

T.C.
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Al 2024-T4 ALÜMİNYUMUN ELMAS BENZERİ KARBON (DLC)
KAPLANMIŞ MATKAPLARLA DELİNMESİNDE KESME
PARAMETRELERİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ VE
TAGUCHİ YÖNTEMİYLE OPTİMİZASYONU

Levent KUTLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI
MAKİNE EĞİTİMİ PROGRAMI

DANIŞMAN
Prof. Dr. Mustafa KURT

İKİNCİ DANIŞMAN
Dr. Ayhan ETYEMEZ

İSTANBUL 2009

T.C.
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Al 2024-T4 ALÜMİNYUMUN ELMAS BENZERİ KARBON (DLC)
KAPLANMIŞ MATKAPLARLA DELİNMESİNDE KESME
PARAMETRELERİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ VE
TAGUCHİ YÖNTEMİYLE OPTİMİZASYONU

Levent KUTLU
(141101720050042)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI
MAKİNE EĞİTİMİ PROGRAMI

DANIŞMAN
Prof. Dr. Mustafa KURT

İKİNCİ DANIŞMAN
Dr. Ayhan ETYEMEZ

İSTANBUL 2009

T.C.
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KABUL VE ONAY BELGESİ

Levent KUTLU'nun “**Al 2024-T4 Alüminyumun, Elmas Benzeri Karbon (DLC) Kaplanmış Matkaplarla Delinmesinde Kesme Parametrelerinin Deneysel İncelenmesi ve Taguchi Yöntemiyle Optimizasyonu**” isimli Lisansüstü tez çalışması, M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 12.01.2009 tarih ve 2009/02-8 sayılı kararı ile oluşturulan jüri tarafından Makine Eğitimi Anabilim Dalı Makine Eğitimi Programında YÜKSEK LİSANS Tezi olarak Kabul edilmiştir.

Danışman : Prof.Dr.Mustafa KURT (M.Ü.T.E.F.Makine Eğitimi Bölümü).....

Üye : Doç.Dr.Mustafa ÖKSÜZ (M.Ü.T.E.F.Metal Eğitimi Bölümü)

Üye :Yrd.Doç.Dr.Mustafa AY (M.Ü.T.E.F.Makine Eğitimi Bölümü)

Tezin Savunulduğu Tarih : 02.02.2009

ONAY

M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve sayılı kararı ile Levent KUTLU'nun Makine Eğitimi Anabilim Dalı Makine Eğitimi Programında Y.Lisans (MSc.) derecesi alması onanmıştır.

Marmara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü
Prof .Dr. Sevil ÜNAL

ÖNSÖZ

Üniversite öğrenim hayatım boyunca her başarımın mimarı olan ve her zaman bana güvenen Hocam Prof.Dr. Mustafa KURT'A, lisansüstü çalışmalarım süresince benden maddi ve manevi yardım ve desteğini esirgemeyen tez danışmanım Sayın Dr. Ayhan ETYEMEZ'E, deneysel çalışmalarım ve tezin oluşturulmasında destek veren arkadaşlarım ve hocalarım: Arş. Gör Uğur KÖKLÜ'YE Arş. Gör. Yusuf KAYNAK'A, Arş.Gör Bilçen MUTLU'YA, Arş.Gör.Dr. Gürcan ATAKÖK'E Tek.Öğrt. Emre ÖZEL'E ve son olarak en büyük desteğini gördüğüm Arş. Gör. Barkın BAKIR'A teşekkür ederim.

Benim bugüne kadar eğitimi üstlenen ve destek olan aileme ve eşim Hanife KUTLU'YA de sonsuz teşekkürü bir borç bilirim. Teşekkürler...

İÇİNDEKİLER

	SAYFA
ÖNSÖZ.....	İV
İÇİNDEKİLER	I
ÖZET.....	IV
ABSTRACT	V
SEMBOLLER	VI
KISALTMALAR.....	VII
ŞEKİLLER	VIII
TABLolar	X
BÖLÜM I. GİRİŞ VE AMAÇ.....	1
BÖLÜM II. GENEL BİLGİLER.....	3
II.1. TALAŞLI İŞLEMLERİN İMALAT TEKNİĞİNDEKİ YERİ	3
II.1.1. Talaş Kaldırma ve Takım Tezgahlarının Gelişmesi	4
II.2. DELİK DELME	5
II.2.1. Giriş.....	5
II.2.2. Delik Delmede Kullanılan Matkap Tezgahları	6
II.2.3. Delik Delme İşlemi	7
II.3. DELME İŞLEMİNİN ÖZELLİKLERİ.....	8
II.3.1. Matkapla Delik Delme	8
II.3.1.1. Kesme Kuvvetleri ve Güç	13
II.4. DELİK DELMEDE KULLANILAN KESİCİ	
TAKIMLAR(MATKAPLAR)	16
II.4.1. Matkap Malzemeleri	17
II.4.1.1. Yüksek Hız Çelikleri (HSS).....	20
II.4.2. Matkapların İmalat Yöntemleri.....	23

II.4.3. Matkapların Sınıflandırılması	25
II.4.3.1. Normal Matkaplar	27
II.4.3.2. Değiştirilebilir Uçlu Matkaplar (U Drills)	29
II.4.3.3. Derin Delik Matkapları	30
II.5. SİRAL MATKAPLAR.....	32
II.5.1. Spiral Matkabın Yapısı	34
II.5.2. Öz Kalınlığının Talaş Kaldırmaya Etkisi.....	35
II.5.3. Kesici Ağız Serbest Açısının Talaş Kaldırmaya Etkisi	36
II.5.4. Helis Açısının Talaş Kaldırmaya Etkisi.....	37
II.5.5. Uç Açısının Talaş Kaldırmaya Etkisi.....	38
II.6. KAPLAMA YÖNTEMLERİ	38
II.6.1. PVD Yöntemi.....	38
II.6.2. CVD Yöntemi	40
II.7. DLC KAPLAMALAR	41
II.8. LİTERATÜR BİLGİLERİNİN İRDELENMESİ.....	44
II.8.1. Kuru Delmede Sıcaklığa Tesir Eden Faktörler ve Sıcaklık Ölçüm Yöntemleri.....	44
II.8.2. Delik Delmede Kesme Kuvvetleri ve Tork.....	49
II.8.3. Matkaplarda Kaplama Türleri ve Delme Performansına Etkileri	52
BÖLÜM III. TEZ ÇALIŞMALARI.....	56
III.1. ARAŞTIRMA YÖNTEMİ.....	56
III.2. MATERYAL.....	56
III.2.1. CNC Freze Tezgahı	56
III.2.2. Deneyde Kullanılan İş Parçası Malzemesi (Al 2024-T4) ve Özellikleri	57
III.2.3. Deneyde Kullanılan Kesici Takımlar	58
III.2.4. Deneyde Kullanılan Sıcaklık Ölçüm Cihazları	59
III.2.5. Deneyde Kullanılan Kuvvet Ölçüm Cihazları.....	60
III.2.5.1. Kuartz Dinamometre	60
III.2.5.2. Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Cihazı.....	61
III.2.5.3. Analiz Programı	62
III.3. METOT	62
III.3.1. TAGUCHİ İLE DENEY TASARIMI.....	62

III.3.1.1. Çalışmanın Deney Tasarımı ve Optimizasyon için Taguchi Metodu	65
III.2.3.1. Faktörlerin Belirlenmesi ve Ortogonal Dizin	66
III.3.1.2. Delme Sıcaklığı (DT) , İtme Kuvvetinin (F) ve Ortalama Yüzey Pürüzlülüğünün (Ra) ölçümü ve sonuçları.....	67
III.3.2. Analiz ve Optimizasyon	70
III.3.2.1. Delme Sıcaklığının Sonuçları ve Optimizasyon	70
III.3.2.2. İtme Kuvveti (F) Sonuçları ve Optimizasyonu	72
III.3.2.3. Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü (Ra) Sonuçları ve Optimizasyonu...	74
III.3.2.4. Optimal seviyelerin tahmini	76
III.3.2.5. Doğrulama Deneyleri	76
BÖLÜM IV. SONUÇLAR, TARTIŞMA VE DEĞERLENDİRME	78
KAYNAKLAR.....	80
ÖZGEÇMİŞ.....	

ÖZET

Al 2024-T4 ALÜMİNYUMUN ELMAS BENZERİ KARBON (DLC) KAPLANMIŞ MATKAPLARLA DELİNMESİNDE KESME PARAMETRELERİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ VE TAGUCHİ YÖNTEMİYLE OPTİMİZASYONU

Alüminyum değişik ürünlerin yapımı için birçok endüstride kullanılmakta ve dünya ekonomisi için önem arz etmektedir. Alüminyum ve alüminyum alaşımlarından yapılan yapısal bileşenler uzay endüstrisi için hayati öneme sahiptir. Ayrıca uzun ömür, sağlamlık ve hafifliğin istendiği diğer taşıma ve inşaat alanlarında da büyük önem taşımaktadır.

Delme, havacılık, uzay ve otomotiv endüstrilerinde oldukça yaygın kullanım alanı olan bir imalat prosesidir. Ultrasonik imalat, elektrolitik imalat, aşındırıcı jet ile işleme ve lazer kesme gibi modern imalat yöntemleri üretim endüstrisinde geniş uygulama sahasına sahip olmasına rağmen, matkap ile delik delme ekonomikliği ve basitliğinden dolayı hala en yaygın imalat yöntemlerinden biridir.

Bu çalışmada, Al 2024 alaşımının DLC kaplanmış matkaplarla delinmesi esnasında, kesme parametrelerinin ve matkap çapındaki değişimin delme sıcaklığı, kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi araştırılmıştır. Kesme sıcaklığı termokupul kullanılarak ölçüldü. Kesme kuvvetlerini ölçmek için Kistler dinamometre kullanıldı. Delik yüzeyinin pürüzlülüğü MARH-Perthometer kullanılarak belirlendi. Son olarak delme prosesi Taguchi optimizasyon tekniği kullanılarak optimize edildi.

ABSTRACT

EXPERIMENTAL INVESTIGATION AND TAGUCHI OPTIMIZATION FOR THE EFFECT OF CUTTING PARAMETERS ON THE DRILLING OF Al 2024-T4 ALLOY WITH DIAMOND LIKE CARBON (DLC) COATED DRILLS

Aluminum is used in many industries to make different products and is significant to the world economy. Structural components made from aluminum and aluminum alloys are vital to the aerospace industry and very important in other areas of transportation and building in which durability, strength and light weight are desired.

Drilling process is widely used in aerospace, aircraft and automotive industries. Although modern metal cutting methods have widespread applications in the manufacturing industry, including drilling, ultrasonic machining, electrolytic machining, abrasive jet machining and laser cutting conventional drilling still remain to be the most common machining processes because of economical reasons and simplicity.

In this study, the effect of cutting parameters and changes in the diameter of the drill on drilling temperature, cutting forces and surface roughness in dry drilling of Al 2024 alloy using diamond like carbon coated drills are investigated. The cutting temperature was measured by using a thermocouple. Kistler dynamometer was used for the measurements of the cutting forces during drilling process. The surface roughness of drilled hole surface was determined by using MARH-Perthometer. Finally, the Taguchi technique was employed for the optimization of drilling process.

SEMBOLLER

V_c	: Kesme Hızı (m/dak)
f	: İlerleme (mm/dak)
n	: Devir Sayısı (dev / dak)
kc	: Özgül kesme kuvveti (N/mm ²)
μ	: Sürtünme Katsayısı
Z	: Takım Ömrü (dak)
T	: Ortalama Kesme Kenarı Dayanım Süresi
no	: Bileme Sayısı
F_e	: Toplam Teğetsel Kuvvet (N)
M	: Tork (Nm)
P	: Güç (kw)
η	: Verim
Ra	: Ortalama yüzey pürüzlülüğü (mikrometre)
F	: İtme kuvveti (N)

KISALTMALAR

DLC	: Elmas benzeri karbon
TC	: Termokupl (Isıl Çift)
HSS	: Yüksek hız çeliği (hava çeliği)
MFD	: Çok Yüzeyle Matkaplar
NPD	: Yeni Uçlu Matkaplar
CBN	: Kübik Bor Nitrür

ŞEKİLLER

SAYFA NO

Şekil II.1. Çok Matkaplı Tezgah [13].....	7
Şekil II.2. Değişik Delik İşleme Yöntemleri	9
Şekil II.3. Parça Tutturma Yöntemleri	10
Şekil II.4. Kesme Hızı- İlerleme Hızı.....	11
Şekil II.5. Talaş Derinliği	12
Şekil II.6. Kesici Kenar Başına İlerleme Ve Talaş Kesit Alanı	12
Şekil II.7. İlerleme Uzunluğu	13
Şekil II.8. Kesme Kuvvetinin Bileşenleri.....	14
Şekil II.9. Delme Ve Çevreden Kesme İşleminde Kuvvet Faktörü	15
Şekil II.10. Kesme Gücü	15
Şekil II.11. Kaynaklı Matkapların İmalat Yöntemleri.....	24
Şekil II.12. Delikli Matkap (Sıvı Girişi Sap Ucundan)	27
Şekil II.13. Delikli Matkap Çeşitleri	28
Şekil II.14. Matkap Tipleri	28
Şekil II.15. Kademeli Matkaplar	29
Şekil II.16. Değiştirilebilir Uçlu Matkap.....	30
Şekil II.17. Değiştirilebilir Uçlu Matkaplar	30
Şekil II.18. Değiştirilebilir Uçlu Matkap Ucu Talaş Kırıcı Ve Silici Köşe.....	30
Şekil II.19. Kademeli Değiştirilebilir Uçlu Matkap	30
Şekil II.20. Derin Delik Matkapları.....	32
Şekil II.21. Üç Kesici Ağza Sahip Karbür Matkap	34
Şekil II.22. Spiral Matkap Genel ve Uç Yapısı	34
Şekil II.23. Matkap Öz Kalınlığı Uç Ve Yan Görünüşü	36
Şekil II.24. Matkap Öz Kalınlıkları.....	36
Şekil II.25. Matkap Helis Açılarları	37
Şekil II.26. Matkap Uç Açılarları	38
Şekil II.27. PVD Teknikleri.....	39
Şekil II.28. CVD Sisteminin Şematik Görüntüsü.....	41
Şekil II.29. DLC, Elmas ve Grafit Kristal'in Kristal Yapıları.....	43

Şekil II.30. DLC'nin Mikro Yapısı	43
Şekil II.31. Dörr'ün Deney Düzeneği	46
Şekil III.1. Johnford VMC – 550 Model CNC Freze Tezgahı.....	57
Şekil III.2. Deneyde Kullanılan Matkaplar	58
Şekil III.3. Termokuplun Yerleştirilme Düzeneği [1].....	59
Şekil III.4. Pico® TC-08 Marka 8 Kanallı Termokupl Data Toplayıcısı	59
Şekil III.5. Kistler Dinamometre.....	61
Şekil III.6. Yüzey Pürüzlülüğü Aritmetik Ortalaması.....	62
Şekil III.7. Taguchi Optimizasyon Uygulamasının Aşamaları [45].....	66
Şekil III.8. Deney Düzeneğinin Şematik Gösterimi [1].....	68
Şekil III.9. Deney Düzeneğinin Fotoğrafik Gösterimi.....	69
Şekil III.10. Kesme Parametrelerinin Delme Sıcaklığına Etkisi.....	71
Şekil III.11. Kesme Hızı ve Matkap Çapının Delme Sıcaklığına Etkisi	71
Şekil III.12. Delme Sıcaklığı İçin Kontrol Faktörlerinin S/N Oranları.....	72
Şekil III.13. Kesme Parametrelerinin İtme Kuvvetine Etkisi.....	72
Şekil III.14. İlerleme Oranı ve Matkap Çapının Değişiminin İtme Kuvvetine Etkisi	73
Şekil III.15. Maksimum İtme Kuvveti İçin Kontrol Faktörlerinin S/N Oranları	74
Şekil III.16. Kesme Hızı ve İlerleme Oranının Ortalama Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi	74
Şekil III.17. Matkap Çapının ve İlerleme Oranının Ortalama Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi	75
Şekil III.18. Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü İçin Kontrol Faktörlerinin S/N oranları.	75

TABLolar

SAYFA NO

Tablo II.1. Delik İşleme Yöntemlerinin Kalite Ve Yüzey Pürüzlülükleri.[2]	10
Tablo II.3. Kesici Takım Malzemeleri.....	22
Tablo II.4. Helis Adımlarına Göre Matkap Çeşitleri Ve Kullanıldığı Yerler	26
Tablo II.5. N Tipi Matkap için Kesme Açıları.....	26
Tablo III.1. CNC Freze Tezgahının Teknik Spesifikasyonları.....	57
Tablo III.2. Al 2024-T4'ün Kimyasal Kompozisyonları.....	58
Tablo III.3. Al 2024-T4'ün Mekanik Özellikleri.....	58
Tablo III.4. Matkapların Boyutsal Ve Mekanik Özellikleri	58
Tablo III.5. Kuvvet Sensörünün Teknik Özellikleri	61
Tablo III.6. Ortogonal Dizin Tipleri	64
Tablo III.7. Kontrol Faktörleri ve Seviyeleri.....	67
Tablo III.8. Taguchi L ₉ Deney Tasarımı.....	67
Tablo III.9. Deneylerden Elde Edilen Sonuçlar.....	69
Tablo III.10. Taguchi L ₉ Deney Tasarımı	70
Tablo III.11. Delme Sıcaklığı (DT) İçin Optimal Seviyeler.....	77
Tablo III.12. İtme Kuvveti (F) için Optimal Seviyeler.....	77
Tablo III.13. Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü (Ra) İçin Optimal Seviyeler.....	77

BÖLÜM I.

GİRİŞ VE AMAÇ

Talaşlı imalat yıllardır önemini korumakta olup, bu alanda yapılan çalışmalar ise imalat firmaları tarafından yakinen takip edilmektedir. Her imalatın bir maliyeti ve bu maliyeti belirleyen faktörler vardır. Kesici takım ve iş parçası maliyetini; talaşlı imalattaki en önemli faktörlerden sayılabilir. Dolayısıyla üretim maliyetini düşürüp, ürünü daha ucuza mal etmek için bu faktörleri dikkate almak gerekmektedir.

Kesici takımın daha uzun ömürlü olabilmesi ve iş parçasının ise istenilen kalitede üretilerek hammadde israfını önlemek için, kesme performansı ve şartlarını optimize etme gerekliliği ortaya çıkmıştır. Bunu gerçekleştirebilmek için, kesici takımların ömrüne tesir eden etkenler ile iş parçasının kalitesinin belirlenmesinde etkili olan etkenler bilim adamları tarafından araştırılmaktadır. Uzun yıllardır yapılan çalışmalar göstermektedir ki; delik delmede matkap ömrünü ve iş parçası kalitesini etkileyen birçok parametre ve durum vardır. Kesici takım ömrü ve üretilen ürünün kalitesini etkileyen faktörler, kesici takımın geometrik özellikleri, kesici takım uç açısı, ilerleme oranı, kesme hızı, talaş derinliği, kaplamalar, soğutma sıvısı, talaş kırıcı formu, iş parçası ve kesici takımdaki rijitlik oranı vs. gibi parametreler hem kesici takım ömrünü hem de üretilen ürünün kalitesini etkileyen parametrelerdir. Bu parametrelerin, iş parçası malzeme özelliğine uygun olarak seçilmesi; kesici takım ömrünü ve üretilen ürünün yüzey kalitesini arttırarak, üretim maliyeti, ve sarf edilen enerjiyi azalmaktadır. Tüm bunlar dikkate alındığında, matkap ile delik delmede iş parçası malzeme özelliğine uygun kesme parametrelerinin seçilmesinin önemi görülmektedir.

İmalat prosesinde dikkat edilmesi gereken konulardan biride, imalat süresince çevreye verilen zarar mümkün olduğunca azaltabilmektir. Çevreyle uyumlu ürünlerin gözde olduğu günümüz dünyasında, bu ürünler üretim sürecinde de mümkün olduğunca çevreyle uyumlu ortamlar oluşturmak ve bu ortamlarda imalatı

gerçekleştirmek gerekmektedir. Bu durumda, talaşlı imalatta kuru işleme ön plana çıkmaktadır. Böylece, soğutucu sıvıların çevreye vereceği zarar ortadan kaldırılmış olacaktır. Soğutucu sıvı kullanmaksızın imalat yapabilmek ise gttr. Soğutucu sıvılar sayesinde iş parçası ile kesici takım arasında, sürtünmeden dolayı oluşan ısı azaltılmakta ve soğutucu sıvılar; kesme prosesinde oluşan talaşların kesme bölgesinden uzaklaşması ve kırılmasına yardımcı olmaktadır. Soğutucuların kullanılmaması yukarıda bahsedilen problemlerin oluşmasına neden olacaktır. Bu problemlerin en aza indirgenebilmesi için, kaplama teknolojilerinden yararlanılmaktadır. İş parçasının özellikleri dikkate alınarak kaplanmış kesici takımla 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 2024-T4 alaşım malzemesi delinmiştir.

BÖLÜM II.

GENEL BİLGİLER

II.1. TALAŞLI İŞLEMLERİN İMALAT TEKİNİĞİNDEKİ YERİ

İmalatın amacı, ham madde halinde bulunan herhangi bir malzemeyi, belirli bir şekle dönüştürmektir. İmalat, insan ve hayvan gücü kullanılarak ilkel yöntemlerle veya mekanik enerji kullanılarak makinelerle yapılabilir. Makinelerin çoğunlukla kullanıldığı imalat sistemine sanayi denilir. Toplumun, örneğin tarım, tekstil, gıda vs gibi herhangi bir üretim alanına tatbik edilebilen sanayi, ülkenin kalkınmasında ve ekonominin gelişmesinde önemli rol oynar.

İmalatın hedefi olan ürün, üretim araçları ile gerçekleştirilir. Çok geniş bir anlamda tüm üretim araçlarına takım tezgahı denilebilir. Ancak dar bir anlamda tüm üretim araçlarına sadece metal, plastik, ahşap ve taş gibi malzemeleri işleyen ve bunlara belirli bir şekil veren üretim araçlarına takım tezgahı denilir. Takım tezgahlarından en yaygın olanları metalik malzemeleri işleyen takım tezgahlarıdır.

Takım tezgahına bağlanan, belli bir geometriye sahip kesici takım aracılığıyla istenilen boyut ve biçimde parça üretilmesi veya iş parçasından fazla malzemelerin talaş şeklinde kaldırılma işlemine, özellikle iş parçası metal ise bu işlem “Talaş Kaldırma” işlemi olarak adlandırılır.

