* 34,(2003) 363–370
- [112] Ming, C.; Fanghong, S.; Haili, W.; Renwei, Y.; Zhenghong, Q.; Shuqiao, Z.: “Experimental research on the dynamic characteristics of the cutting temperature in the process of high-speed milling.” *J. Mater. Process. Technol.* 138,(2003) 468–471.
- [113] Hervey, R.; Cook, N.: “ Thermal parameters in drill tool life”, *ASME paper* 65-Prod-15 (1965).
- [114] Agapiou, J.S.; DeVries, M.F.: ”On the determination of thermal phenomena during drilling-Part II-Comparison of experimental and analytical twist drill temperature distributions” *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 30 (1990) 217–226.
- [115] Agapiou, J.S.; DeVries M.F.:”On the determination of thermal phenomena during drilling-Part I-Analytical models of twist drill temperature distributions”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 30 (1990) 203–215.
- [116] Bono, M.; Ni, J.:”The effects of thermal distortions on the diameter and cylindricity of dry drilled holes” *International Journal of Machine Tools&Manufacture* 41(2001) 2261-2270.



- [117] Agapiou, J.S.; Stephenson, D.A.: “Analytical and experimental studies of drill temperatures”, *Journal of Engineering for Industry* 116 (1994) 54–60.
- [118] Loewen, E.G.; Shaw, M.C.: “ On the analysis of cutting-tool temperatures”, *Transactions of the A.S.M.E.* 76 (1954) 217–231.
- [119] DeVries, M.F.; Saxena, U.K.; Wu, S.M.: “Temperature distributions in drilling”, *Journal of Engineering for Industry* 90 (1968) 231–238.
- [120] DeVries, M.F.; Saxena, U.K.; Wu, S.M.: “Drill temperature distributions by numerical solutions “, *Journal of Engineering for Industry* (1971) 1057–1066.
- [121] Watanabe, K.; Yokoyama, K.; Ichimiya, R.: “ Thermal analysis of the drilling process”, *Bulletin of the Japan Society for Precision Engineering* 11 (1977) 71–77.
- [122] Mills, B.; Mottishaw, T.D.:”The application of scanning electron microscopy to the study of temperatures and temperature distributions in M2 high speed steel twist drills”, *Annals of the CIRP* 30 (1981) 15– 20.
- [123] Zeilman, R. P.; Weingaertner W. L.; “ Analysis of temperature during drilling of Ti6Al4V with minimal quantity of lubricant”, *Journal of Materials Tegnology* 179 (2006) 124 -127 .
- [124] Erdoğan, M.:, *Mühendislik alaşımların yapı ve özellikleri*, Nobel yayın Dağıtım, Ankara (2001).
- [125] Davim, J. P.: “A note the determination of optimal cutting conditions for surface finish obtained in turning using design of experiments”, *Journal of Materials Processing Technology*, 116: 305-308 (2003).
- [126] Roy, R. K.: “A primer on taguchi method”, *Competitive Manufacturing Series*, New York, 7-80 (1990).
- [127] Danacıoğlu, N.; Muluk, Z., “Taguchi teknikleri”, *İstatistik Konferansı*, Gazi Üniversitesi, Ankara, 261-272 (1999).

# ÖZGEÇMİŞ

1983 yılında Kütahya’da doğdu. Orta öğretim eğitimini Kütahya’nın Tavşanlı İlçesinde tamamladı. Lise eğitimini 1997–2001 eğitim yılı tarihleri arasında Trabzon İlinin Of İlçesi’nde bulunan H.M.B Ulusoy Anadolu Teknik Lisesi’nin CNC bölümünde tamamladı. Üniversite eğitimine Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Talaşlı Üretim Öğretmenliği Bölümünde 2002 yılında başladı.2006 yılında mezun oldu. Yüksek lisans eğitimine 2006 yılında Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalında başladı. Zeki Plastik Ambalaj ve Kalıp Sanayi Firmasının Ar-Ge Departmanında Kalıp Tasarımcısı ve Kalite Kontrol Sorumlusu olarak 2006–2009 yılları arasında çalıştı.

Hatice YAKUT