Herhangi bir imalat, şekil değişimine uğrayan malzemenin yanı sıra, imalat yönetimi, takım ve tezgah olmak üzere üç etkenin yardımı ile gerçekleşir. İmalat yöntemi, ham maddeye şekil vermek için uygulanan fiziksel olay; takım, imalat işlemini gerçekleştiren eleman; tezgah, imalat yöntemini gerçekleştirmek için hammaddeye ve takıma gereken hareketleri sağlayan makinedir. Tekniğin gelişmesi ile, bu konular kendi aralarında yapılan incelemelerin ve araştırmaların sonucu olarak ayrı ayrı gelişme göstermişler ve günümüzde, İmalat Yöntemleri, Takım Konstrüksiyonu ve Tezgah Konstrüksiyonu olarak ayrı ayrı bilim dallarını oluşturmuşlardır. Bunun yanı sıra, imalat işlemini kolaylaştırmak ve işlem kalitesini

sağlamak amacı ile gerek parçaların, gerekse takımların tezgaha tutturulmasını inceleyen Tutturma Tertibatı Konstrüksiyonu; bir parçaya nihai şekli vermek için, en yüksek prodüktiviteyi ve en düşük maliyeti sağlamak amacı ile uygulanması gereken imalat yöntemlerini inceleyen İmalat Teknolojisi; aynı kriterlere göre tüm fabrika çapında veya fabrikalardan kurulu holding ve karteller çapında imalat proseslerini inceleyen Fabrika Organizasyonu ve Yöneylem Araştırması gibi bilim dalları meydana gelmiştir.

İmalat yöntemleri, mekanik ve fiziksel-kimyasal olmak üzere iki büyük gruba ayırabiliriz. Bunlardan en önemlisi olan mekanik imalat yöntemleri talaşlı ve talaşsız olmak üzere iki gruba ayrılır. Adı üzerinde talaşsız imalat yöntemleri, talaş kaldırmadan, talaşlı imalat yöntemleri ise talaş kaldırarak şekil veren yöntemlerdir. Talaşsız imalat yöntemleri döküm, dövme, presleme, haddeleme, çekme, derin çekme, sıvama, bükme, kaynak, lehim, yapıştırma ve perçinlemedir; talaşlı imalat yöntemleri ise, tornalama, delik delme, delik işleme, kesme ve kanal açma, vida çekme, frezeleme gibi işleri kapsamaktadır. Fiziksel-kimyasal işleme grubuna elektro erozyon, tel erozyon, kimyasal, elektro-kimyasal, elektron, lazer ve plazma ile işleme gibi yöntemler girmektedir.

Çok kısa zamanda gerçekleştirilmelerine rağmen, talaşsız imalat yöntemleri, yüzey, boyut ve şekil kalitesi bakımından parçada istenilen kaliteyi sağlayamamaktadırlar. Bu nedenle, bu şekilde imal edilen parçaların yüzeylerinin bir kısmı veya tamamı, talaşlı imalat yöntemleri ile işlenmektedir. Bundan dolayı talaşlı imalat yöntemleri sıra bakımından birinci, talaşsız imalat yöntemleri ise ikincidir denilebilir.

II.1.1. Talaş Kaldırma ve Takım Tezgahlarının Gelişmesi

Üretim aracı olarak takım tezgahlarının kullanılması insanlık tarihi ile başlar. Ancak 19. yüzyılın başlangıcında İngiltere ve diğer Batı Avrupa ülkeleri sanayi devriminin başlamasıyla, takım tezgahları günümüzdeki anlamı ile hızlı bir gelişme göstermişler ve bu ülkelerde, sanayinin beklemediğini oluşturan güçlü bir takım tezgahı sanayi kurulmuştur.

Sanayinin ilk aşamasında parçalar, tezgahlarda kaba boyutları ile işleniyor ve sonra birbirleri ile çalışması (montajı) için elle alıştırma yapılıyordu.

19. yüzyılın ortalarında, parçaların değiştirilebilirlik ilkesinin bulunması, parçaların tezgahlarda toleranslı olarak imal edilmesini sağlamış ve montajlar, elle alıştırma ile değil de, parçanın tezgahlarda işlenmiş hali ile yapılabilmektedir. Bu buluş prodüktiviteyi artırarak seri imalatın ilk etken olmuştur. 19. yüzyılın sonlarına doğru imalat teknolojisinin ve imalat organizasyonunun ilkelerinin tespiti ile seri imalat çağı başlamış, 1900 yılında, o tarihe kadar takımlar için kullanılan alaşımsız ve az çeliklerinin yanı sıra, Taylor tarafından hız çelikleri uygulamaya konulmuş, kesme hızlarında ve buna bağlı olarak üretimde büyük artışlar sağlanmıştır.

Bu şekilde lokomotifler, motorlar, türbinler, ucuz fiyata otomobiller, dikiş makineleri ve saatler daha çok imal edilmeye başlanmıştır. 1930'lu yıllarda sert karbürlerin bulunması, kesme hızlarını daha da artırarak daha kaliteli yüzeylerin elde edilmesini sağlamıştır. Şöyle ki, bu gelişmelerin sonucu olarak atölyelerde başlayan usta ve işçilerin kişisel tecrübelerine dayanan talaş kaldırma olayı ampirik seviyeden bilim seviyesine ulaşmıştır. Bu hususta M.E, Merchant, F. W. Taylor ve M. Kronenberg gibi bilim adamlarının büyük katkıları olmuştur. Bu gelişmelere paralel olarak gerek takım gerekse tezgah konstrüksiyonunda önemli değişiklikler olmuş ve yine aynı yıllarda, üretimin artırılmasında önemli bir etken olan otomatik takım tezgahlarının imalatı başlamıştır.

Talaş kaldırma ve Takım tezgahı alanındaki gelişmeler, özelliğinden dolayı, diğer gelişmeler; örneğin ulaşım, haberleşme, uzay, enerji alanındakiler gibi toplum tarafından sezilememekte ve takip edilememektedir. Ancak, yukarıda belirtilen tüm alanlardaki gelişmelerin gerçekleşmesini, takım tezgahı alanındaki gelişmelerin sağladığı unutulmamalıdır.

Takım tezgahlarında bu gelişmeyle birlikte güvenilirlik, verimli, hassas seri parçaların üretilmesi de kaplamalı karbür, seramik ve kübik bor nitrür gibi yeni kesici takım malzemelerinin de gelişmesine sebep olmuştur. Özellikle işleme maliyetini azaltmak, takım ömrünü artırmak ve daha iyi yüzey kalitesi elde etme isteği talaş kaldırma alanında araştırmaların yapılmasını zorunlu kılmaktadır[1].

II.2. DELİK DELME

II.2.1. Giriş

Delik delme, iş parçasından talaş kaldıran bir takımla silindirik delik açma metotlarının tamamına verilen bir addır.

Dönen ve eksenel bir hareketle iki ağza sahip bir kesiciye iş parçası üzerinde silindirik boşluklar elde etmek üzere yapılan işleme delme denir.

Delme terimi kısa ve derin delik delme işlemleri için olduğu kadar müteakip broşlama, raybalama, havşa başı açma işlemleri ve ovalama (veya parlatma) gibi çeşitli son işlemler için de kullanılır. Bütün bu işlemlerin ortak noktası, takımın kendi eksenini etrafında dönme hareketi ile eksenini yönünde ilerleyerek yapılan bir talaş kaldırma operasyonu olmasıdır. Geleneksel, derin delik delme ve kısa delik delme gibi birkaç çeşit delik delme metodu vardır. Bu metotlardan hangisine karar vereceğiniz ise, delik çapı, derinliği, toleransları, ve finiş işlemine bağlı olmakla beraber üretim ihtiyaçları delme makinesinin sipesifikasyonları ve operatörün performansına bağlıdır.

Önceleri delikler klasik, dikey tezgahlarda delinmiş ve delme işlemleri üretimde dar boğazlar oluşmasına neden olmuştur. Bu gün bu tezgahların bir çoğu yerlerini daha modern FMS sistemlerine, işleme merkezlerine ve NC / CNC tornalara ve frezelere bırakmışlardır.

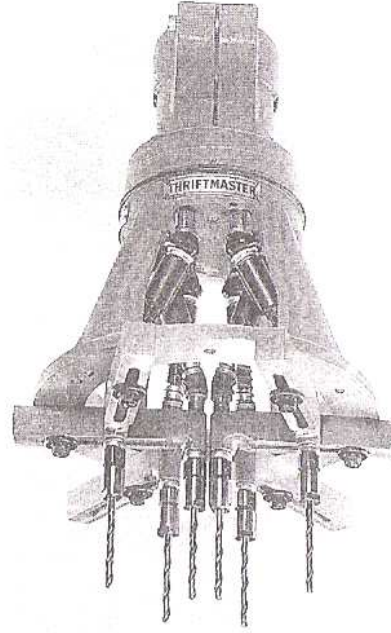
Kısa delik delme işlemi için geliştirilen kesici takımlar sayesinde delme işlemi öncesindeki ve sonrasındaki işlemlere olan gereksinim önemli ölçüde azalmıştır. Modern takımlar, delme işlemi herhangi bir merkezleme deliğine veya kılavuz deliğine gereksinim olmaksızın tek pasoda gerçekleştirirler. Delinmiş olan delik gerek boyut, gerekse yüzey kalitesi açısından ek bir işlem gerektirmeyebilir.

II.2.2. Delik Delmede Kullanılan Matkap Tezgahları

Matkap tezgahı adını taşıyan delik delme ve işleme tezgahları, çeşitli büyüklükte ve şekilde olabilirler. Yapılan işin türüne göre; tüm delik işlemlerini yapabilen veya sadece raybalama, havşa başı açma, vida açma gibi işlemleri yapan matkap tezgahları bulunmaktadır. Ayrıca, takımın konumuna göre dikey veya yatay olarak adlandırılan borwerg tezgahları mevcuttur. Delme işlemi; torna tezgahının karşı puntasına veya otomat tornaların revolver başlığına matkap bağlanarak ta yapılabilir.

Matkap tezgahları; masaüstü matkap tezgahı, sütunlu matkap tezgahı, radyal matkap tezgahı, borwerg (yatay delik işleme tezgahında),kütle imalatında kullanılan çok matkaplı tezgahlar ve CNC tezgahlar şeklinde gruplandırılabilir.

Aşağıdaki Şekil II.1’de kütle imalatında kullanılan çok matkaplı bir tezgah gösterilmiştir. Tezgahın ana milinden, kardan kaplinleri yardımıyla bir çok mile ve bunlara bağlı olan matkaplara hareket iletilir.



Şekil II.1. Çok Matkaplı Tezgah [13]

Günümüzde bu tezgahlar Nümerik Kontrollü (NC-CNC) şekilde yapılmaktadır. Böylece insan müdahalesi olmadan revolver başlığa bağlı olan takımlar işleme konumuna girer ve işleme operasyonu bittikten sonra işleme konumunu terk eder. Bu durumda; revolver başlığın ilerleme yörüngesine ait konumlar ye kesme faktörleri programda yazılır ve nümerik kontrollü tezgah tarafından otomatik olarak yerine getirilir.

II.2.3. Delik Delme İşlemi

Delik delme işlemi birçok yönden tornalama ve frezeleme işlemleriyle mukayese edilebilir, ancak bu işlemde talaşın kırılması ve boşaltılması çok daha büyük önem taşır. Delik derinleştikçe işlemin kontrolü ve talaşın boşaltılması zorlaşır. Derin delik delme işleminde yüzey ve delik kalitesi daha büyük öneme sahip iken, kısa deliklerde daha ekonomik bir işlem için daha yüksek talaş debilerinde çalışma önem kazanmaktadır.

Bu, kısa delik delme işlemi ile derin delik delme arasındaki farkın sadece çap ve delik derinliği ilişkisiyle sınırlandırılmamış olması demektir. Daha önce

bahsedilen talaş boşaltma, kalite ve talaş debisi ile ilgili parametreler derin delik delme ile kısa delik delme işlemlerini ayıran temel özelliklerdir.

Delik delme, esas itibariyle iki hareketin bir bileşimidir. Bu hareketler ana dönme hareketi ile doğrusal ilerleme hareketleridir. Eski klasik tezgahlarda kısa delik delme işlemi genellikle takımın dönerek ilerlemesi ile gerçekleştirilir, ancak kısa delik delme işlemlerinde NC ve CNC tezgahların kullanılmasıyla iş parçasının dönüp takımın sabit kaldığı delme işlemleri de yaygınlık kazanmışlardır.

En yaygın delik delme metodu dolu bir malzemenin *yekpare bir takım* kullanılarak belli bir çapa, tek operasyonda delinmesidir. Hem içten hem de dıştan kesen bir takımın kullanıldığı *çevreden kesme* (trepaning) metodu bir önceki delik delme işlemindeki kadar güç gerektirmeyen ve prensipte büyük çaplı deliklerin delinmesi için kullanılan bir metottur. Bazı işlemlerde delinecek deliğin yüzey kalitesinin ve delik toleransının iyileştirilmesi istenirse delme işlemini takiben bir delik genişletme işleminin uygulanması tavsiye edilir. Bu üçüncü delme metodu kısa delik delme matkaplarıyla gerçekleştirilen ancak yeterli hassasiyet sağlanabilmesi için özen gerektiren bir metottur.

II.3. DELME İŞLEMİNİN ÖZELLİKLERİ

II.3.1. Matkapla Delik Delme

Matkap denilen bir takımla yapılan delme işleminde kesme ve ilerleme hareketi, takımın dönmesi ve ilerlemesi ile gerçekleşir. Burada iş parçası sabittir. Lakin şuan ki bilimsel çalışmalarda matkap'ın sabitlenerek deneysel çalışmaların yapıldığını görmek mümkündür.

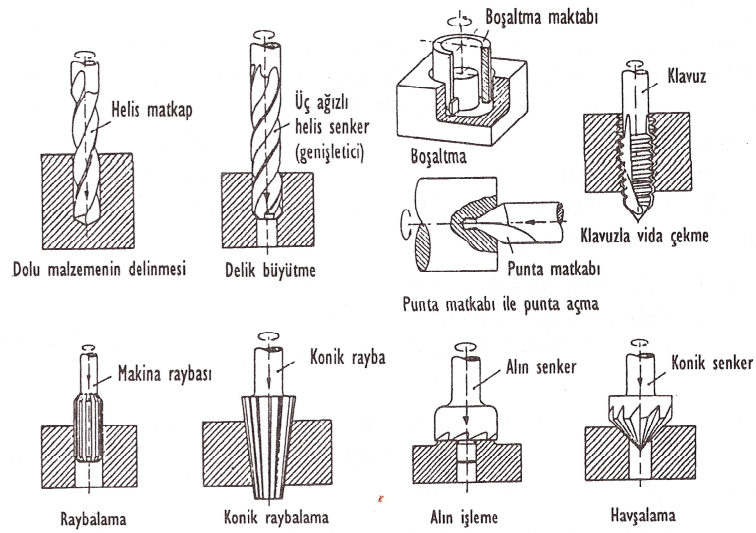
Delik delme ve işleme işlemi birçok değişik işparçasına ve malzemeye uygulanabilir. Bazen cıvata, vida ve diğer komponentler için delinmesi gereken delikte yüksek derecede tolerans doğruluğuna gerek olmayabilir. Fakat aynı zamanda, kama deliği veya kalıp pimleri gibi hassas deliklerde ise tolerans doğruluğu önem arz etmektedir.

Değişik delik işleme operasyonları vardır. Delik delme; yok olan bir deliği meydana getirme, delik genişletme; mevcut olan bir deliği daha büyük çapa getirme, raybalama ise mevcut olan deliğin işleme kalitesini iyileştirme amacını taşımaktadır. Klavuzla vida açma işlemi; mevcut bulunan bir deliğe cıvata takmayı sağlamak için

diş açma işlemidir. Havşa başı açma ve düzeltme, deliğe girecek bir parçanın örneğin cıvata başının daha iyi oturmasını sağlayan işlemdir.

Delik genişletme; delik delmede kullanılan spiral matkap veya sadece delik genişletmede kullanılan delik genişletme matkabı ile yapılır. Ayrıca bu işlem tornada tek ağızlı bir takım kullanılarak da gerçekleştirilir. Tek ağızlı bir takım ile delik genişletme işlemi, takımın aynı zamanda hem kesme, hem ilerleme hareketini yaptığı delik işleme tezgahlarında yapılabilir; bu işleme ‘boring’ bunu gerçekleştiren tezgahlara borwerg denilmektedir.

Matkapla delik delme veya genişletme; imalat ve yüzey kalitesi bakımından hassas bir işlem değildir. Delik delmeye ilave işlemler Şekil II.2’de verilmiştir.



Şekil II.2. Değişik Delik İşleme Yöntemleri

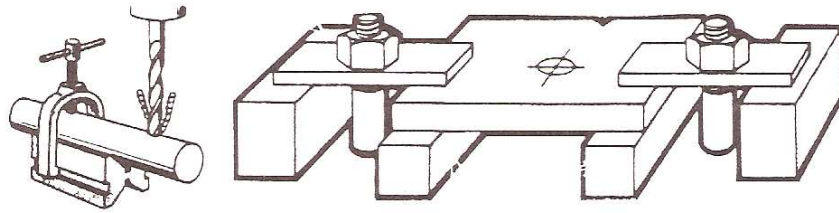
Aşağıdaki cetvel’de çeşitli delik işleme yöntemleri ile elde edilen kalite ve yüzey pürüzlülükleri verilmiştir.

Tablo II.1. Delik İşleme Yöntemlerinin Kalite Ve Yüzey Pürüzlülükleri.[2]

İşleme Yöntemi	ISO-kalitesi (ortalama değer) II	Pürüzlülük R_t (μm)	Yüzey Durumu
Delik Delme	12	80	kaba
Spiral matkapla delik genişletme	11	20	ince
Havşa başı açma	9	12	ince
Raybalama	7	8	Çok ince
Katerli takımla delik genişletme	7	8	Çok ince
Özel başlıklı takımla delik işleme	7	4	Çok ince

Delik işleme ile ilgili bir örnek olarak, Ø25 H7 kalitesinde bir deliğin işlenmesinde gerçekleştirilen operasyonlar şu şekildedir; 1. operasyon deliklerin markalanması, 2. operasyon Ø19 mm’lik spiral bir matkap ile deliğin açılması, 3. operasyon Ø23 mm’lik spiral bir matkapla delik genişletme, 4. operasyon Ø24,75 mm’lik delik genişletme matkabı ile delik genişletme, 5. operasyon üst yüzeyin düzeltilmesi, 6. operasyon Ø25 H7 bir rayba ile deliklerin raybalanması, Açılan deliklerin kontrolü; çapı ayarlanabilir master, sabit master, komparatör veya bilgisayar destekli dijital ölçme cihazlarıyla yapılabilir.

Delğin kalitesi matkap eksenini ile işlenen yüzey arasındaki açıdan da etkilenmektedir. Bu açı 70°’den daha küçük olursa, işlem iyi koşullarda yapılamaz. Bu durumda ön delme ve frezeleme gibi ön işlemler yapılır. En iyi işleme konumu matkap ekseninin işleme yüzeyine dik olmasıdır. Aşağıdaki şekil II.3’de matkap ile delinecek parçaların tablaya tespit edilme şekilleri görülmektedir.



Şekil II.3. Parça Tuturma Yöntemleri

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.

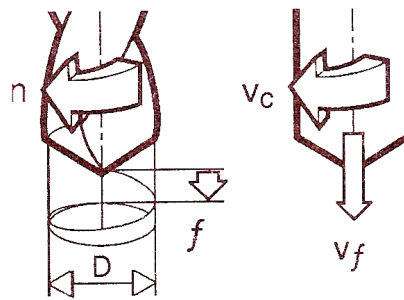
Delme işlemi için **kesme hızı** (V_c), çevresel hızdan yararlanılarak belirlenir, bu hız dakikadaki devir sayısı bilindiği takdirde kolaylıkla hesaplanabilir. (D) takım çapı olmak kaydıyla matkap bir dönüşte, çevresi olan bir daire çizer (Şekil II.4). Eğer çap mm cinsinden verilmişse, kesme hızının m/dak cinsinden ifade edilebilmesi için sonuç 1000'e bölünür.

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

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

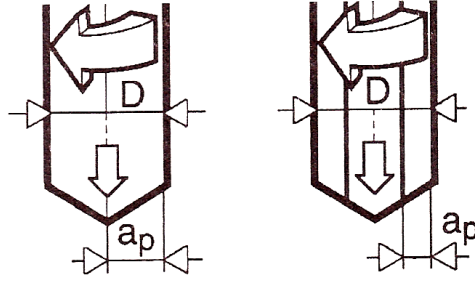
İlerleme hızı veya **parçaya nüfuziyet hızı** (V_f - mm/dak) birim zamanda alınan yol olarak tanımlanan, takımın iş parçasına göre veya alternatif olarak iş parçasının takıma göre ilerlemesidir. Bu aynı zamanda tezgahın veya tablanın ilerleme hızı olarak da bilinir.

Devir başına ilerleme (f - mm/dev) ilerleme hızını hesaplamak için kullanılan



bir büyüklük olup takım veya iş parçasının bir devirdeki ilerlemesidir.

Şekil II.4. Kesme Hızı- İlerleme Hızı



Şekil II.5. Talaş Derinliği

Talaş genişliği veya **radyal talaş genişliği** (a_p - mm) takımın temasta olduğu iş parçası yüzeyidir ve tornalamada olduğu gibi yarıçap cinsinden ifade edilir (Şekil II.5).

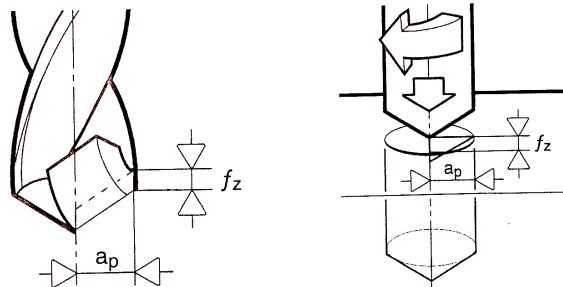
$$a_p = \frac{D - d}{2} \quad [\text{mm}] \quad (\text{II.3})$$

Takımda birden fazla kesici kenar olduğundan (z kesici kenar sayısı) iş kesit alanının (A - mm^2) tanımında kenar başına ilerleme (f_z - mm/z) değeri kullanılır. Bu alan bir kenar tarafından kaldırılan malzemenin alanıdır ve radyal talaş derinliği ile kesici kenar başına 1emenin çarpımına eşittir (Şekil II.6)

$$f_z = \frac{f}{z} \quad [\text{mm/kenar}] \quad (\text{II.4})$$

$$A = a_p * f_z \quad [\text{mm}^2] \quad (\text{II.5})$$

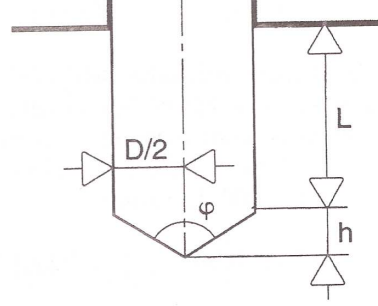
Bu tanımlardan bazıları kullanılarak talaş debisi (V - mm^3/dak) veya birim zamanda kaldırılan talaş hacmi hesaplanabilir. Burada talaş hacmi, kesme hızı ile talaş kesit alanının çarpımıdır. Kesme hızı [m/dak] cinsinden ifade edilirse, talaş debisinin [mm^3/dak] cinsinden de edilebilmesi için sonuç 1000 ile çarpılır (Şekil II.6).



$$V = A * V_c * 1000 \quad [\text{mm}^3/\text{dak}] \quad (\text{II.6})$$

Şekil II.6. Kesici Kenar Başına İlerleme Ve Talaş Kesit Alanı

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



Şekil II.7. İlerleme Uzunluğu

II.3.1.1. Kesme Kuvvetleri ve Güç

Özgül kesme kuvveti (k_c - N/mm^2) gerekli olan gücün, torkun ilerleme kuvvetinin hesaplanmasında önem taşır. Özgül kesme kuvveti belirli bir talaş açısı ve talaş kalınlığı için belirli bir malzemenin işlenebilirlik ölçüsüdür.

Özgül kesme kuvveti, 1 milimetre karelik bir talaş kesit alanını kesme için gerekli teğetsel kuvvet veya efektif kesme kuvvetinin teorik talaş alanına oranı olarak tanımlanır. Karbon çeliği (%8 C) için bu değ 2700 N/mm^2 , normal bir alüminyum alaşımı için ise 750 N/mm^2 'dir

Özgül kesme kuvveti efektif talaş açısı, ortalama talaş kalınlığı ve parçası malzemesine bağlı olarak hazırlanmış tablolardan elde edilir. Özgül kesme kuvveti pozitif talaş açısı ve ortalama talaş kalınlığı arttıkça azalma gösterir. Talaş açısının her bir derecelik artışı için değerindeki azalma % 1-1.5 civarındadır.

Delme işleminde ortaya çıkan kesme kuvvetleri kesici kenarla matkabın ucu, talaş yüzeyleri ve matkabın çevresinde bulunan ~ kılavuzlama yapan kenarlar üzerinde etkiye bulunurlar.

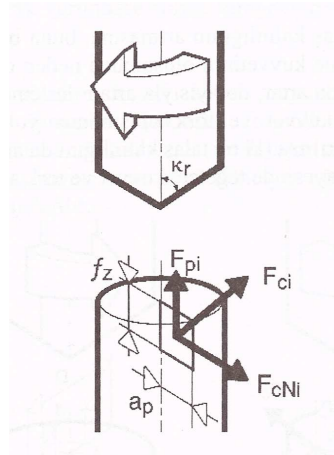
Teorik talaş alanının merkezine etkidiği kabul edilen kesme kuvveti teğetsel, radyal ve eksenel yönlerde etkiyen 3 bileşenden oluşur (Şekil II.8). Bu bileşenler iş parçası malzemesi, talaş derinliği, ilerleme ve takım geometrisi gibi faktörlere bağlı olarak değişim gösterirler. Kesici kenar sayısı ile kesici kenar başına eksenel

kuvvetin (F_{pi}) çarpımına eşit olan toplam aksenal kuvvet ilerleme kuvvetine veya delme basıncına ($F_p - N$ cinsinden) eşittir. Tezgah ana milinin işlem için çok yetersiz kalıp kalmadığı ve ilerleme mekanizmasının işlem için uygun olup olmadığı ilerleme kuvvetine bağlıdır. Aşağıdaki formülden de görüldüğü gibi ilerleme kuvveti K_r yanaşma açısının artmasıyla artar.

Yanaşma açısı, ana kesici kenar ile ilerleme yönü arasındaki açıdır.

$$F_p = 0.5 \times k_c \times a_p \times f_r \times \sin K_r \quad (II.7)$$

$$F_c = k_c \times a_p \times f_r \quad (II.8)$$



Şekil II.8. Kesme Kuvvetinin Bileşenleri

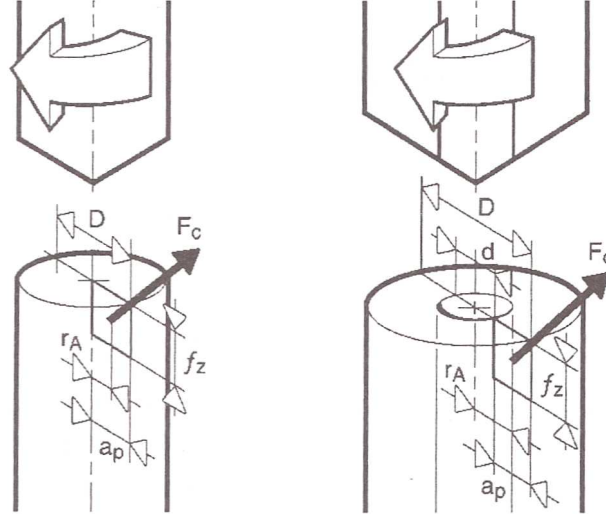
Toplam teğetsel kuvvet ($F_e - N$ cinsinden) veya ana kesme kuvveti bir tork ($M - Nm$) oluşturur. İlerleme kuvveti gibi ana kesme kuvveti de kesici kenar sayısı ile kenar başına teğetsel kesme kuvvetinin (F_{ci}) çarpımına eşittir. Tork her bir kesici kenardaki momentlerin toplamıdır, bu ise matkabın maruz kaldığı toplam delme momentinin teğetsel kesme kuvveti ile talaş alanının merkezine olan yarıçapın (r_A) çarpımına eşit olması demektir (Şekil II.9). Aşağıdaki formülde delik çapı (D) ve daha önceden delinmiş deliğin çapı (d) mm cinsinde ifade edilmişlerdir, ilerlemenin [mm/dev] cinsinden verilmesi halinde torkun [Nm] cinsinden ifade edilebilmesi için çarpımın sonucu 1000'e bölünür.

$$M = F_c \times r_A \quad [Nm] \quad (II.9)$$

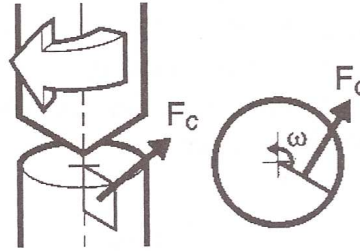
$$r_A = \frac{d}{2} + \frac{a_p}{2} = \frac{D + d}{4} \quad [mm] \quad (II.10)$$

$$M = \frac{k_c \times f}{1000} \times \frac{(D^2 - d^2)}{8} \quad [Nm] \quad (II.11)$$

İlerlemedeki artış talaş kalınlığının artmasına, buna bağlı olarak daha küçük bir özgül kesme kuvvetinin oluşumuna neden olur. Ancak a zamanda talaş alanı da artar, dolayısıyla artan ilerleme toplamda daha büyük bir teğetsel kuvvet ve tork oluşumuna yol açar. Bununla beraber, uç açısı arttırılırsa (ki bu talaş kalınlığını da arttıracaktır) daha küçük bir k_c değeri sayesinde teğetsel kuvvet ve tork azaltılabilir.



Şekil II.9. Delme Ve Çevreden Kesme İşleminde Kuvvet Faktörü



Şekil II.10. Kesme Gücü

P_c [kW] kesme gücü matkabın döndürme momenti ile açısal hızının (ω) çarpımıdır (Şekil II.10). Üniform bir harekette açısal hız ana mil hızının 2π katıdır. Gücün kilowatt cinsinden ifade edilmesi (ki bu $1000 \times \text{Nm} / \text{sn}$ 'ye eşittir) ve momentin [Nm] cinsinden verilmesi halinde sonuç 1000 'e bölünmelidir. Eğer ana mil hızı, dakikadaki devir sayısı olarak verilmişse sonuç saniyeye çevrilmek üzere bir kez de 60 'a bölünür.

Hız ve talaş açısının kesici kenar boyunca değişimi dikkate alınmadığından formüller yaklaşık formüllerdir. Bundan başka kılavuzlama yapan kenarlarda talaşın deliğin cidarlarına sürtünmesi nedeniyle oluşan, moment ve gücü etkileyen sürtünme kuvvetleri de dikkate alınmamışlardır.

$$P_c = M \times \omega \quad (II.12)$$

$$\omega = 2\pi \times n \quad (II.13)$$

$$n = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} \quad (II.14)$$

$$P_c = k_c \cdot \frac{f}{1000} \cdot \frac{(D^2 - d^2)}{8} \cdot \frac{2\pi \cdot v_c \cdot 1000}{\pi \cdot D \cdot 60 \cdot 1000} \quad (II.15)$$

$$P_c = k_c \cdot f \cdot \frac{v_c \cdot (D^2 - d^2)}{D \cdot 240000} \quad [\text{kW}] \quad (II.16)$$

Tezgah için gerekli güç (P-kW) hesaplanırken tezgahdaki güç kayıplarının da dikkate alınması gerekir. Motor gücü delme gücünün tezgah verimine (η) bölünmesiyle bulunur. Verim, sağlanan gücün hangi oranda kullanıldığını gösterir.

$$P = \frac{P_c}{\eta} \quad [\text{kW}] \quad (II.15)$$

II.4. DELİKDELMEDE 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.

Bir delme takımı bir veya daha fazla kesici kenara ve helisel veya düz kanala sahip, dönen bir takımdır. Tüm delme takımları için ortak problemler kesme hızının merkezde sıfır, çevrede maksimum olmasından kaynaklanan problemlerdir. 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.

Matkapların sivri uç merkezde olacak şekilde tasarlanması sayesinde takımın bir simetriye sahip olması ve kesme kuvvetlerinin birbirini dengelenmesi sağlanır. Kısa delik delme işleminde kullanılan matkaplar iki ana grupta toplanırlar:

bilenebilir matkaplar ve değiştirilebilir uçlu matkaplar. 2,5 mm 'den 17 mm 'ye değişen çaplar için yaygın olarak bilenebilir matkaplar kullanılırlar. Özellikle kısa delik matkapları için tasarlanmış takım geometrisi merkezleme deliklerinin ve delme burçlarının kullanımını ortadan kaldıran kendi kendine merkezleme özelliği sağlar. Bunun anlamı oldukça yüksek talaş debilerinin elde edilmesi ve işleme zamanlarının klasik spiral matkaplara göre 3–4 kat azalmasıdır. Bu durum kesici ucun matkabın ömrü boyunca 30 -40 defa değiştirilebilmesinden kaynaklanır. Ancak pek çok yaygın delik çapı için değiştirilebilir uçlu matkap mevcut değildir. Bu nedenle klasik hız çeliği matkaplar küçük çaplı delikler için en fazla kullanılan takımlardır. Yüksek maliyetli modern tezgahlarda klasik HSS matkaplar ekonomik bir üretim için belirlenmiş performans gereksinimlerini karşılamazlar, birçok uygulamada zaman alıcı bir ön delme işlemine ve bir ince işleme gereksinim duyulur. Bu nedenle modern geometrilere sahip bilenebilir matkaplar işletme maliyeti yüksek yeni tezgahlarda her geçen gün önem kazanmaktadırlar.

Matkapla delik delmede dikkat edilecek hususlar;

- Delik ortasında kesme hızının sıfıra düşmesi
- Talaşın zor transferi
- Kesme bölgesinde ısı dağılımının elverişli olmaması
- Keskin kenarlı kesici köşelerin büyük oranda aşınmaya maruz kalması
- Zırhın (fasetanın) delik çevresinde sürtünerek aşınması

II.4.1. Matkap Malzemeleri

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 ekonomikliktir. 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 ulaşır. 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.

Sement karbür uçlar, HSS matkaplardan daha yüksek devirlerde ve daha sert malzemelerde kullanılabilirler. Sement karbürler imalatda 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.

Oldukça ince, sert, aşınmaya karşı mukavim olan titanyum karbür, alüminyum oksit ve titanyum nitrit çelikler ve karbür kesici takımların bazı avantajları aşağıda sıralanmıştır.

1-Daha uzun takım ömrü: iki ile on kat daha fazla takım ömrü.

2- Yüksek üretkenlik: kesme hızları %25 ile %90 arasında artırılabilir.

3-iş parçası kalitesinin artırılması: takımlar düşük sıcaklıklarda işleme yaparak daha iyi yüzey kalitesi elde ederler.

4-İmalat fiyatının azaltılması: daha az takım değiştirilerek, makine daha az süre meşgul edilir.

5- Harcanan makine kuvveti azalır: güç miktarı %15 daha az tüketilir.

6- HSS matkaba göre kaplanabilme özelliği daha iyidir.

7- Kesici kenarlar daha keskindir.

Metal işleme sanayinde kesme bütün operasyonların kalbi niteliğindedir.

Yapılacak operasyona, işlenecek malzemenin cinsine ve istenilen hassasiyete göre, metal kesiciler farklıdır.

Talaşlı imalattaki gelişmeler, kesme ve ilerleme hızlarını da gün geçtikçe arttırması, üretimde değişik malzemelerin kullanılması, talaşlı üretim tezgahlarının gelişimi, kesici takımların gelişimini de zorunlu kılmaktadır.

Yapılacak operasyona göre, uygun tezgah seçimini de göz önüne alırsak, kesici takımlardan istenen özellikler;

- o Uzun ömürlü olması
- o İstenilen işleme kalitesini ve ölçüsünü sağlaması
- o Parça başı takım maliyetinin uygun olması
- o Kolay temin edilebilir olması

Takım değiştirme zamanları ve dolayısıyla işleme zamanları takım, makine ve işgücü maliyetlerinin yükselmesi nedeniyle, kesici takım malzemeleri aşınmaya karşı mukavemetli olması istenir.

Kesici takım malzemeleri ile ilgili teknik gelişmeler sona ermemiştir, mevcut malzemelerde hem alaşım elemanları hem de yüzey işlemlerle aşınma mukavemeti ve ömrünü arttırmak mümkündür.

Değişik kesme kuvvet ve zorlamalara maruz kalan kesici takım malzemeleri aşağıda belirtilen özelliklere sahip olmalıdır.

- * Sertlik ve basınç mukavemeti
- * Eğilme mukavemeti süreklilik
- * Kenar mukavemeti
- * İç yapısal mukavemet
- * Isı mukavemeti
- * Oksitlenmeye karşı koyabilme
- * Difüzyon yayılma eğiliminin az olması
- * Sürtünmeye karşı dayanıklı olması

Ayrıca ısı iletim katsayısı ve genleşme kullanım alanlarına göre uygun olması gerekmektedir.

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 plakets matkap şeklindedir ve sinterleme tekniği ile üretilir.

II.4.1.1. Yüksek Hız Çelikleri (HSS)

Konvensiyonel ergitme yöntemi ile üretilen yüksek hız çelikleri değişik kompozisyonlarda olabilir.

Genelde yeterli oranda karbon ve yüksek oranda alaşım elementlerinden oluşmaktadır. Bu alaşım elementlerinden büyük bir çoğunluğu karbür halinde malzeme bünyesinde dağılmış durumdadır. Bu karbürlerin bir kısmı yüksek sıcaklıkta çözünmezler. Çalışma sıcaklıklarında sertliklerini kaybetmezler.

Yüksek hız çelikleri, takım çeliklerine göre yüksek ısıya dayanabilme (600°C) ve daha yüksek sertliğe ulaşabilme (62/67 HRC) özelliklerine sahiptir. Bu özellikler ana yapıdaki karbürlerin sayısına ve dağılımına bağlıdır.

Yüksek hız çelikleri üç ana grupta toplanabilir.

1) Wolfram içeren yüksek hız çelikleri

2) Molibden içeren yüksek hız çelikleri

3) Wolfram ve Molibden içeren yüksek hız çelikleri

Bu grupta Kobalt içeren veya içermeyen diye ikiye ayırmak mümkündür. Yüksek Karbon ve Vanadyum içeren hız çelikleri süper hız çelikleri sınıfına girerler.

Yüksek Hız Çeliklerin Dağılımı

Yüksek hız çelikleri "S" harfi ile ve alaşım elemanlarının oranlarını belirten sayılarla gösterilir.

Örneğin; W - Mo - V - Co

S- 10 - 4 - 3 - 10

Tablo II.3. 'de Çeşitli kesici malzemelerin kullanım alanları görölmektedir.

Yüksek hız çelikleri W ve Mo oranına göre 4 ana gruba ayrılır.

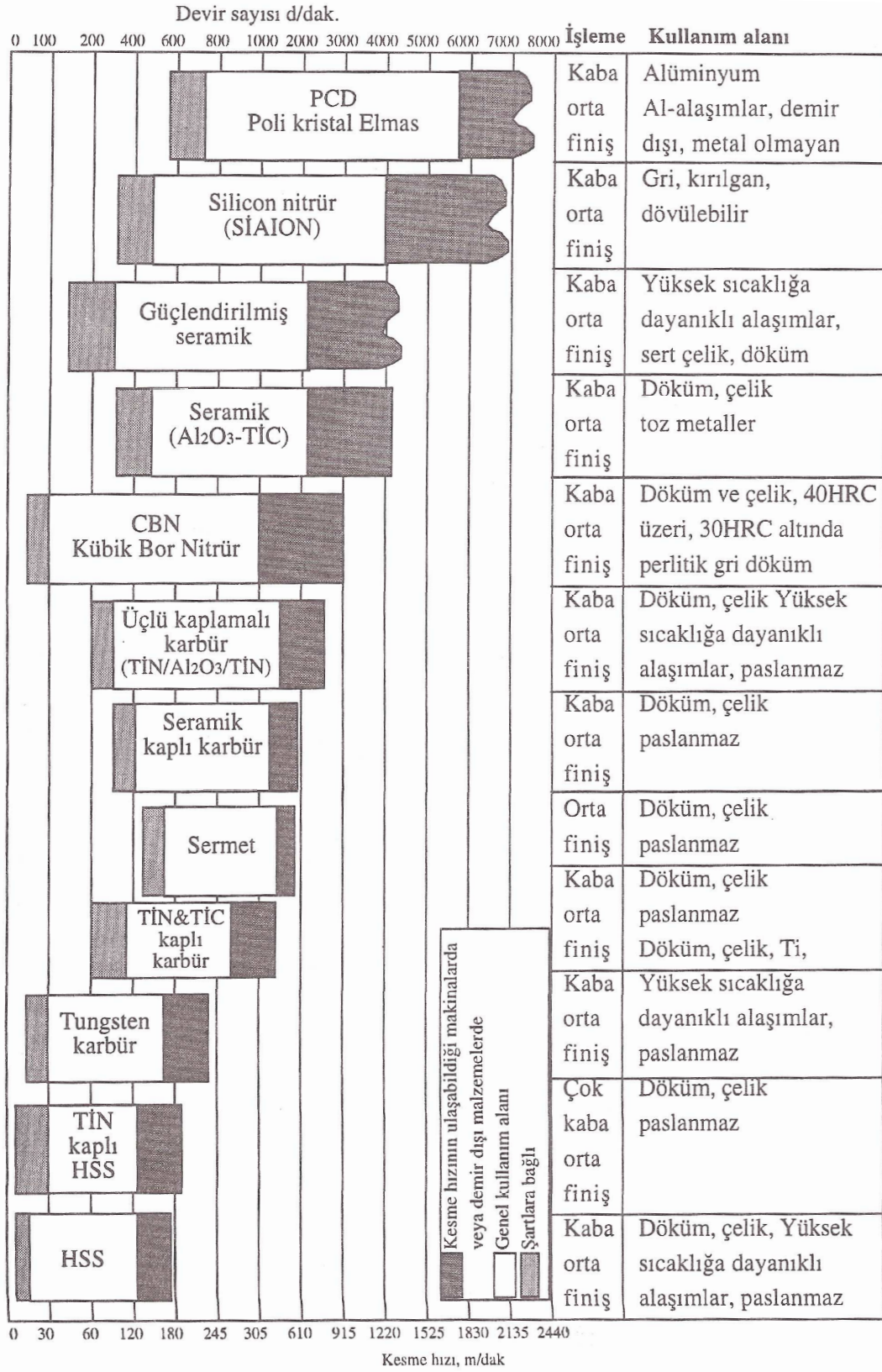
1. Grupta yüksek Wolfram (%18W) ihtiva ederek yüksek ısıya dayanıklı olurlar ve Co ile birleşerek çelik ve döküm malzemelerin kaba işleminde tercih edilirler.

2. Grupta yükselen Vanadyum (V) miktarına göre (% 12W)'a sahip çelikler.

Bu gruptaki çelikler az W ve Co hacimleri ile ısıya karşı daha az dayanıklıdır. Fakat %4 V oranı ile, aynı aşınma mukavemetine sahiptirler. Bu çelikler hassas işlemlerde, otomat işlerde ve çelik olmayan malzemelerin işlenmesinde kullanılırlar.

S 12- 1 -2 ve S 12- 1 -4 çelikleri iyi işlenebilme özelliklerine sahip olduklarından karışık formlu takım imalinde kullanılırlar. Son iki gruptaki çelikler, ağırlıklı olarak Wolfram ve Molibden içeren (%12W+%9Mo) çelikler sıralanmıştır. Molibden elementi Wolfram ile aynı özelliğe sahiptir. Özgül ağırlığından dolayı iki kat hacme sahiptir ($\gamma \text{ Mo} \approx 0.5 \gamma \text{ W}$) Molibden elementi içeren çelikler, yüksek sünekliğe sahiptirler. Az kobalt oranı ile, tüm kesici takım üretiminde kullanılır. Buna karşın kobaltlı çelikler işlenebilme özellikleri güç olan malzemeler için (matkap ucu, frezeler, rayba, broş ve torna kalemi vs.) takımlarda tercih edilirler.

Tablo II.2. Kesici Takım Malzemeleri



1.a. Yüksek Hız Çeliğin İçerisinde Bulunan Alaşım Elemanlarının Çeliğe Etkileri

Karbon: Yüksek hız çeliklerinde karbon miktarı genelde %0,7–1,6 arasında değişebilir. Hız çeliklerinin karbon oranına bağlı olarak sertlikleri de artar. Karbon karbür oluşumunda önemli rol oynar. Karbon oranının artması darbe mukavemetini düşürür, ancak kesme özelliğini ve aşınma direncini artırır.

Wolfram: Yüksek hız çeliğinin ana alaşım elemanıdır. % 20'ye kadar ilave edilebilir. Yüksek hız çeliklerinin temperleme direncini artırır, sıcak sertliğin artması ince taneli bir içyapının oluşturması nedeniyle önemli bir alaşım elemanıdır.

Molibden: Yüksek hız çeliklerde wolfram yerine kullanılan bir elementtir.

Hız çeliklerine etkisi wolframın etkisi gibidir. % 1.6-2.0 wolframın yerine % 1.0 Molibden ilave edilir. Molibdenin ergime sıcaklığı wolframın ergime sıcaklığından daha düşük olduğundan Molibden içerikli hız çelikleri, wolfram içerikli olanlara nazaran daha düşük sıcaklıkta sertleştirilmelidir.

Krom: Hız çeliklerinin her çeşidinde % 3-4 arasında bulunur. Sertlik ve kesme verimini artırır. Yüksek hız çeliklerine diğer bir etkisi de oksidasyonu önler.

Vanadyum: Yüksek hız çeliklerinin kesme verimini artırır. Çelik üretim esnasında curufların çelik bünyesinden ayrılmasını ve bünyedeki azot gazının giderilmesi için, önemli rol oynar. Çelik içerisinde vanadyum oranına bağlı olarak, karbon oranının yükseltilmesi gerekir. Vanadyum çelik bünyesindeki karbonu kendisine bağlar, diğer metal karbürlerin oluşmasını azaltır. Vanadyum karbürler (VC) yüksek hız çeliklerinin en sert karbürleridir. Oksitlenme esnasında en az çözünen karbürlerdir.

Kobalt: Kobaltın yüksek hız çeliklerine en büyük etkisi sıcak sertliğini arttırmasıdır. Bu nedenle kesici takımın kesme verimini artırır. Büyük paso ile çalışan takımlarda Cr-Ni alaşımlı çeliklerin işlenmesinde uygun sonuç verir. Sertleşme esnasında % 95 oranında çözünerek içyapıyı güçlendirir.

II.4.2. Matkapların İmalat Yöntemleri

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.

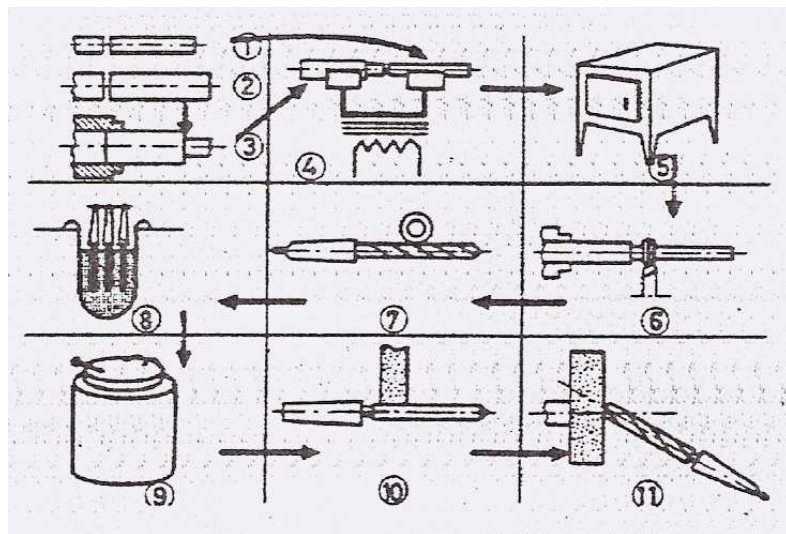
Yukarıda belirtilen üretim metotlarının birbirlerine göre teknolojik, zorlukları ve üstünlükleri olmakla beraber, haddelenmiş matkap uçları malzemeyi meydana getiren içyapıdaki liflerin kesilmeyip kendi üretim yönünde yönlendirilmeleri sebebiyle kırılmaya ve darbeli çalışmaya karşı daha mukavimdirler, bu nedenle;

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

Taşlanmış matkap uçları ise, bilhassa NC ve 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 universal freze tezgahları ile özel amaçlı tezgahlarda 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. Aşağıdaki. Şekilde 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).

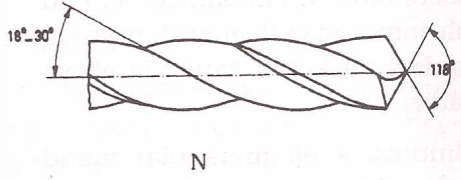
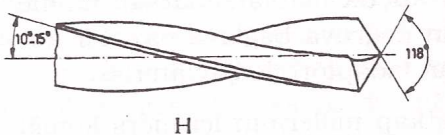
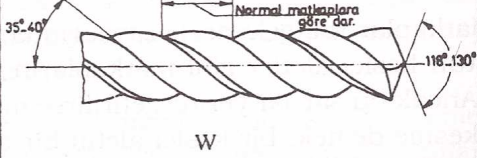


Şekil II.11. Kaynaklı Matkapların İmalat Yöntemleri

II.4.3. Matkapların Sınıflandırılması

Parça malzemesine bağılı olarak kesme açılarına göre DIN standardında (DIN 1414) **N**, **H** ve **W** ile simgelenen üç çeşit matkap vardır(Tablo II.4). Bunlardan N tipi çelik ve dökme demir gibi normal; H tipi pirinç alaşımları ve W tipi ise alüminyum alaşımları gibi yumuşak malzemeler içindir. Bunlara plastik malzemeler için geçerli olan değiştirilmiş H tipi de ilave edilebilir. Bu matkapların her birinin kesme açıları farklı olup her tip için kesme açıları matkabın d çapına bağılıdır. Örneğin çelik ve dökme demir için geçerli olan N tipi matkabın, çapa bağılı olarak kesme açıları Tablo II.5’ de verilmiştir.

Çelik ve dökme demir için geçerli olan N tipi matkabın uç açısı 118° ’dir; bu açı **standart** bir açı olarak kabul edilir. Uç açıları 118° ’den daha küçük olan matkaplara **uzun açılı**; daha büyük olanlara ise **düz** denir. Matkapların en çok aşınan yerleri, dış kısmının köşeleridir. Uç açısı büyüdükçe köşe açısı azalır ve aşınma hızlanır. Bu menfi etkiyi gidermek için büyük uç açılı matkaplar, ikinci açı 70° olmak üzere **çift açılı** şeklinde yapılır.

Malzemenin cinsi	Uç açısı	Matkabın tipi
Çelik; çelik döküm; dökme demir; temper döküm; sert bakır ve çinko alaşımı malzemeler için;	118°	 N
700N/mm ² çekme dayanımı üzerindeki çelikler ve çelik döküm malzemeler için;	130°	
Sac parçaları ve paket haldeki sac demetleri için;	124°-130°	
Paslanmaz çelikler; bakıra, 30mm çap üzerinde delik delerken, kısa talaş veren Al alaşımlarında;	130°	
Preslenmiş malzemeler, sert bakalit, sert kauçuk, mermer, arduvaz (taş) kömür vs. için;	80°	 H
Pirinç (sarı malzeme), bronz ve çeşitleri, sert çelikler için;	130°	
Magnezyum alaşımları için;	140°	
Çinko alaşımları, kalay ve kurşun alaşımları (beyaz metal) için;	118°	 W
Bakır malzeme için;	120°-125°	
Alüminyum alaşımları için;	140°	
Bakıra 30mm üzerindeki delik delerken ve uzun talaş veren Al.	140°	

Tablo II.3. Helis Adımlarına Göre Matkap Çeşitleri Ve Kullanıldığı Yerler

Tablo II.4. N Tipi Matkap İçin Kesme Açıları

Matkabın çapı (mm)	Yan serbest aç	Yan talaş açısı	Uç açısı
2,51...6,3	12°	22°	118°
6,31...10	10°	25°	
>10	8°	30°	

II.4.3.1. Normal Matkaplar

Kısa delik matkapları arasında en yaygın kullanılan matkap türü spiral matkaplardır. Bununla beraber HSS matkaplar, klasik sinterlenmiş karbür matkaplar ve modern matkap geometrisine sahip diğer matkaplar vardır.

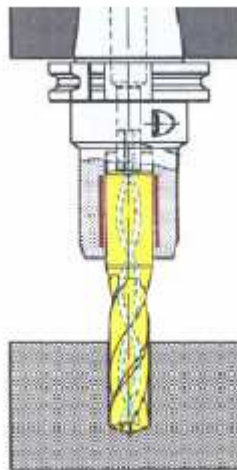
Normal işlemler için kullanılan bu tip matkaplar konstrüksiyon özelliklerine göre; normal spiral(a,b,c), delikli(d), küt (e), delik genişletme (göbekli)(f), sol helisli (g), düz kanallı (h), kademeli(i,j) ve namlu (silah) (k) matkabı gibi gruplara ayrılabilir.

1.a. Normal Spiral Matkaplar

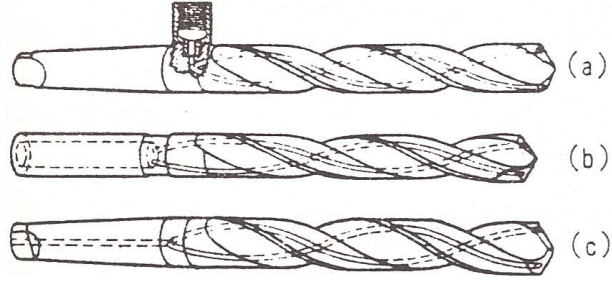
(Şekil II.12. a, b, c). Normal çelikler için kullanılan, fiyatları nispeten düşük olan bu matkaplar değişik çap ve şekillerde imal edilirler. Örneğin Şekil II.13.a 'daki matkap normal helisli, Şekil II.13.b'deki kısa helislidir.

1.b. Delikli Matkaplar

Bu matkaplar kesme sıvısının matkap içinden sevk edilmesini sağlarlar; sıvının girişi sap ucundan (Şekil II.14.ve Şekil II.14 d'de), veya yandan (Şekil II.13 a) yapılır. Deliklerden basınç ile verilen kesme sıvısı matkap ucuna ulaşır ve burada biriken talaş ve pislikleri dışarıya taşır. Sapları silindirik (Şekil II.14 d, ve Şekil II.14 b) veya konik (Şekil II.14 a,c) olan bu matkaplar genellikle derin deliklerde ve çok işlemlili operasyonlarda kullanılır.



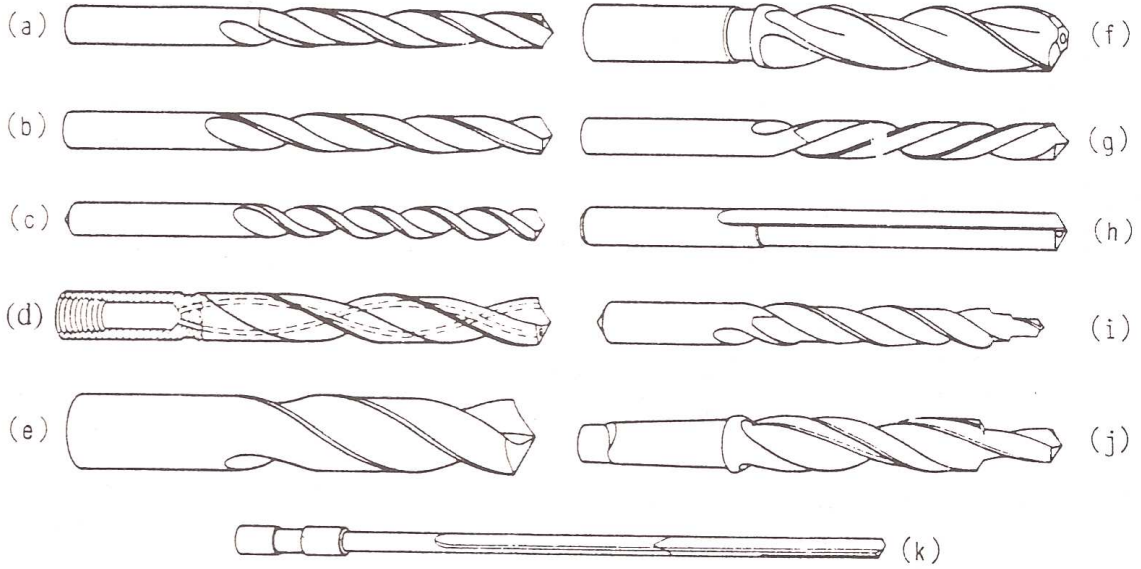
Şekil II.12. Delikli Matkap (Sıvı Girişi Sap Ucundan)



Şekil II.13. Delikli Matkap Çeşitleri

1.c. Küt Matkaplar

Toplam uzunluğu normal matkaplara göre daha kısa olan bu matkapların kanallı kısmının uzunluğu, normal matkapların yansıdır. Böylece ağır koşullarda elverişli olan ve çok işlemli operasyon veya seyyar tertibatlarda kullanılan rijid bir matkap elde edilir(Şekil II.14e).



Şekil II.14. Matkap Tipleri

1.d. Delik Genişletme Matkapları

Sadece delik genişletmede kullanılan bu matkaplar 3 ila 6 ağızlı olabilir. Aynı sayıda kanalları bulunan bu matkaplar daha yüksek ilerleme ile çalışabilirler ve dolayısıyla diğerlerine göre daha üretkenlerdir (Şekil II.14f).

1.e. Sol Helisli Matkap

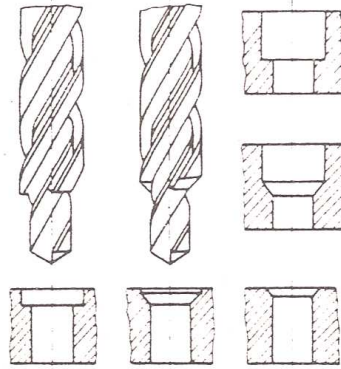
Diğer matkaplara göre tek farkı, kanallarının sol helisli olmasıdır. Matkap, dönme yönü normal dönme yönüne göre ters olan. çok işlemli operasyonlarda kullanılır(Şekil II.14g).

1.f. Düz Kanallı Matkap

İnce parçalar veya pirinç gibi yumuşak malzemeler için özel olarak yapılan bir matkaptır(Şekil II.14h).

1.g. Kademeli Matkaplar

(Şekil II.14i,j)İki veya daha çok çaplara sahip olan bu matkaplar, Şekil II.15'de gösterildiği gibi, bir pasoda kademeli deliklerin işlenmesinde veya bir deliğin aynı matkapla. birincisi delme ikincisi delik genişletme olmak üzere iki pasoda işlenmesinde kullanılır.



Şekil II.15. Kademeli Matkaplar

II.4.3.2. Değiştirilebilir Uçlu Matkaplar (U Drills)

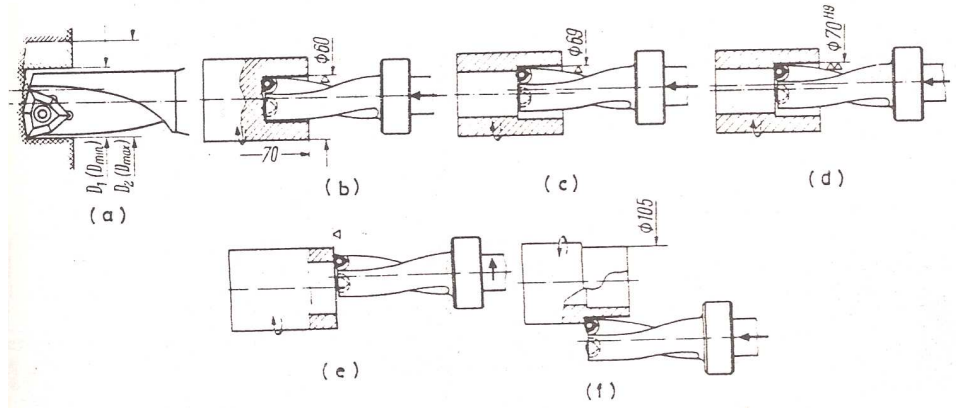
Şekil II.16'da değiştirilebilir uçlu matkap gösterilmiştir. Şekil II.16'daki gibi bir (a) veya iki uçlu (Şekil II.17 ve Şekil II.17b. c. d) olabilirler. Büyük çaplı delikler olarak nitelendirilen delikler için sadece değiştirilebilir kesici uçlu kısa matkaplar mevcuttur ve takım seçimi öncelikle kesici uç geometrisi ve kalitesi seçimi işlemidir.

Ayrıca Şekil II.18'de U driller'in değiştirilebilir uçlarındaki talaş kırıcı(1) ve Silici köşe (wiper corner) denilen kısım gösterilmiştir. Kademeli değiştirilebilir uçlu matkap ise Şekil II.19'de gösterilmiştir.

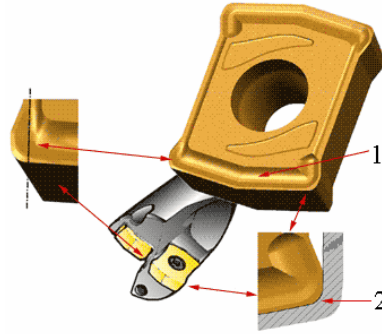
Bu takımlar ayrıca alın tornalama (e) ve boyuna tornalama (f) içinde kullanılabilirler. Bu tip takımlarla kaba (b), ince (c) ve çok ince (boyuna getirme) (d) işlemleri yapılır. Bu şekilde boyut ve yüzey kalitesi çok iyi olan delikler açılır.



Şekil II.16. Değiştirilebilir Uçlu Matkap



Şekil II.17. Değiştirilebilir Uçlu Matkaplar



Şekil II.18. Değiştirilebilir Uçlu Matkap Ucu Talaş Kırıcı Ve Silici Köşe



Şekil II.19. Kademeli Değiştirilebilir Uçlu Matkap

II.4.3.3. Derin Delik Matkapları

İşlenen delik derinliği $1 > 5d$ olduğu, durumda delik derin sayılır. Gerek talaşın ve kesme ağzında oluşan sıcaklığın tahliyesi, gerekse matkap rijitliğinin azalması

bakımından derin deliklerin işlenmesi çok daha zordur. Bu delikler, **normal delikli matkaplar** (Şekil II.17d), **derin delik matkapları** (Şekil II.17k) ve **özel derin delik matkapları** ile işlenebilirler.

Derin delik matkapları, tek ağızlı, basınçlı soğutma sıvılı takımlardır. Bunlar *dış talaş taşıyıcı* ve *iç talaş taşıyıcı* olmak üzere iki gruba ayrılır

3.a. Dış Talaş Taşıyıcı Matkaplar

İçi boş, tek ağızlı, tek kanallı matkaplardır; kesme kısmının ucu V şeklindedir (Şekil II.20a). Matkabın kesme ağzı ikiye ayrılmış vaziyettedir: bunlardan birisi kesme, diğeri ise talaşı kırıp çok küçük parçalar haline getirmek için kullanılır. İçine yağ sevk edilmesi için matkap bir boruya bağlanır ve tüm sistem yağ besleme başlığı ile donatılır. Matkabın içinden sevk edilen basınçlı yağ işlenen yüzeye ulaşır ve burada bulunan talaşı, matkap ile delik cidarı arasındaki boşluktan dışarı tahliye eder (Şekil II.20b).

Bu tip matkaplar hız çeliğinden veya son zamanlarda sert metalden yapılır.

Sert metal takmalı plaketa veya yekpare olarak kullanılır. Kesme ile diğerk kısımların arasında genleşme farkının oluşturduğu menfi etkileri gidermek için pahalı olmasına rağmen yekpare seçeneğı tercih edilir. Tek kesme ağzının oluşturduğu kesme kuvvetlerini dengelemek ve matkabı merkezde tutmak için kesme ağzının karşı tarafına genellikle sert metalden yapılan destekler yerleştirilir.

Kaliteli delikler elde etmek için derin delik matkapların, rijid bir bağlama tertibatı ile kullanılır. Bu şekilde 50 mm 'lik bir delik, 0,0125 mm toleransla işlenebilir; böylece raybalama işlemi de ortadan kalkmış olur.

3.b. İç Talaş Taşıyıcı Matkaplar

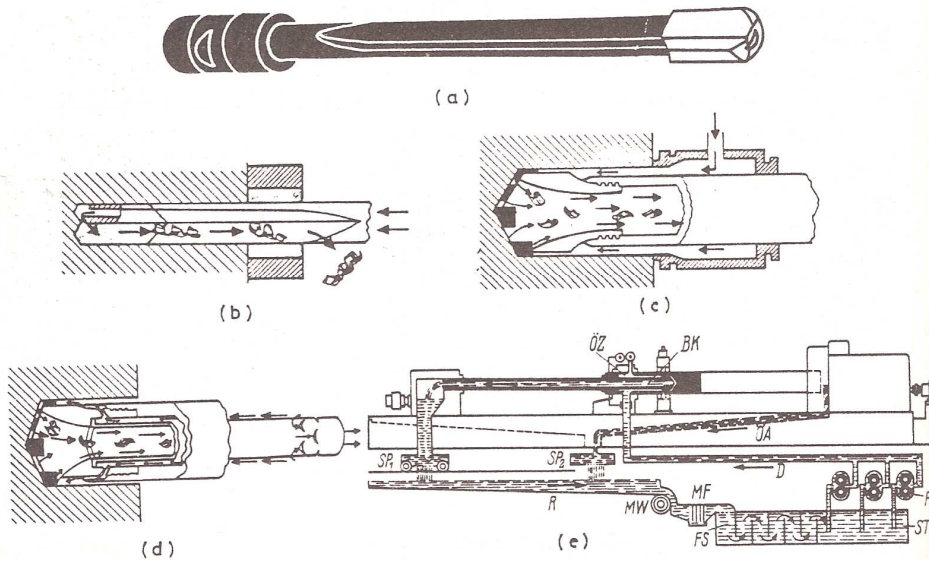
Boru şeklinde bir taşıyıcı ile, sert lehim veya takmalı olarak tespit edilmiş ve genellikle sert metalden yapılmış kesme kısmından meydana gelmektedir (Şekil II.20c,d). Burada basınçlı yağ, takım ile işlenen delik yüzeyinin arasından basılır ve talaşla birlikte takımın iç kısmından tahliye edilir. Yağın basılması için takım taşıyıcı kısmının dış çapı, delik çapından biraz daha küçük yapılır. Bu matkapların BTA (Boring and Trepanning Association) denilen çeşidi delik açma (Şekil II.20c), pimli delik açma ve delik genişletme olmak üzere üç aynı tipte yapılır. BTA matkaplarının kesme ağzının karşı kısmına sert metalden yapılan destekler yerleştirilir. Pimli delik

açan matkapla, talaş kaldırma işlemi delik merkezinin çevresinde yapılır. Bu şekilde işleme sırasında bir pim oluşur: delik açıldıktan sonra bu pim kendiliğinden düşer. Bundan dolayı bu tip matkaplarla kör delik açılmaz; sadece tam delik açılır.

Derin delik açmada soğutma ve yağlama çok önemlidir. Bu nedenle, genellikle sülfür veya klorit aditifli çok iyi kaliteli kesme yağları kullanılır. Ayrıca talaşın taşınması için yağ yüksek basınçlı ve bol miktarda olmalıdır. Genellikle yağ miktarı, delik açma ve genişletmede $Q = 4d$ (l/dak) ve yağlama sisteminin yağ deposundan $Q_{top} > 10 Q$ yağ olmalıdır. Basınç olarak, delik açmada $p = (60...10)$ bar; delik genişletmede $p = (25...5)$ bar; pimli delik açmada $p = (25...5)$ bar kullanılır. Çap büyüdükçe basınç azalır.

Bu debiyi ve basıncı sağlamak için tezgahlar Şekil II.25d’de gösterildiği gibi filtre, soğutma sistemleri bulunan özel yağlama tertibatı ile donatılır.

İşlenen delik derinliklerine gelince, delik açma matkapları $1 = (6 \dots 60)$ d; pimli delik açma matkapları $1 = (50 \dots 600)$ d; delik genişletme matkapları $1 = (20 \dots 750)$ d ve iç talaş taşıyıcı matkapları $1 = (2,5 \dots 125)$ d uzunlukta delikler açabilirler.



Şekil II.20. Derin Delik Matkapları

II.5. SPİRAL MATKAPLAR

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.

Değişik uç geometrilerine sahip matkaplar vardır;

Split uçlu matkaplar: bu matkaplar endüstride geniş kullanım alanı bulmuşlardır. Bunun nedeni ise eksenel kuvveti azaltması, pozitif talaş açısına ve talaş kırıcı uca sahip olmasıdır. Delme esnasında oluşan gezinme eğilimini azaltır. Split uçlu matkabın uç geometrisi komplekstir. Zhironov ve Oxford gibi araştırmacılar split uçlu matkapların geliştirilmesinde çalışmalar yapmıştır.

Çok yüzeyli matkaplar: 1953 yılında, özel çelik alaşımları delmek için yeni matkap geometrisi olan çok yüzeyli matkap (MFD) Beijing Çin’de bulunmuştur. Liu yeni çok yüzeyli matkap geliştirerek delik delme esnasında oluşan baskı kuvvetini azaltmayı amaçlamıştır. Sonraki 20 yılda yirmiden fazla yeni tip MFD, değişik iş parçalarında ve delme işleminde denenmiştir. Bu matkapların klasik spiral matkaplara göre bazı avantajları şöyledir;

- 1-Düşük kesme kuvvetleri
- 2-Isı transferinde artış
- 3-Talaş akış hızında artış
- 4-Delik kalitesinde iyileşme.

Gibi üstünlüklere sahiptir.

Üç kesici ağza sahip matkaplar: Son yıllarda yapılan araştırmalar sonucunda vibrasyon azaltıcı etkisi olan, daha hassas delik geometrisi sağlayan ve takım ömrü uzun olan üç kesici ağza sahip matkaplar geliştirilmiştir. Bu matkapların en önemli özelliklerinden biride; delinen deliğin yüzeyinin istenilen kalitede olmasıdır ve nihayetinde herhangi bir raybalama işlemine gerek kalmaz. Bu matkaplar hem yüksek hız çeliğinden yapılıyor hem de karbür uç (Şekil II.21) olarak yapılabilir.

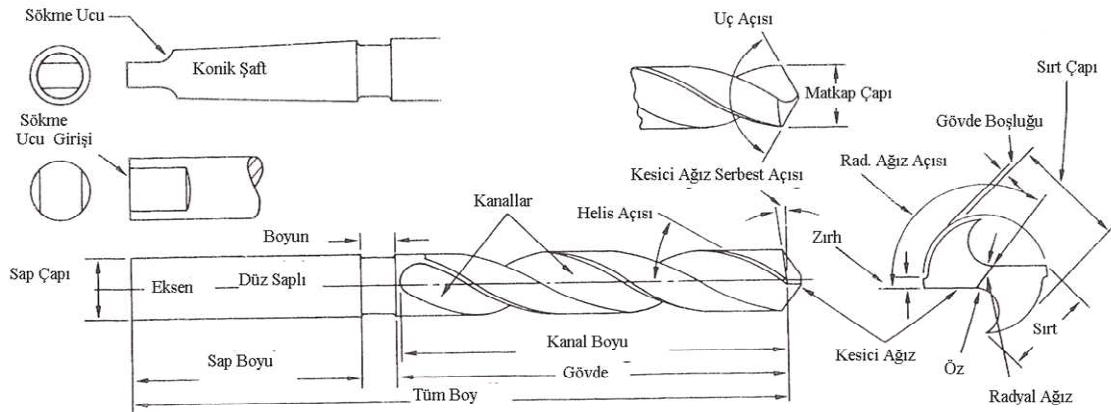


Şekil II.21. Üç Kesici Ağza Sahip Karbür Matkap

Yeni uçlu matkaplar: Sert metal uçlara uygulanan öz inceltme işleminden sonra Negishi tarafından 1983 yılında New Point Drill (NPD) sert metal uçlu matkap bulunmuştur. New Point Drill kesici olmayan merkezli sert metal uçlu matkaptır.

II.5.1. Spiral Matkabın Yapısı

Klasik spiral matkap iki kesici ağza ve iki radyal ağza sahiptir. Spiral matkabın yapısı Şekil II.22’de detaylı olarak ele alınmıştır.



Şekil II.22. Spiral Matkap Genel ve Uç Yapısı

Kesici takım enstitüsü spiral matkabın kısımlarını aşağıdaki gibi açıklamıştır;

Matkap eksen: 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 ağz: kesici kenarları birleştiren özün en uç kısmıdır.

Radyal ağz açısı: Matkaba uç kısmından bakıldığı zaman kesici kenar ile radyal ağz 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 eksenindeki 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.

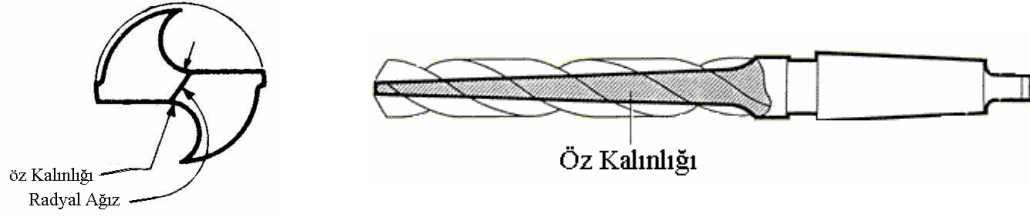
Serbest açı (Boşluk açısı) : Taban yüzü üzerinde ana kesme kenarından geriye doğru, matkabın ortalama çapında ölçülen açıdır.

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

II.5.2. Öz Kalınlığının Talaş Kaldırmaya Etkisi

Birçok matkapta, matkabın mukavemetini artırmak için öz kalınlığı matkabın sap kısmına doğru kalınlaşır(Şekil II.23). Matkabın boyu kısa olursa öz kalınlığı da daha kalın olur çünkü kesme işlemi için daha fazla basınç ihtiyacı olacaktır. Bu basınç kuvveti matkabın ısısının artmasına neden olacak ve nihayetinde ısının fazla olması da matkabın ömrüne olumsuz tesir ederek, matkabın ömrünü kısaltacaktır. Dolayısıyla matkabın ömrünün daha uzun olması için öz kalınlığının ince olması gerekmektedir. Öz kalınlığı matkabın burulma rijitliği açısından oldukça önemli bir parametredir. Ayrıca öz kalınlığının matkabın enine kesit polar momentini arttırdığı

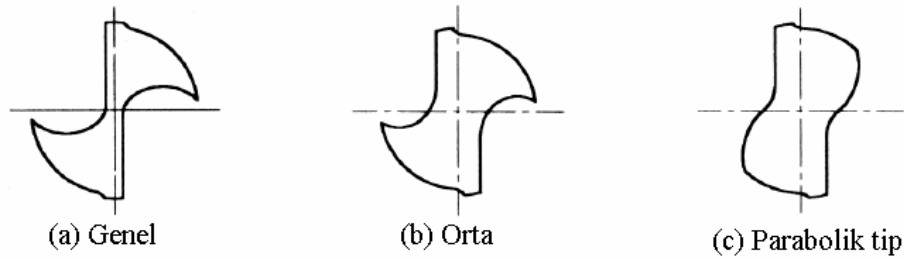
ortaya çıkmıştır ki bu matkabın burulma rijitliği açısından önemlidir. Diğer taraftan ise öz kalınlığına paralel olarak radyal ağız uzunluğu artmaktadır. Bu ise beraberinde daha fazla itme kuvvetine gereksinim demektir.



Şekil II.23. Matkap Öz Kalınlığı Uç Ve Yan Görünüşü

Geleneksel matkaplarda öz kalınlığı (Şekil II.24a), $0.10-0.25xD$ kadar olabiliyor. Bu tür matkaplar genel amaçlı kullanılır ve geniş talaş kanalları vardır. Buda talaşın kolayca hareketini sağlayarak, talaş kaldırmayı kolaylaştırır.

Orta boyutlarda öz kalınlığına sahip matkaplarda ise(Şekil II.24b),öz kalınlığı $0.20-0.35xD$ arasında değerlerde oluyor. Bu matkaplar, yüksek hızlara karşı yüksek dijitlik 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.



Şekil II.24. Matkap Öz Kalınlıkları

Parabolik tip öz kalınlığına sahip matkapların (Şekil II.36c) 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.

II.5.3. Kesici Ağız Serbest Açısının Talaş Kaldırmaya Etkisi

Kesici ağız serbest açısı(Lip relief angle) çok önemlidir. Yeterli kesici ağız serbest açısı olmazsa düzgün delme işlemi yapılamaz. Büyük serbest açısı değeri ise matkap ömrünü kısaltır. Normal şartlarda her iki kesici ağız için serbest açılar eşit

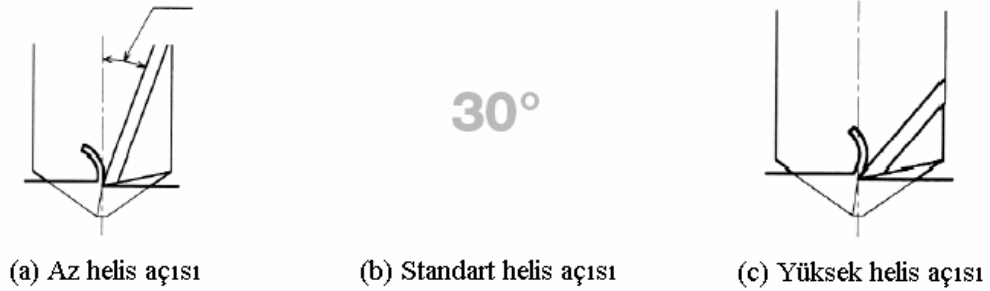
olmalıdır. Kesici ağız yüksekliğindeki artma deliğin daha büyük olmasına neden olabilir.

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

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

II.5.4. Helis Açısının Talaş Kaldırmaya Etkisi

Kanalların helis açısı, matkabın talaş açısını belirler. Bu genel durumdur çünkü etkili talaş ve doğru talaş açısını belirleyen başka faktörlerde vardır. Helis açısı, aksenal itme ve tork kuvvetlerini azaltır. Genel amaçlı HSS matkapların helis açıları $22-33^\circ$ arasında matkabın çapına bağlı olarak değişir.

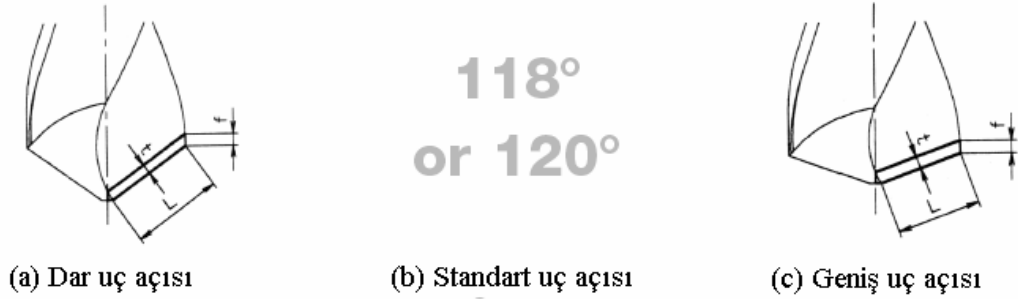


Şekil II.25. Matkap Helis Açıları

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 (Şekil II.25a). Standart helis açıları 30° 'dir. Helisel matkap imalatında en çok tercih edilen standart helis açılarıdır (Şekil II.25b). 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 (Şekil II.25c).

II.5.5. Uç Açısının Talaş Kaldırmaya Etkisi

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



Şekil II.26. Matkap Uç Açıları

Dar uç açılı matkaplar (Şekil II.26a) 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 (Şekil II.26c) uç açıları 130°, 135° ve 140°'dir. Bu matkaplar sert malzemelerin işlenmesinde kullanılırlar. Bu matkaplar değişik delme koşullarında sapma problemi yaşamazlar [1].

II.6. KAPLAMA YÖNTEMLERİ

Günümüzde kesici takımlar değişik yöntemler kullanılarak kaplanabilmektedir. Ancak, en sık kullanılan ve yüksek performans elde edilen başlıca iki yöntemden aşağıda bahsedilmiştir. Bu yöntemler;

1. PVD (Fiziksel Buhar Biriktirme) Yöntemi
2. CVD (Kimyasal Buhar Biriktirme) Yöntemi

Çok sık kullanılan yöntemlerdir.

II.6.1. PVD Yöntemi

İnce sert yüzey kaplamalarının takım ve kalıp yüzeylerine başarı ile yapılabilirdiği yöntemlerden biri de Fiziksel Buhar Biriktirme (PVD) yöntemidir. Bu yöntem,Vakum altında bulundurulanan malzemelerin buharlaştırılarak ve sıçratılarak

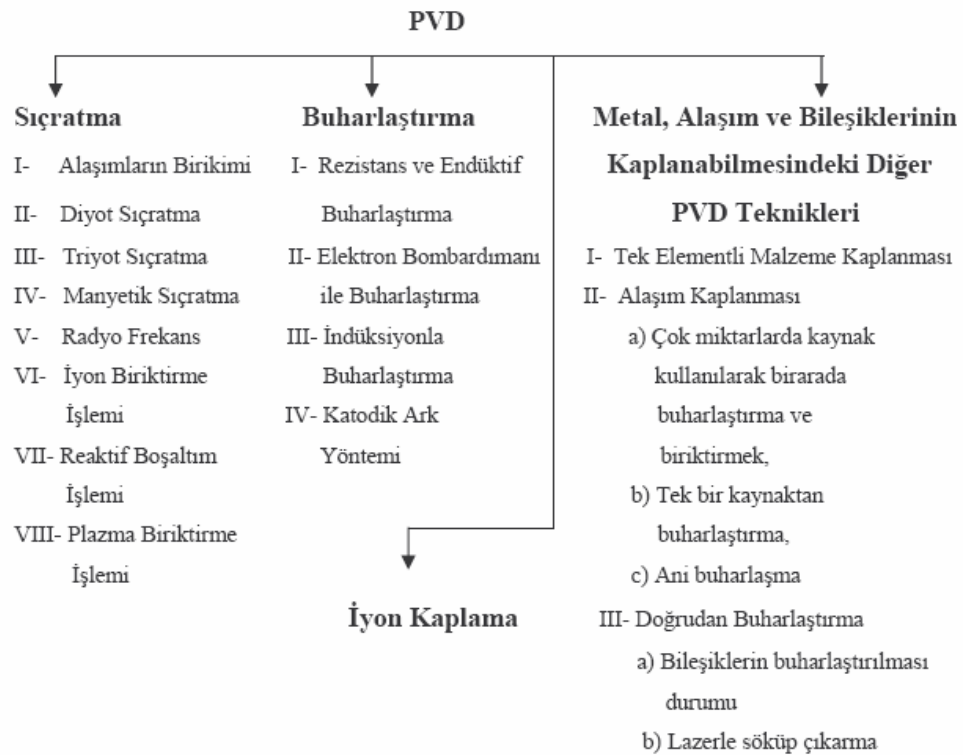
atomların yüzeyden kopartılması ve kaplama yapılacak yüzeye atomsal veya iyonik olarak biriktirilmesi esasına dayanmaktadır.

Bu yöntemin diğer kaplama yöntemlerine nazaran üstünlükleri aşağıda sıralanmıştır.

1. Geniş bir sıcaklık aralığında gerçekleşmesi,
2. Geniş kullanım alanına sahip olması,
3. Kaplamaların yüzey kalitelerinin mükemmelliği
4. Üretim hızının yüksekliği
5. Yapışma kalitesinin verimliliği,
6. Yüksek biriktirme hızının elde edilmesi,
7. Tabaka sayısının artırılabilmesi ve üretim sistemine getirdiği zaman kazancı

Şeklinde ifade edilebilmektedir.

PVD'nin kaplama süreci üçe ayrılmaktadır. Bunlar, buharlaştırma, sıçratma ve iyon kaplama tekniğidir. Bu iki teknik ile kaplanan kütleye negatif potansiyel (Bias) uygulanması ve atomların iyonize edilmesi durumundaki yönteme iyon kaplama adı verilmektedir. PVD teknikleri Şekil II.27'de özetlenmiştir.



Şekil II.27. PVD Teknikleri

Dünyada bu teknikle yapılan kaplamalar ve araştırmalar hızla ilerleyerek artmaktadır. Bu kaplamaların endüstriye sağladığı avantajlar çok önemlidir. Bu konuda kesici takım kaplamaları iyi bir örnektir. Kesici takımların kaplanması ile takım ömründe % 200-800 arasında değişen ekonomiklik sağlanabilmektedir [2].

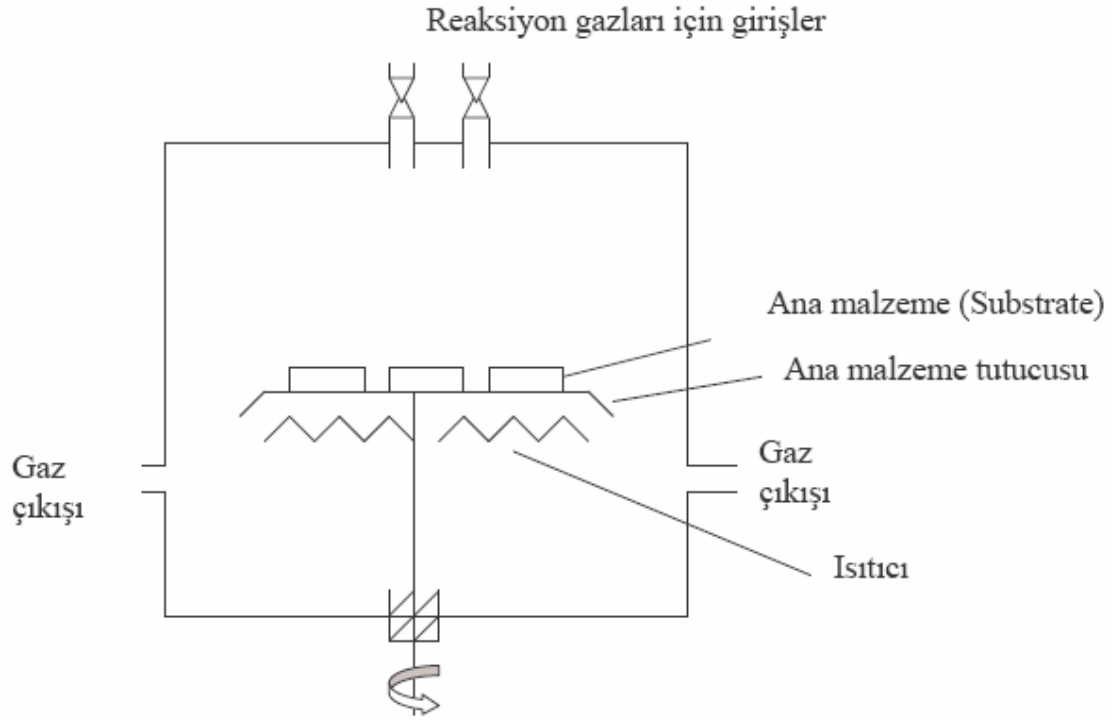
II.6.2. CVD Yöntemi

CVD, buhar fazındaki kaplama malzemesinin çok sayıda kimyasal işlemlerden geçirilerek ön ısıtılmal levha üzerine biriktirilmesi olarak tanımlanabilir. CVD sürecinin temelinde genellikle gaz fazında olan kimyasal tepkimelerin katı ürünleri kaplanacak ana malzeme üzerinde biriktirilmesi ile oluşturulur. Dolayısı ile malzeme yüzeyinde çok özel nitelikli çok ince sert tabakalar oluşturulmuş olur. Bu yöntemde kaplama malzemesi genellikle klorür, florür, borür veya iyodür halindedir. Redükleyici olarak kullanılan gaz ise hidrojen gazıdır. Kimyasal reaksiyon sonucu çıkan ikinci ürün ise gaz halindedir ve vakum odasından uzaklaştırılır.

CVD nin üretim yöntemlerine bakıldığında beş farklı teknik ön plana çıkmaktadır.

- Atmosferik basınçta CVD,
- Yüksek sıcaklıkta CVD,
- Düşük sıcaklıkta CVD,
- Plazma destekli CVD,
- Foton (ışın) destekli CVD.

CVD metodunun şematik görünümü Şekil II.28’de verilmiştir.



Şekil II.28.CVD Sisteminin Şematik Görüntüsü

CVD tekniği ile kaplanacak ana malzeme çelik ise bu yöntemin tercih edilme nedeni, yüksek sıcaklığın ana malzemedeki sertliğin azalmasına neden olmasıdır[2].

II.7. DLC KAPLAMALAR

Günümüzde, talaşın kesme bölgesinden uzaklaştırılması ve sürtünmeyi azaltmak için hala soğutma sıvıları kullanılmaktadır. Soğutma sıvıları sadece maliyeti arttırmakla kalmayıp, doğal kaynakların tüketiminin ve çevreye olumsuz etkinin önlenmesi için herhangi bir soğutucu akışkan kullanılmadan imalatın yapılması çok önemlidir. Çeliklerin işlenmesinde kuru işleme veya kuruya yakın işlemlerle imalat gerçekleştirilebiliyor olmasına rağmen, aynı işlemleri alüminyum ve alaşımlarının işlenmesine tam olarak gerçekleştirildiği söylenemez. Bunun temel sebebi ise alüminyum malzemelerin çok yapışkan olmasıdır. Elmas malzemeler, iç yapı özelliklerinden dolayı anti yapışma özelliği çok yüksek olan malzemelerdir. Bu sebepten dolayı, DLC kaplamalar alüminyum ve alaşımlarının işlenmesinde tercih edilirler .Yüksek sertlik ve düşük sürtünme oranından dolayı elmas benzeri karbon (DLC) kaplamalar, kuru işleme işlemleri için yüksek potansiyele sahiptirler. DLC kaplamalar, elmas sp³ ve grafit sp² karbon atomlarından oluşmaktadır. Sert karbon

filmlerdeki sertlik miktarı, depozit film tabakalarındaki elmas oranına bağlıdır. Bunun sonucunda, bu kaplamalar sertliklerine göre sınıflandırılabilirler. Sertlik değeri 1500-3000 HV olan sert karbon filmler, %5 ile %10 arasında hidrojenleşmemiş sp³ (elmas) karbon ihtiva ederler. 3000 ile 5000 HV sertliğe sahip sert karbon kaplamalar ise (elmas/ grafit) sp³ / sp² oranı %15-20 dir. Eğer elmas oranı % 100 e yakınsa, DLC nin sertlik ve elastisitesi elmasa çok yakındır (8000-9000 HV) . T.C.S. Vandeveld ve arkadaşları çalışmalarında Al-SiC kompoziti, 2 mikron kalınlığında DLC kaplanmış uçlarla, 100 m/dak kesme hızı, 0.1 mm/dev ilerleme ve 0.5 mm paso derinliğindeki parametreleri kullanarak, kuru tornalamışlardır. Yapılan çalışma göstermiştir ki, DLC kaplamalar, DLC kaplama takım ömrünün uzamasına etkisi olmamıştır. Çalışma sonucu göstermiştir ki, DLC kaplama çok yumuşaktır ve belli bir süre tornalamadan sonra aşınmıştır [3].

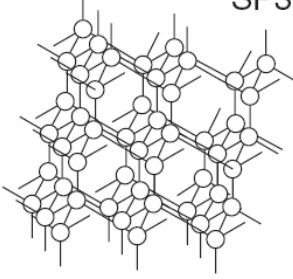
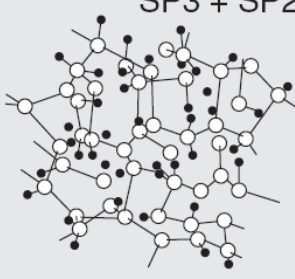
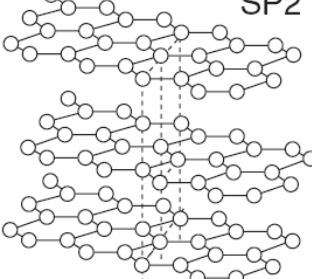
V.J. Trava-Airol di ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, değişik kaplama yöntemleri ile DLC film tabakasının oluşumu kıyaslanmıştır. DLC film kaplamalar, yüksek sertlik, kimyasal kararlılık, düşük aşınma katsayısı ve yüksek aşınma dayanımından dolayı çok ilgi görmektedir. Plazma yardımıyla kimyasal buhar depolama (PACVD) tekniği kullanılarak DLC kaplamalar yapılabilir. DLC kaplamaların en büyük dezavantajı, metalik altyapıda düşük aşınma aşınma özelliği olması ve bunun sonucunda yüksek sıkıştırma basıncının oluşmasıdır[4].

DLC kaplamalarda ,aşınma ve sürtünmenin kontrolü, hem çevresel şartlara hemde birikme (deposition) prosesi tarafından belirlenen kaplamanın yapısına bağlıdır. Donnet C ve Grill A tarafından yapılan bu çalışmada, PACVD prosesinde hazırlanan kaplamaların aşınma özellikleri incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmada; 0,01-0,5 arasında aşınma oranları gözlenmiştir. Aşınmadaki bu farklılığın sebeplerinin, birikme prosesi ve tribolojik parametreler olduğu gözlenmiştir[5].

Elmas benzeri karbon (DLC) kaplamalar kristalleştirilmemiş birçok film içermektedir. DLC filmler in; sertlik,mükemmel aşınma ve kayganlık, kimyasal kararlılık, yüksek elektriksel direnç ve yüksek optik görünürlük gibi özelliklerinden dolayı elmasa çok benzemektedirler. Ve bu özelliklerinden dolayı ; matkaplarda, yataklarda, dişlilerde, kalıplarda, zımbalarda ve medikal implantlarda hayli fazla kullanılmaktadır. DLC film tabakaları, iron implantasyon , elektron siklotron rezonans mikrodalga plazma kimyasal buhar depolama (ECR-MPCVD) , doğrudan akım (DC), radyo frekans (RF), plazma güçlendirilmiş kimyasal buhar depolama gibi

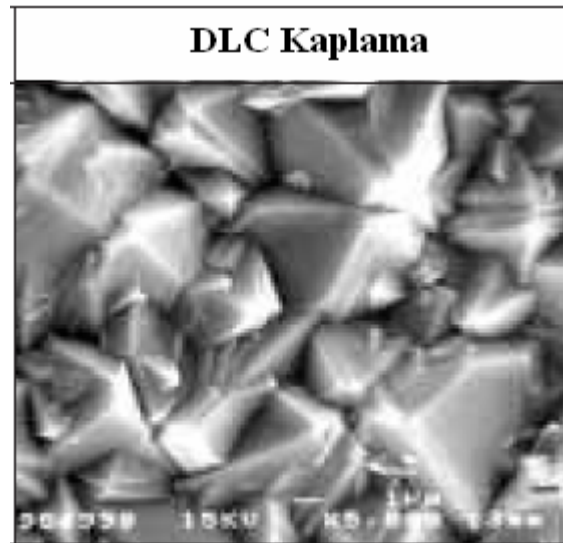
birçok yöntemle oluşturulmaktadır. Bu uygulamalar, kaplamanın kullanılacağı yere göre farklılık arz etmektedir. Diğer depolama teknikleri ile karşılaştırıldığında, elektron siklotron rezonans (ECR) yöntemi DLC uygulamalarında daha yeni bir yöntemdir [6].

Birçok DLC uygulaması aşınma ve sürtünme problemini çözmesine rağmen, yüksek iç gerilmeleri ve yapışma (adhesion) problemlerinden dolayı bazı kısıtlamalar olmaktadır. DLC kaplamanın kristal ile elmas ve grafit'in mikro yapıları şekil II.29 da görülmektedir [7].

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

Şekil II.29. DLC, Elmas ve Grafit Kristal'in Kristal Yapıları

DLC kaplamanın mikro yapısının daha iyi anlaşılabilmesi için Elektron mikroskop ile görüntülenen mikroyapı aşağıdaki şekil II.30'da sunulmuştur [7].



Şekil II.30. DLC'nin Mikro Yapısı

II.8. LİTERATÜR BİLGİLERİNİN İRDELENMESİ

II.8.1. Kuru Delmede Sıcaklığa Tesir Eden Faktörler ve Sıcaklık Ölçüm Yöntemleri

Talaşlı imalat, imalat proseslerinde oldukça önemli bir kısmı kapsamaktadır. Bundan dolayı talaşlı imalatla ilgili birçok araştırma ve yayın yapılmaktadır. Malzemelerin işlenmeye başlamasından itibaren birçok problem ile karşılaşmış ve bu problemlere birçok çözüm önerisi getirilmiştir. Sonuçta talaşlı imalatla ilgili çok önemli gelişmeler olmuş ve akabinde bu işlemler zaman ve maliyet açısından daha ideal şartlarda yapılmaya başlanmıştır.

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.

Daha kısa zamanda daha fazla talaş kaldırmak için bu parametrelerin artırılması kesici takımın kesici ağızları civarında sıcaklığın artmasına neden olmaktadır[8].

Bu sıcaklık artışı kesici takım ve iş parçasını yüzeyini oldukça fazla etkilemektedir. Talaşlı imalatla önemli bir yere sahip olan (yaklaşık %33) delik delme prosesinde sıcaklık kavramı bir hayli önemlidir. Çünkü torna ve freze gibi diğer talaşlı imalat yöntemlerinin aksine delme işleminde kesici takım iş parçasına dalmakta ve belli bir süre iş parçası içinde kesme işlemini gerçekleştirmekte olup nihayetinde sıcaklık küçük bir alanda yükselmektedir[9-11].

Sıcaklık, takım aşınması ve malzemenin tahribatı açısından en kritik parametredir[33]. Kesici takım ile iş parçası arsında 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[21]. Geçmiş yıllarda talaşlı imalatla soğutma sıvısı kullanımı oldukça yaygındı. Soğutma sıvısı takım ve iş parçasını soğutarak, takım ile iş parçası arasında oluşan ısıyı azaltmakta ve nihayetinde aşınma ve tahribat daha az

olmakta böylece takım ömrü daha uzun olabilmektedir. Lakin son yıllarda soğutma sıvısı kullanımını azaltmak hatta hiç soğutma sıvısı kullanmama yönünde bir eğilim söz konusudur. Çünkü soğutma sıvısı imalatı hem ekonomik hem de çevresel yönden istenilmeyen neticeler doğurmakta olup, hükümetler ve tüketiciler bunun kullanımının minimizasyonunu istemektedirler[12].

Dolayısıyla bilim adamları talaşlı imalatı soğutma sıvısı kullanmaksızın kuru işleme yapabilmenin yollarını araştırmaktadırlar ve alternatif çözümler geliştirmektedirler. Bilhassa talaşlı imalatı yüksek devir ve kesme hızlarına ulaşılması, sıcaklığında buna paralel olarak artmasına neden olmuştur. Özellikle delme işleminde sıcaklığın belirlenmesi ve sıcaklığa tesir eden parametrelerle ilgili çalışma yapan bilim adamları ve ulaştıkları sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

Bu çalışmalarda, deneysel, analitik, ampirik yaklaşımlar ve FE gibi yöntemler kullanılmıştır[13].

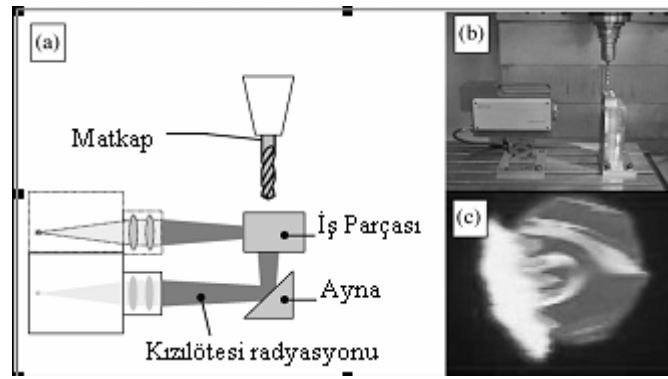
Delme esnasında Matkapta oluşan sıcaklığı tahmin etmek, Hervey ve Cook matkabın kesici kenar boyunca oluşan ortalama sıcaklığını tahmin için model geliştirmiştir. DeVries ise kesici ağız boyunca oluşan sıcaklığı tahmin için oldukça karmaşık bir analitik model geliştirmiştir[13]. DeVries'in yaptığı bu çalışma Agapiou ve DeVries [14] 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 dayanıyordu. Elde ettikleri bu sonuçları [15] deneysel çalışmalarında elde ettikleri verilerle karşılaştırmışlardır.

Agapiou ve Stephenson yeni bir model geliştirdi ki bu modelde geçici ve sürekli sıcaklık dağılımı gelişigüzel nokta geometrisinde hesaplandı. 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[16].

Bono ve Ni [11] çalışmalarında matkabın kesici ağzında oluşan maksimum sıcaklığı FE modelini kullanarak belirlemeye çalışmışlardır. Bono'ya göre maksimum sıcaklık genel kanaatin aksine matkabın dış kısmında değil radyal ağızda oluşmaktadır. Bu modelini deneysel uygulamayla karşılaştırarak doğrulamışlardır.

Bono ve Ni [17] kuru delmede, matkap ve iş parçasının çap ve silindirikliğine termal yayılmanın etkisinin modelini oluşturmuşlardır. Bu çalışmada iki tane FEM kullanmışlardır. Birincisi, silindirik iş parçası için iki boyutlu asimetrik FE modeldir ve bu modeli oluşturmak için ABAQUS yazılımını kullanmışlardır. İkincisi ise; 4 düğümlü bilineer sıcaklık ve yerdeğişim elementlerini kullanmışlardır. Bu modellerini doğrulamak için deneysel çalışmada yapan Bono ve Ni deneysel çalışmada, termokupl (Isıl çift) metodunu kullanarak sıcaklığı ölçmüşlerdir ve deneysel sonuçları da termal yayılmanın oldukça etkili bir faktör olduğunu göstermiştir.

Dörr [18] ise ‘in situ’ infrared tekniğini (temassız sıcaklık ölçme) ve yüksek çözünürlükteki termografik kamera kullanarak kesici takım ile iş parçası arasındaki temas noktasının sıcaklığını ve talaş akışının sıcaklığını ölçmüştür(Şekil II.31).



Şekil II.31. Dörr'ün Deney Düzeneği

Dörr bu çalışmasının sonucunu değişik kaplama türlerinin sıcaklığa tesirini araştırmıştır. Dörr'e göre sıcaklığa karşı en mukavim kaplama TİA1N+ZrO₂ dir.

Bağcı ve Özçelik [19] delik derinliği, spindle devri ve ilerlemenin matkap ucundaki sıcaklığa tesirini incelemişlerdir. AISI 1040 ve Al 7075-T651 iş parçası delinerek yapılan araştırmada, sıcaklık ölçüm yöntemi olarak ise spiral matkapta termokupl yöntemini kullanmışlardır. Ayrıca kademeli ve sürekli delme yaparak bunun matkap uç sıcaklığına etkisini araştırmışlardır. Bu çalışmalarda matkap sabitlenerek iş parçası döndürülmüştür. Kurt ve arkadaşları [20] Al 2024 alaşım malzemesinin matkap ile delinmesinde delik kalitesini incelemişlerdir.

Grzesik [13] kesme bölgesindeki sıcaklık dağılımını belirlemek için termal analitik ve simülasyon modelini kaplamalı ve kaplamasız karbür uçlarda kullanmıştır.

Chung, [9] delme prosesinin termal davranışının modelini oluşturmuştur ilaveten kesme sıcaklığının ölçümünü FEM yöntemiyle gerçekleştirmiştir. Chung, delmede sıcaklığın analizi için bir ve iki boyutlu tahmin problemleri önermiştir. Ayrıca ters ısı problemlerini çözmek için gözlemci algoritması oluşturmuştur.

Kalidas [22] 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 – 2,54 mm kadar yaklaşmayı başarmıştır.

Rivero [23] 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 0.2 mm 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 [24] çalışmasında, değişik işleme parametrelerinin ve kaplamaların kuru delmede aşınmaya ve sıcaklığa tesirlerini incelemiştir. Nouari, çalışmalarında alüminyum iş parçalarını tercih etmiştir. Çalışmalarında özellikle matkap aşınmasını inceleyen araştırmacı buna ilaveten delik formları ve sıcaklığı da incelemiştir.

Nouari [25] 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/min 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 [26] Ti6Al4V iş parçasının delinmesi esnasında karbür matkabın ulaşabileceği maksimum sıcaklığı Termokupl yöntemini kullanarak araştırmıştır.

Zelimann deneyinde değişik kaplamalı (TiAlN, CrCN ve TiCN)karbür matkapları kullanmıştır. Çalışmasındaki temel gayenin, minimum yağlama miktarı (MQL) şartlarında değişik kaplamaların sıcaklığını değerlendirmek olduğunu belirtmektedir. Termokupl ile kesici takım arasında 0,2 mm mesafe vardır.

Kelly [27] 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 0,2 mm 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 [28] 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, 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[29].

Tüm bu çalışmalar ve burada bahsetmediğimiz çalışmalar ve araştırmalar incelendiğinde ulaşılan sonuç; sıcaklık talaşlı imalatta özellikle kuru işlemede önemli kriter olarak karşımıza çıkmaktadır. Sıcaklık, hem kesici takımı hem de işparçasını etkilemektedir. Özellikle kesici takımda değişik aşınma türlerine ve nihayetinde takımın ömrünü; beklenen süreden daha kısa zamanda tamamlamasına neden olmaktadır. Sıcaklık değeri belli bir noktayı geçtiği zamanda iş parçasının yüzey kalitesine olumsuz tesir etmektedir. Bu problemleri aşabilmek için değişik alternatifler araştırılmış ve özellikle günümüzde kullanımı yaygın olan malzemelerin işlenmelerinde oluşan sıcaklık değerleri belirlenerek ifşa edilmiştir. Bu iş parçaları için optimal kesici takım ve kesme şartları belirlenmiştir.

Bu çalışmalar yapılırken; sıcaklık ölçümü için değişik metotlar denenmiştir. Örneğin deneysel çalışmalarda en çok uygulanan metot; ilk olarak Stephenson ve Agapiou tarafından ortaya atılan ve kullanılan termokupl yöntemi tercih edilmekle beraber, bu yöntemde bazı kısıtları olduğu değişik araştırmalarda ortaya çıkmaktadır. Deneysel çalışmalarda kullanılan diğer bir metot ise temassız ölçüm yöntemi (infrared) dediğimiz yöntemdir. Bu yöntemde özellikle bazı talaşlı imalat metodlarında daha verimli olup delik delme gibi bazı talaşlı imalat yöntemlerinde ise uygulanması ve doğru sonuçlar alınması oldukça güçtür.

Bu tezin çalışma konusu olan; delik delme işleminde en optimal metot termokupl olup bu çalışmada da termokupl yöntemi kullanılmıştır. Genel literatüre bakıldığında bu tezin konusuyla paralel çalışmalar olmakla beraber hem delinen iş parçası hem de işleme şartları ve sıcaklık ölçüm metodunun uygulanması açısından farklılıklar içermektedir. Dolayısıyla bu çalışma literatür açısından, Al 2024'ün delinmesi esnasında sıcaklığının deneysel olarak ölçülmesi ve FEM kullanılarak analizinin yapıp deney sonuçlarıyla kıyaslanması bakımından önem arz etmektedir.

II.8.2. Delik Delmede Kesme Kuvvetleri ve Tork

Delme işleminde oluşan kesme kuvvetleri ve tork hem kesici takımın kesme kenarlarına hem de delinen deliğin kalitesine tesir etmektedir.

Klasik matkabın, uç açısı, radyal ağız açısı, radyal ağız uzunluğu, kesici uç uzunluğu ve helis açısı gibi birkaç tasarım parametresi vardır. Bu parametrelerden her biri kesme kuvveti ve delik kalitesini değişik şekillerde etkilemektedir.

Matkap iki ana kesme ağzından oluşmaktadır, bunlar; radyal ağız ve kesme uçlarıdır. Radyal ağız iş parçasına basınç uygular ve büyük ölçüde itme kuvvetine katkı sağlamaktadır. Kesici uçlar malzemeyi kesmekte ve bununla beraber delme torku ve basıncı uygulamaktadırlar. Delme işlemi süresince, talaşlar kesici ağız boyunca şekillenmekte ve helis açısını takip ederek iş parçasından dışarı çıkmaktadır. Matkap geometrisi kesme kuvvetlerine anlaşılması güç ve komplike etkilerde bulunmaktadır. Buna ilave olarak, kesme kuvveti takıma, iş parçası malzemesine ve işleme şartlarına bağlıdır. ,Kesme kuvvetlerindeki temel problem; Delik imalatında form ve şekil hataları, vibrasyon takım aşınması gibi problemlerdir.

Lazoğlu, çalışmasında delme işleminin mekanik ve dinamik hareketi esas alarak, kesme kuvvetleri ve delik kalitesinin tahmini için matematik model

geliştirildi. Yapısal dinamik modüllerle mil (spindle) 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 seçilmiş olunmuştur. Teorik model sonuçları ile ölçülen kuvvetleri ve CMM delik profilini doğrulamak için çok sayıda deney yapmıştır. Sonuç olarak model tahminleri ile kuvvetler ve CMM ölçümleri arasında ciddi farklılık çıkmadığını ifade etmektedir[30].

Mohan [31] çalışmasında cam elyaf takviyeli kompozit malzemenin delinmesi esnasında kesme parametrelerinin kesme kuvvetleri ve torka 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 verilere dayanarak; delmede torka tesir eden en önemli parametrelerin iş parçası kalınlığı ve matkap çapı olduğunu ifade etmiştir.

Fernandes [32] deneysel çalışmasında, karbon kompozit malzemeyi delme esnasında kuvvet ve torkun delik kalitesi ve aşınmaya tesirini incelemiştir. Ayrıca takım aşınması ve iş parçası kalınlığının kesme süresi boyunca kesme kuvveti ve torka tesirini araştırmıştır.

Bu çalışma sonucunda Fernandes, aynı matkap ucuyla delinen delik sayısı arttıkça itme kuvvetinin arttığı fakat torkun ciddi mahiyette etkilenmediğini gözlemlemiştir. İş parçası kalınlığının kesici takım aşınmasında önemli rol oynadığını da belirten yazar, küçük bir iş parçası kalınlığının dahi büyük oranlarda itme kuvvetine neden olarak sonuç itibarıyla aşınmaya sebep olduğunu ifade etmektedir.

Kim [33] çalışmasında spiral matkabın takım geometrisi ve kesme şartlarını referans alarak kuvvet ve gerilme analizi yapmıştır. İtme kuvveti ve torkun tahmini için teorik modeller geliştiren Kim, kuvvetlerin tahmini için sonlu elemanlar modeli kullanmıştır. Eğik kesme (Oblique) için kesici ağzın modelini ve dik (Orthogonal) kesme içinde radyal ağzın modelini çıkaran Kim, itmek kuvveti ve torku herhangi bir deneysel çalışma yapmadan sadece takım geometrilerini dikkate alarak analitik

olarak tahmin etmiştir. Gerilme analizinde ise ANSYS yazılımını kullanmıştır. Elde ettiği sonuçların matkap dizaynında uygulanabilir datalar olduğunu ifade etmiştir.

Strenkowski [34] 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 (Orthogonal) kesmede talaş açısı değerleri; -30, -15, 0, 10,20 ve 30 tercih edilmiştir. Tüm takımların kesici ağız serbest açısı 10° seçilmiştir. Eğik (Oblique) de 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, yaptığı çalışmada yüzey tesir metodolojisi (Response surface methodology) yöntemini temel alarak, kesme hızı, ilerleme ve matkap çapı gibi delme kontrol parametrelerinin eksenel kuvvet ve torka tesirini hatmin etmek için matematiksel model geliştirmiştir. Matematiksel modeli geliştirmek için Microsoft Excel regresyon analiz modülünü kullanmıştır. Bu parametrelerin delmede optimal kullanımı sonucunda eksenel kuvvet ve torkta önemli ölçüde azalma meydana geleceğini vurgulamaktadır[35].

Bakkal ve Shih [36] 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 Kenar Birikimleri Oluşumu (Built Up Edge-BUE) meydana geldiği gözlenmiştir. Ki buda kesmeyi zorlaştıracak 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 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.

Bu tezin deneysel kısmında da yukarıdaki çalışmalarla paralel olmakla beraber, malzeme olarak özel kullanım yeri (Havacılık, uzay ve otomotiv) olan Al 2024 malzemesinin delinmesinde kesme kuvvetleri ölçülecektir. Ayrıca bunların delik kalitesine tesiri de farklı yöntemlerle incelenebilir. Farklı geometrilerde matkapların kullanılması ve kuru delme olması hasebiyle, bu zamana kadar yapılan çalışmalardan farklı bir takım araştırma bulgularına ulaşılabileceği beklenmektedir ve literatüre faydalı olacağı ümit edilmektedir.

II.8.3. Matkaplarda Kaplama Türleri ve Delme Performansına Etkileri

Kesici takımları genel olarak sınıflandırmak gerekirse; HSS, HSSE ve Sert karbür uç şeklinde sınıflandırabiliriz. Her bir kesici takımın malzeme özelliklerinden dolayı belli mukavemet değerleri vardır. Dolayısıyla her kesici takım belli bir çalışma süresinden sonra belli kesme şartlarında ya aşınır veya katostropik hata, eğer kesme şartları iyi ayarlanmazsa kırılma gibi hatalar dahi olabilir. Esasında çok mükemmel özelliklerde kesici takım yapılarak ömürleri çok daha uzun hale getirilebilir. Lakin bunun dezavantajı ise; böyle bir kesici takımın maliyetinin çok yüksek olmasıdır.

Araştırmacılar her iki yönden de kesici takımı optimize etmek için kaplamaları geliştirmişlerdir. Normal şartlarda kesici takımın ana malzemesi maliyeti çok yüksek

olmayan, yukarıda bahsettiğim malzemelerden yapılmakta fakat kesici takımın mukavemetini, sıcaklığa dayanımını ve aşınma direnci gibi parametreleri iyileştirmek için kaplama yöntemini geliştirmişlerdir. Bu çalışmalarda, değişik malzemeler için alternatif kaplamalar denenmiş veya kaplamaların sıcaklık ve aşınma direnci araştırılmıştır.

En sık kullanılan kaplama tekniği Ark PVD tekniğidir.

Ark PVD tekniği, kaplama malzemesinin vakum ortamında buharlaştırılması esasına dayanır. Bu teknik, kaplama malzemesinin (Ti, Cr, Al₂O₃, TiAlN vs.), vakum ortamında eritilip buharlaştırılarak, buharlaşan atomların elektro manyetik ortam içerisinde, matriks malzeme yüzeyine yoğunlaştırılması esasına dayanır. Bu sistemde, vakum kazanı içerisinde kaplama malzemesi katot, matriks malzemesi anot olarak asılı pozisyonundadır. Sisteme uygulanan voltaj (400-500V) ve yüksek akım değerinin (100-250A) etkisiyle, katot yüzeylerinde ark meydana gelir. Katodun ark oluşturduğu alanlarda, sıcaklığın ergime sıcaklıklarında olması (1660 oC), Ti elementinin buharlaşmasını sağlar. Matriks ve kaplama malzemenin ısıtılması ayrı rezistanslarla sağlanır. Matriks malzeme alt kritik sıcaklığın çok altında ısıtılarak (yüksek hız çeliklerinde 400 – 550 oC), anot ve katot arasında elektro manyetik ortam sağlanır. Bu ortamda, vakum içerisine azot verilerek, buharlaşan titanyum atomlarıyla azotun reaksiyona girmesi sağlanır. Oluşan TiN atomları, katottan anoda doğru aktif enerjilerini kaybetmeden ilerleyerek, matriks malzeme yüzeylerinde yoğunlaşır. Matriks yüzeye biriken kaplamanın mukavemeti aşağıdaki parametrelere göre değişir[41].

Chen [10] çalışmasında değişik kaplamalı HSS spiral matkapların kesme performansını araştırmıştır. Chen, JIS SS 400 karbon çeliğinin delinmesi esnasında değişik kaplamalı matkapların kesme kuvvetleri birbirleriyle kıyaslayarak, JIS SS 400 karbon malzemesi için optimal kaplama türü belirlenmeye çalışmıştır. Bu malzeme için en uzun ömürlü kaplama türünü belirlemiştir. Ayrıca delme prosesinde kaplama tabakası ve delme şartlarının kesme kuvveti ve matkap ömrüne tesiri tartışılmıştır.

Deneyde, kesme kuvvetleri ve kesici takım ömrünü, delme prosesinde araştırmak için 3 değişik kaplamalı HSS helisel matkap kullanılmıştır. Birincisi TiN

mono moleküler tabaka kaplamalı iken diğer iki helisel matkap TİN yüzey çok katmanlı (diğer bir ifade ile TİN/TİCN/TİN/TİCn/TİN-yüzey) ve TİCN-yüzey çok katmanlı (TİN/TİCN/TİN/TİCN/TİN/TİCN-ara yüzey) kaplamalı.

Chen'in ulaştığı sonuçlar ise;

Deneyssel sonuç göstermiştir ki; delme esnasında basınç kuvveti ve tork, aynı delme şartlarında ciddi farklılık arz etmiyor. Ancak, basınç kuvveti ve tork tüm kaplama türlerinde ilerlemeye bağlı olarak artıyor. Ve devir sayısı 725 rpm e çıkarsa belli bölgedeki basınç kuvveti ve tork azalıyor. Diğer bir ifade ile, ilerleme oranının, delme prosesi esnasında oluşan itme kuvveti ve torka etkisi (kaplamalı spiral matkaplarda) spindle devrinin etkisinden daha fazladır. Böylece HSS TİCN-çok katman yüzeyli matkap daha yüksek spindle devirlerinde kullanılabilir diye bir sonuca ulaşmanın mümkün olduğunu ifade etmektedir.

Serbest yüzey(flank)deki aşınma miktarını da inceleyen Chen'in ulaştığı sonuç; TİCN çok katman kaplamalı matkap diğer matkaplara oranla serbest yüzey aşınması olarak da en az aşınan matkaptır.

Chen,[37] bu çalışmasında, JIS SUS 304 paslanmaz çeliğin delinmesinde Titanyum nitrür (TİN) ve titanyum karbon nitrür (TİCN) kullanmıştır. Çalışmasındaki amaç bu kaplama türlerini JIS SUS 304 paslanmazın delinmesinde kullanarak bunları birbirleriyle değişik parametreleri dikkate alarak kıyaslamak ve bu iş parçası için optimal kaplama türünü belirlemektir. Ayrıca kaplama malzemesi, kaplama tabakası ve delme koşullarının kesme kuvvetlerine etkisini de bu çalışmada incelemiştir. Kullandığı matkaplara kaplama PVD yöntemiyle kaplanmıştır.

Smith [38] çalışmasında HSS spiral matkabın TİALN kaplanmasıyla kesme performansının değişimini incelemiştir. Bu çalışmadaki kaplama PVD tekniği ile kaplanmıştır. TİALN kaplama değerlerini standart'ın dışında değerler vererek oluşturmuş ve bunların matkabın aşınma direncine etkisini deneyssel olarak incelemiştir. Yaptığı deneyde kuru delme işlemi gerçekleştirmiş olan Smith, ayrıca kaplama spesifikasyonlarının delinen deliğin karakteristiklerine tesirini de yorumlamıştır.

Hanyu [39] çalışmasında alüminyum alaşımı(Al 7075), kuru ve yarı kuru delmede kristalleştirilmiş elmas kaplı takımların etkisini incelemiştir. Bu kaplama

türünü de kendi çalışma grupları geliştirmiş olup, geleneksel elmas kaplama ile kristalleştirilmiş elmas kaplama arasındaki farkı görmek için alüminyum malzemeyi her iki kaplama ile de kaplanmış matkaplar ile delme yapmışlardır. Kuru delmede yüzey pürüzlülüğü açısından, kendi geliştirdikleri kristalleştirilmiş elmas kaplamanın normal elmas kaplamaya göre dört kat daha iyi sonuç verdiğini deneysel olarak kanıtlamışlardır. Deneyde, kullanılan matkap 6 mm çapında olup, kesme hızı 85 m/dak ve ilerlemeyi 0.12 mm/dev seçmişlerdir. Delik derinliğini ise matkabın çapının 3 katı olan 18 mm seçmişlerdir.

Dasch çalışmasında HSS ve karbür matkapları değişik sertliklerde kaplama malzemesiyle kaplayarak bunların alüminyum alaşımların delinmesinde performanslarını karşılaştırmıştır. Ayrıca aşınma ve sıcaklık değerlerini de kıyaslamıştır[40].

Bu tez çalışmasında ise; HSS ve Karbür matkap kullanılmıştır. Kaplama malzemesi olarak ise; HSS TiN kaplı ve HSS TiAlN ve kaplıdır. Ayrıca deneyde kullanılan karbür uç Sandvik olup TiN/TiAlN çift katman kaplıdır. Bu çalışmada kaplamaların da tesiri incelenmiş olup, bunlarla ilgili veriler ve değerlendirmeler Tez çalışması kısmında sunulmuştur.

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 0,2 mm kadar yaklaştırılmıştır. Kesici takımın delme işlemi boyunca sıcaklığının ölçümü, üç farklı noktadan iş parçası içerisine salınan ısı çiftleriyle 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. MATERYAL

III.2.1. CNC Freze Tezgahı

Deney düzeneğinde kullanılan CNC tezgahı; üç eksenle lineer ve dairesel interpolasyon 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 – 850 / 550+APC
Tabla çalışma yüzeyi	40” x 20” (1000 x 500 mm)
Hareket sınırları	X : 31.5” (800 mm) Y : 20” (500 mm) Z : 17.7” (450 mm)
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 (5500 kg)



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

III.2.2. Deneyde Kullanılan İş Parçası Malzemesi (Al 2024-T4) ve 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 [41].

Al 2024-T4 alüminyum – bakır – magnezyum alaşımlarındandır. Al 2024-T4’ün kullanımı uzay, uçak ve otomotiv sanayinde her geçen gün artmaktadır.

Deneyde kullanılan numuneler dikdörtgen şeklinde olup, 220 mm uzunluğu, 70 mm genişliği ve 50 mm derinliğindedir. Tablo III.2’de Al 2024’e ait kimyasal kompozisyonlar ve Tablo III.3’de ise mekanik özellikleri sunulmuştur.

Tablo III.2. Al 2024-T4’ün Kimyasal Kompozisyonları

Al	Cu	Mg	Mn	Fe	Si	Ti	Zn	Cr
Temel	3.8-4.9	1.2-1.8	0.3-0.9	0.5	0.5	Max 0.15	Max 0.25	Max 0.1

Tablo III.3. Al 2024-T4’ün Mekanik Özellikleri

UTS(Mpa)	YS(Mpa)	Uzama(%)	Sertlik(Bhn)
440	303	17	120

III.2.3. Deneyde Kullanılan Kesici Takımlar

Deneyisel çalışmada kullanılan DLC kaplamalı matkaplar (Şekil III.2) ve matkaplara ait boyutsal ve mekanik özellikler aşağıda Tablo III.4’de sunulmuştur.

Tablo III.4. Matkapların Boyutsal Ve Mekanik Özellikleri

Matkap Çapı(mm)	Helis Boyu(mm)	Tam Boy(mm)	Gövde Çapı(mm)
6	41	85	6
8	48	92	8
10	61	110	10

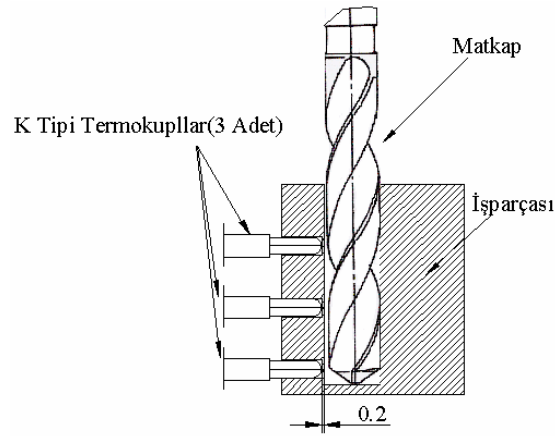
Şekil III.2. Deneyde Kullanılan Matkaplar



III.2.4. Deneyde Kullanılan Sıcaklık Ölçüm Cihazları

Deneyisel çalışmada, sıcaklık ölçümünü gerçekleştirmek için bir düzenek oluşturulmuştur.

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



Şekil III.3. Termokuplun Yerleştirilme Düzeni [1]

Termokupllardan alınan sıcaklık değerlerini toplamak ve bilgisayara aktarmak (RS232 kablo vasıtasıyla) için Pico® TC-08 marka 8 kanallı termokupl data toplayıcısı kullanılmıştır(Şekil III.4). Ayrıca bu cihazın “PicoLog for Windows 32 Bits” yazılımı sayesinde ölçülen sıcaklık değerleri bilgisayara aktarılıp, grafiksel ve/veya sayısal olarak görülmektedir.



Şekil III.4. Pico® TC-08 Marka 8 Kanallı Termokupl Data Toplayıcısı

III.2.5. Deneyde Kullanılan Kuvvet Ölçüm Cihazları

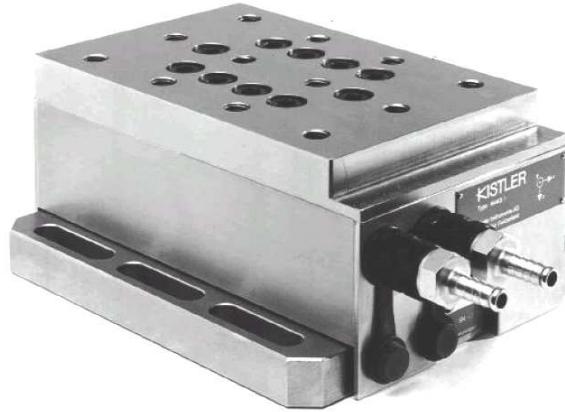
Deneyisel çalışmada kesme kuvveti ölçümünü gerçekleştirmek için oluşturulan düzenekte iş parçasının delinmesi esnasında iş parçasını etkileyen üç- eksenli bileşenlerinin ölçülmesinde ve analizinde kullanılmıştır. Oluşturulan düzenekteki parçalar; üç boyutlu kuartz dinamometre, üç kanallı charge-amplifikatörü, dinamometreye bağlanabilen uç bağlama aparatı, ölçüm bilgilerinin analizi için program, bilgisayar bağlantısı için ISA tipi A/D kartı ve ara bağlantı kablolarından oluşmaktadır.

III.2.5.1. Kuartz Dinamometre

Bir kuvvetin üç eksenli bileşenlerini ölçmede kullanılır, çok rijit bir yapıya sahip olması dolayısıyla yüksek tabi frekansa sahiptir. İki metal plaka arasında monte edilmiş dört adet üç eksenli kuvvet sensörü bulunmakta, her sönerde üç çift kuartz plaka vardır ve bunlardan biri Z yönünde basınca, diğer ikisi X ve Y yönlerindeki kesme kuvvetine hassastır. Bu sensorlar dinamometre(Şekil III.5) içinde kendi aralarında uygun şekilde bağlanıp, çıkış sinyalleri 9 uçlu bir soket üzerinden dışarı bağlanmıştır. Kuvvet sensorunun teknik özellikleri Tablo III.5’de verilmiştir. Yük amplifikatörü olarak KISTLER 5019b tipi yük amplifikatörü kullanılmıştır. Bu amplifikatör kuvvet sensöründen üç eksende (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.

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

Tablo III.5. Kuvvet Sensörünün Teknik Özellikleri



Şekil III.5. Kistler Dinamometre

III.2.5.2. Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Cihazı

Pürüzlülük aritmetik ortalaması (R_a): Merkez ortalama çizgisi (CLA) olarak ta bilinen, yükseklik aritmetik ortalaması kalite kontrolünde oldukça sık kullanılan pürüzlülük parametresidir. Şekil II.20’de gösterildiği gibi bir örnekleme boyu üzerindeki ortalama çizgisinin altında ve üstünde kalan mutlak düzensiz pürüzlülüklerin aritmetik ortalamasıdır. Bu parametreyi tanımlamak ve ölçmek çok kolaydır ve yükseklik dağılımları hakkında iyi ve genel bir tanımlama verir. Fakat, bu parametre dalga boyu hakkında hiçbir bilgi vermez ve profildeki küçük

değişiklikler için hassas değildir. Bu parametrenin matematiksel ifadesi aşağıdaki formüldeki gibidir [46].



Şekil III.6. Yüzey Pürüzlülüğü Aritmetik Ortalaması

$$R_a = \frac{1}{L} \int_0^L |Y(x)| dx \quad (III.1)$$

Deneyisel çalışmada, işleme sonrası elde edilen iş parçasının işlenen yüzeyindeki pürüzlülük değeri MARH-Perthometer ile ölçülmüştür.

III.2.5.3. Analiz Programı

KISTLER 5019b yük amplifikatöründen alınan dataların değerlendirilmesi ve grafiksel olarak ifade edilmesi için geliştirilen DynoWare isimli yazılım programı kullanılmıştır. Bu program sayesinde 3 eksen de iş parçasına etki eden kuvvetler grafiksel olarak görülmekte ve istenildiği takdirde data olarak Microsoft Office Excel programına aktarılabilmektedir.

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 [42].

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 [43]. 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 diziye parametrelerin uygun seviyelerinin yerleştirilmesi,

4. Ortogonal diziye 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 diziye parametrelerin uygun seviyelerini yerleştirmektir. Taguchi kısmi faktöriyel deney tasarımlarına “ortogonal dizi” ismini vermiştir. Ortogonal diziler Taguchi taraflardan aşağıdaki gibi kodlanmıştır [43,44].

$LX(Y^Z)$

(III.1)

Bu kodlamada;

L: Latin kare tabanlı anlamındadır.

X: Tasarımdaki deney sayısı,

Y: Deneydeki seviye sayısı,

Z: Deneyde kullanılabilecek max. faktör sayısı.

Bu kodlamanın pratikte (YZ) kısmı pek kullanılmamaktadır. Taguchi tarafından hazırlanan dizilerin listesi aşağıdaki çizelgede verilmiştir (Tablo III.6). L18 (41x24) tasarımında 41 bir adet dört seviyeli, 24 dört adet iki seviyeli faktör anlamına gelmektedir.

Tablo III.6. Ortogonal Dizin Tipleri

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

Deneyisel çalışmaların yapılması parametre tasarımının dördüncü aşamasıdır. Bir sonraki aşamada ise, deneyisel 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 [43].

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.

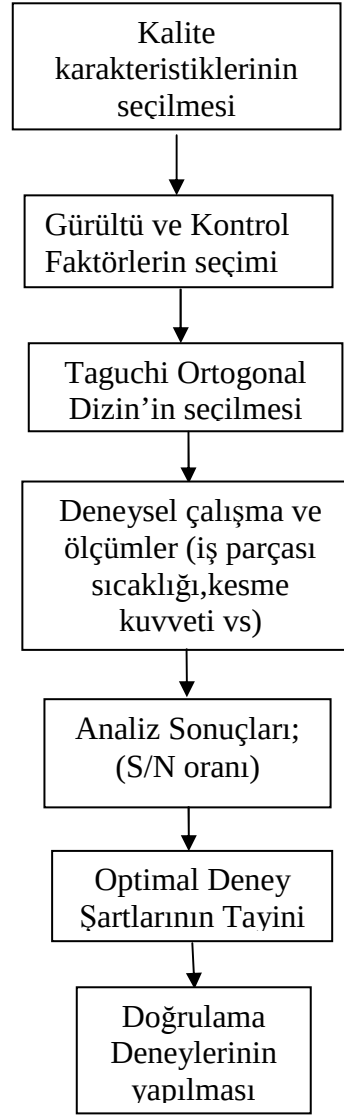
Daha küçük daha iyi (S/N_s): Ortalamayı ve değişimi olabildiğince küçültmek istenen problemlerde kullanılır. Örneğin, talaşlı imalatla, yüzey pürüzlülüğünün optimizasyonu için kullanılabilir.

III.3.1.1. Çalışmanın Deney Tasarımı ve Optimizasyon için Taguchi Metodu

Bu çalışmada, Deneyin tasarım aşamasında da Taguchi Metodu kullanılmıştır. Bu çalışmada, Taguchi optimizasyon metodunun basamakları Şekil III.7 deki gibi tasarlanmıştır. Kalite karakteristiğini belirlerken, ölçülecek yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvveti oranlarının en az olması istendiğinden dolayı, deneyler sonucunda ulaşılması beklenen kalite değerlerinden, en küçük en iyidir prensibi uygulanmıştır [45].

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

Denklem III.1 deki n = deney şartlarında yapılan deney sayısını ve y ise ölçülen karakteristiği (Bağımlı değişkeni) ifade etmektedir.



Şekil III.7. Taguchi Optimizasyon Uygulamasının Aşamaları [45]

III.2.3.1. Faktörlerin Belirlenmesi ve Ortogonal Dizin

Bu çalışmanın en önemli amaçlarından biride endüstriyel uygulamalara katkı sağlayarak, reel çözümler üretmektir. Bu amaç dikkate alınarak, faktör seçiminde günümüz imalat sanayinde kullanılan proses parametreleri, işleme koşulları ve kesici takımlar tercih edilmeye çalışılmıştır. Bu bağlamda, endüstriyel uygulaması, hafiflik, yüksek mukavemet ve kolay şekillendirilebilirlik gibi özelliklerinden dolayı Alüminyum malzemesinin işlenmesinde kullanılabilecek parametrelerden; ilerleme oranı, talaş derinliği, iş parçası boyu ve çapı gibi özellikler dikkate alınmıştır. En uygun faktörlerin seçilerek ,optimal kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü, minimal

titreşim ve iş parçasında optimal boyutsal doğruluğun elde edilmesi amaçlanmıştır. Belirlenen faktörler ve bunların seviyeleri Tablo III.7’ de sunulmuştur.

Tablo III.7. Kontrol Faktörleri ve Seviyeleri

	Faktörler	Birim	1. Seviye	2. Seviye	3. Seviye
1	(A) Kesme hızı	(m/dak)	40	50	60
2	(B) İlerleme oranı	(mm/dev)	0,20	0,25	0,30
3	(C) Matkap çapı	Mm	6	8	10

Tablo III.7’ deki faktörler göz önünde bulundurularak, deneysel çalışma için en uygun tasarım olarak 9 deneyli Taguchi L₉ ortogonal dizin seçilmiştir. TabloIII.8’de Minitab 15 istatistik yazılımı yardımı ile belirlenen L₉ lik deney tasarımı görülmektedir.

Tablo III.8. Taguchi L₉ Deney Tasarımı

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

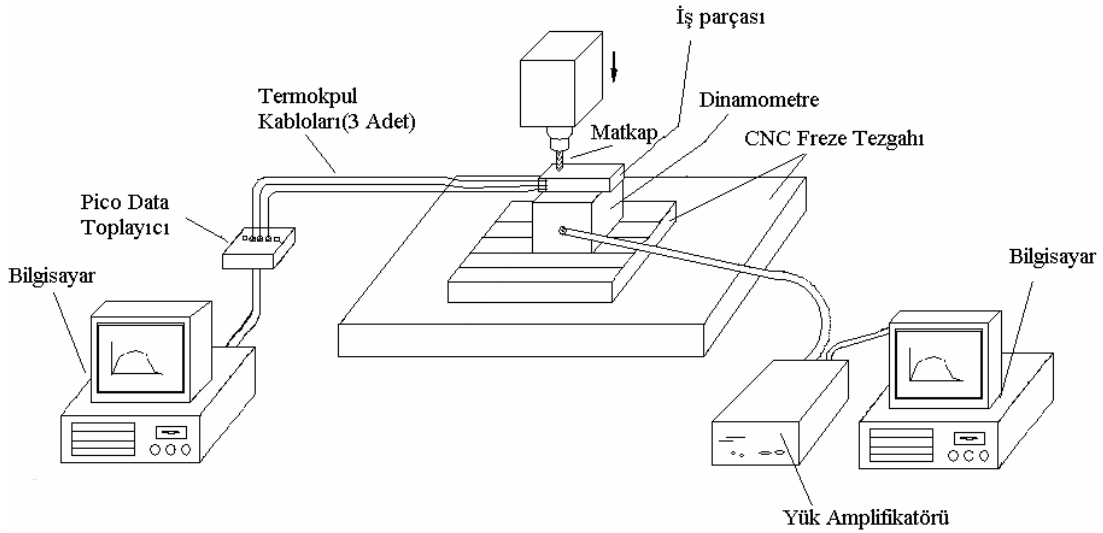
III.3.1.2. Delme Sıcaklığı (DT) , İtme Kuvvetinin (F) ve Ortalama Yüzey Pürüzlülüğünün (Ra) Ölçümü ve Sonuçları

Bu çalışmada; 1 mm çapında 3 adet K (Chromega® - Alomega®) tipi Teflon kaplı PFA OMEGA termokupl kullanılmıştır. Bu termokupllar 500 °C’ye kadar sıcaklık ölçebilmekte ve 10 µsn yanıtlatma zamanına sahiptir. Termokupllar Şekil III.3’de gösterildiği gibi iş parçası içerisine açılan deliğe salınmıştır. Termokuplların arasındaki mesafe 10 mm olarak belirlenmiştir.

Termokupllardan alınan sıcaklık değerlerini toplamak ve bilgisayara aktarmak (RS232 kablo vasıtasıyla) için Pico® TC-08 marka 8 kanallı termokupl data toplayıcısı kullanılmıştır. Ayrıca bu cihazın analiz yazılımı sayesinde ölçülen

sıcaklık değerleri bilgisayara aktarılıp, grafiksel ve sayısal olarak görülmüştür. Kurulan deney düzeneği şematik (Şekil III.8) ve fotografik (Şekil III.9) olarak sunulmuştur.

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.8 ve Şekli III.9'da şematik ve fotografik olarak görülmektedir.



Şekil III.8. Deney Düzeneğinin Şematik Gösterimi [1]



Şekil III.9. Deney Düzenekinin Fotoğrafik Gösterimi

Yapılan ölçümler sonucu elde edilen delme sıcaklığı, itme kuvvetleri ve ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri Tablo III.9’da sunulmuştur.

Tablo III.9. Deneylerden Elde Edilen Sonuçlar

Deney No.	Değişkenler	DT (°C)	F (N)	Ra (µm)
1	A ₁ B ₁ C ₁	48	249	1,47
2	A ₁ B ₂ C ₂	34	320	1,32
3	A ₁ B ₃ C ₃	59	395	1,05
4	A ₂ B ₁ C ₂	51	345	0,98
5	A ₂ B ₂ C ₃	49	387	0,86
6	A ₂ B ₃ C ₁	63	410	1,26
7	A ₃ B ₁ C ₃	54	392	1,19
8	A ₃ B ₂ C ₁	49	376	1,56
9	A ₃ B ₃ C ₂	60	384	1,98

Taguchi optimizasyonu için her bir deney için elde edilen S/N oranları Tablo III.10’da verilmiştir.

Tablo III.10. Taguchi L₉ Deney Tasarımı

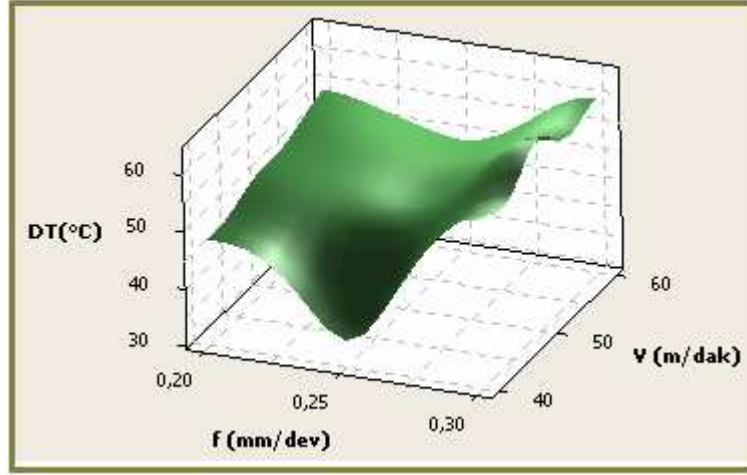
Deney No.	DT (°C)	S/N (dB)	F (N)	S/N (dB)	Ra (µm)	S/N (dB)
1	48	-33,6248	249	-47,9240	1,47	-3,34635
2	34	-30,6296	320	-50,1030	1,32	-2,41148
3	59	-35,4170	395	-51,9319	1,05	-0,42379
4	51	-34,1514	345	-50,7564	0,98	0,17548
5	49	-33,8039	387	-51,7542	0,86	1,31003
6	63	-35,9868	410	-52,2557	1,26	-2,00741
7	54	-34,6479	392	-51,8657	1,19	-1,51094
8	49	-33,8039	376	-51,5038	1,56	-3,86249
9	60	-35,5630	384	-51,6866	1,98	-5,93330

III.3.2. Analiz ve Optimizasyon

III.3.2.1. Delme Sıcaklığının Sonuçları ve Optimizasyon

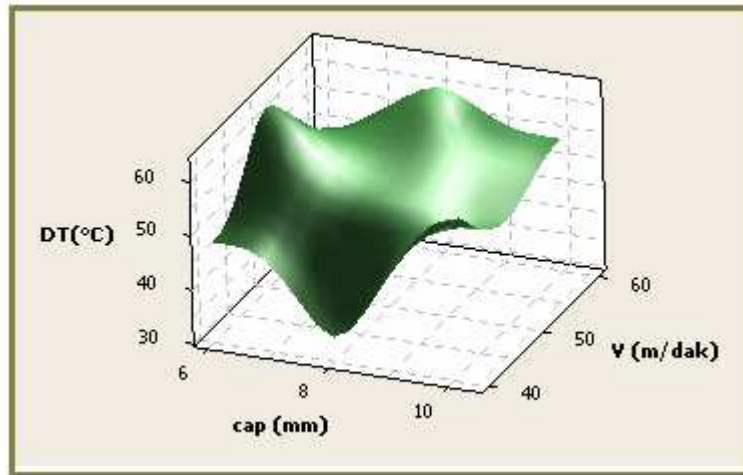
Deneyssel çalışmalarla kesme sıcaklığı veya diğer bir ifade ile, delme sıcaklığının ölçülmesi ve kontrolü imalatla önemli bir husustur. Talaş kaldırma prosesinde, kesici takım ve iş parçasının birbiri ile teması söz konusu olduğundan dolayı ısı oluşumu pek tabidir. Ancak, bu oluşumun belli sınırlar dahilinde kalarak, iş parçasına yapısal anlamda zarar vermemesi istenmektedir. Temas bölgesindeki sıcaklıktaki artış, haliyle alüminyum iş parçasının yumuşayıp kendisini bir nebze de olsa salmasına sebebiyet vermekte, bu durum hem talaş kaldırma prosesini hem de malzemeyi işlenen yüzeyini olumsuz anlamda etkilemektedir. Bu çalışmada, amaçlanan kesme parametreleri ve matkap çapı olan kontrol faktörlerinin alüminyum 2024 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 30 mm olarak sabit tutulmuştur. Delme prosesinde, herhangi bir soğutucu kullanılmayarak kuru delme işlemi uygulanmıştır. Şekil III.10'da kesme parametrelerinin delme sıcaklığının oluşumuna etkisi görülmektedir. Şekilden görüldüğü gibi, kesme hızındaki değişimin delme sıcaklığındaki değişime

etkisi çok az iken, ilerleme oranının etkisi hayli fazla olmuştur. 0.25 mm/dev de en düşük delme derinliği elde edilmiştir.



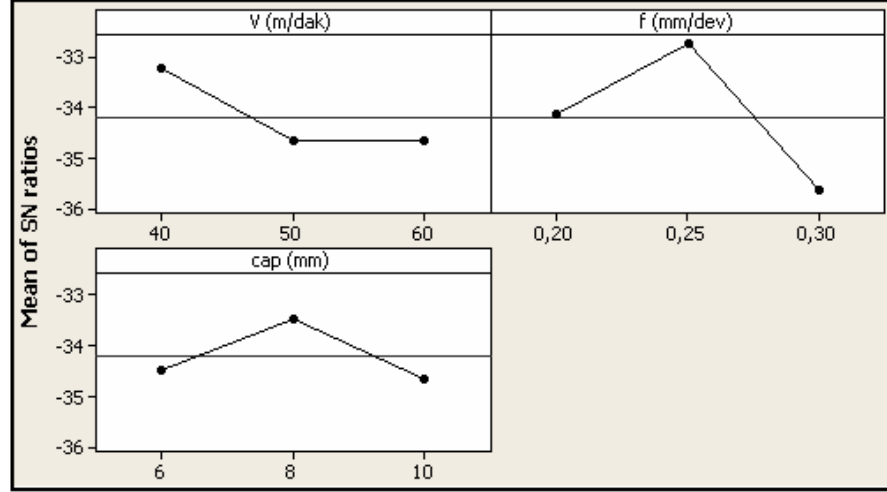
Şekil III.10. Kesme Parametrelerinin Delme Sıcaklığına Etkisi

Şekil III.11’de kesme hızı ve DLC kaplamalı matkabin çapındaki değişimin, delme sıcaklığına etkisi görülmektedir. Şekil III.11’de görüldüğü gibi, matkap çapındaki değişim delme sıcaklığını hayli fazla etkilemektedir. Delme sıcaklığının en az olduğu matkap çapı 8 mm’lik matkaptır.



Şekil III.11. Kesme Hızı ve Matkap Çapının Delme Sıcaklığına Etkisi

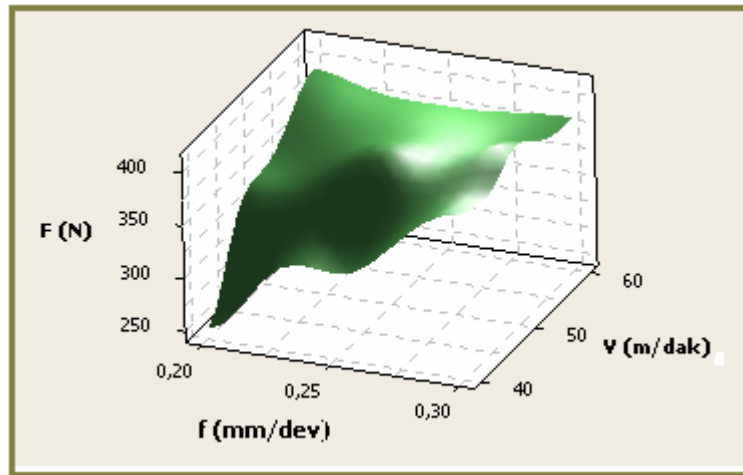
Şekil III.12’de kontrol faktörlerinin sinyal gürültü oranları görülmektedir. En küçük en iyidir yaklaşımı ile yapılan optimizasyona göre minimal delme sıcaklığının olduğu seviyeler, kesme hızında 40 m/dak , ilerleme oranında 0.25 mm/dev olurken matkap çapında ise 8 mm olmuştur.



Şekil III.12. Delme Sıcaklığı İçin Kontrol Faktörlerinin S/N Oranları

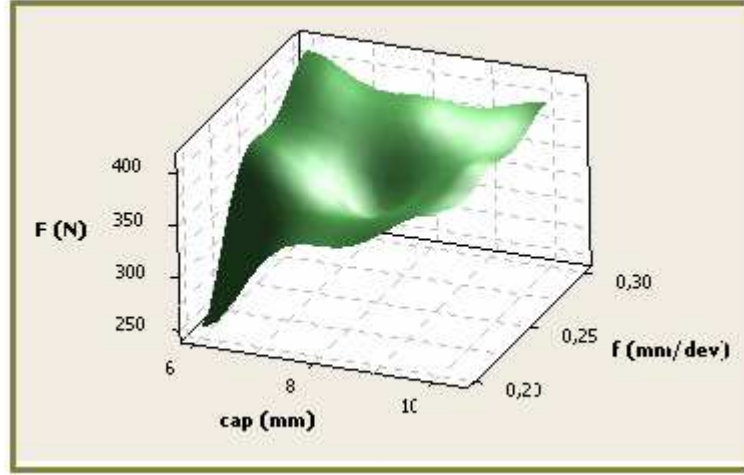
III.3.2.2. İtme Kuvveti (F) Sonuçları ve Optimizasyonu

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, kesme hızı ve matkap çapındaki değişimin itme kuvvetindeki değişime etkisi şekil III.13 ve şekil III.14’de görülmektedir.



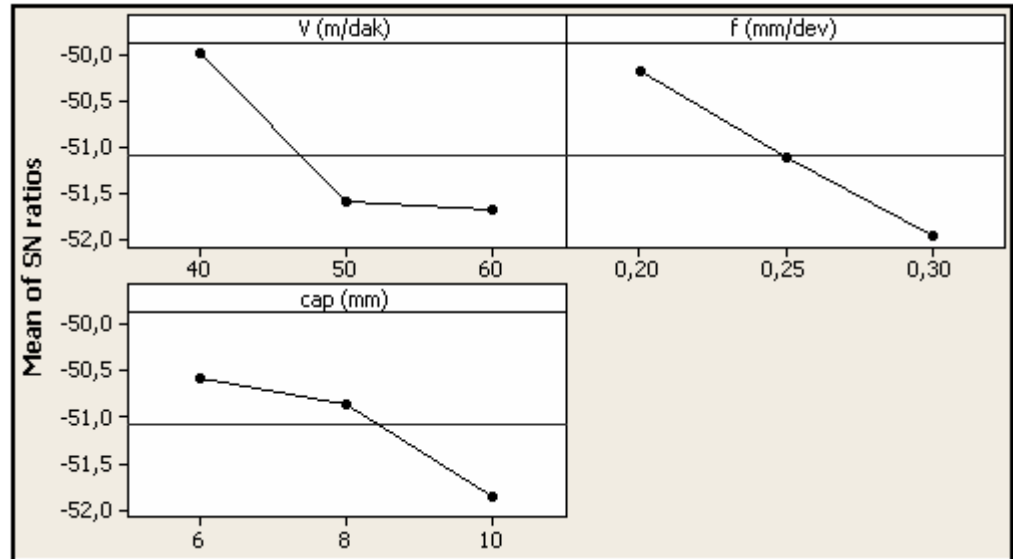
Şekil III.13. Kesme Parametrelerinin İtme Kuvvetine Etkisi

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. Diğer taraftan kesici takımın çapındaki değişim ile oluşan itme kuvveti doğrudan ilişkilidir. Çapın artışı ile itme kuvvetinin de arttığı Şekil III.14’de görülmektedir.



Şekil III.14. İlerleme Oranı ve Matkap Çapının Değişiminin İtme Kuvvetine Etkisi

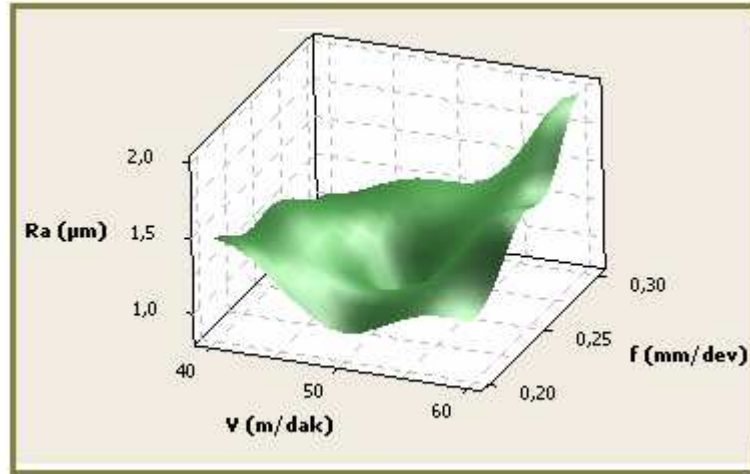
Şekil III.15’de kontrol faktörlerinin S/N oranları görülmektedir. En küçük en iyidir yaklaşımıyla yapılan optimizasyona göre, maksimum itme kuvvetinin en küçük olduğu seviyeler, kesme hızında 40 m/dak , ilerleme oranında 0.20 mm/dev olurken matkap çapında ise 6 mm olmuştur.



Şekil III.15. Maksimum İtme Kuvveti İçin Kontrol Faktörlerinin S/N Oranları

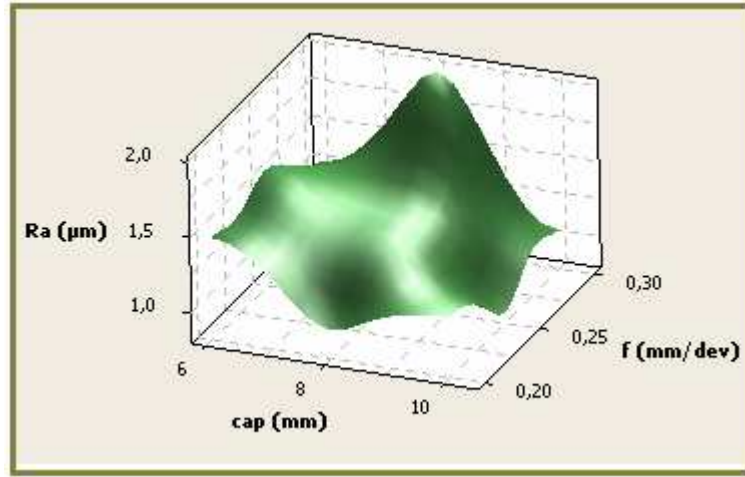
III.3.2.3. Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü (Ra) Sonuçları ve Optimizasyonu

Talaşlı imalatta, üretilen parçanın kalitesinin değerlendirilmesinde en önemli kısıtlardan biride parça yüzeyde oluşan pürüzlülük değeridir. Delinen deliklerin yüzeylerindeki pürüzlülük, sadece kalite açısından değil aynı zamanda, delinen parçanın mukavemeti ve dayanımı açısından önemlidir. Parçanın kullanımı esnasında delik yüzeyinde pürüzlülük, parçanın çalışma koşullarına göre parçanın yorulması ve bunun sonucunda işlevini yerine getirememesine neden olabilmektedir. Mikro metre seviyesindeki bu hatalar zamanla çentiğe dönüşebilmekte ve malzemesinin yorulmasına sebep olmaktadır. Tüm bunlar dikkate alındığında, bilhassa da al 2024 alaşım malzemesi gibi uçak ve otomotiv endüstrisinde kullanılan parçalar üzerinde açılacak deliklerin pürüzlülük değerinin minimal seviyelere indirgenebilmesi önemlidir. Yüzey pürüzlülüğünün oluşumunda etkili olan faktörlerden en önemlileri kesme parametreleridir. Şekil III.16'da ilerleme oranı ve kesme hızının ortalama yüzey pürüzlülüğü oluşumuna etkisi görülmektedir. Yapılan deneysel çalışma neticesinde elde edilen sonuçların görüldüğü şekil III.16'ya göre; ilerleme oranındaki artış ile delik yüzeyindeki ortalama pürüzlülük değeri artma eğilimi göstermiştir. Oysaki, kesme hızının artışı ile ortalama pürüzlülük değeri önce azalma eğiliminde iken, sonrasında artış göstermiştir.



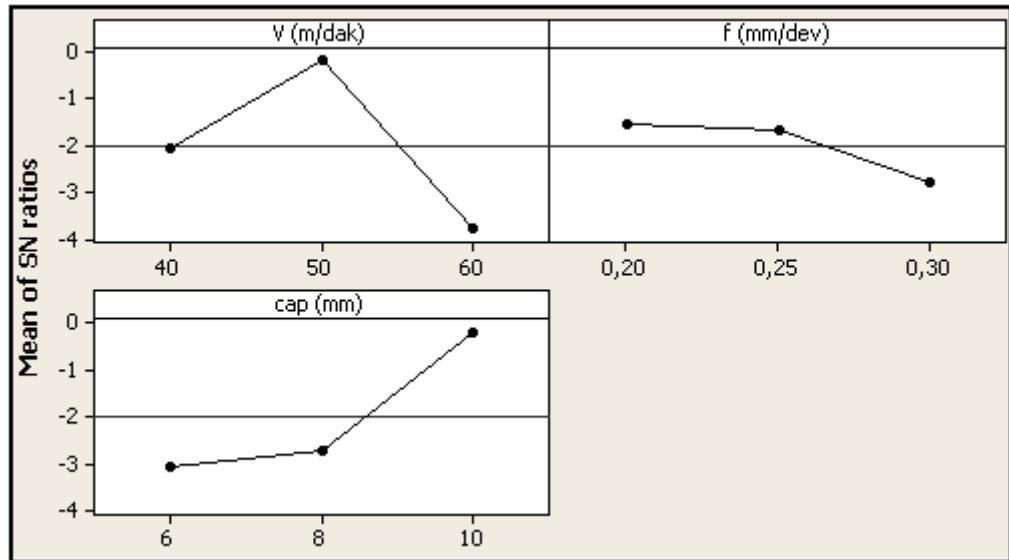
Şekil III.16. Kesme Hızı ve İlerleme Oranının Ortalama Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi

Şekil III.17'de ise, yüzey pürüzlülüğünün oluşumunda matkap çapının etkisi görülmektedir. Genel olarak, düşük ilerleme oranı değerlerinde matkap çapındaki değişimin pürüzlülüğe etkisi daha az olurken, yüksek ilerleme oranlarında matkap çapındaki değişimin, ortalama yüzey pürüzlülüğüne etkisi artmıştır.



Şekil III.17. Matkap Çapının ve İlerleme Oranının
Ortalama Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi

Şekil III.18’de ortalama yüzey pürüzlülüğü için kontrol faktörlerinin S/N oranları görülmektedir. En küçük en iyidir yaklaşımıyla yapılan optimizasyona göre minimal ortalama yüzey pürüzlülüğünün olduğu seviyeler, kesme hızında 50 m/dak ,ilerleme oranında 0.20 mm/dev olurken matkap çapında ise 10 mm olmuştur.



Şekil III.18. Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü İçin Kontrol Faktörlerinin S/N Oranları

III.3.2.4. Optimal Seviyelerin Tahmini

Yapılan deneysel çalışmadan elde edilen dataların kullanımı ile oluşturulan S/N oranlarına göre, minimal delme sıcaklığı, minimal itme kuvveti ve minimal ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri için Minitab yazılımı kullanılarak tahmini kesme parametreleri ve matkap çapları belirlenmiştir.

Minitab yazılımı minimal delme sıcaklığı için A_1, B_2 ve C_2 şeklinde tahminde bulunmuştur. Taguchi optimizasyon metoduna göre yukarıda verilen kontrol faktörlerinin seviyesi ile yapılan delme prosesinde ulaşılması gereken minimal delme sıcaklığı 35,5 °C ve S/N oranı ise -31,0558 dB dir.

İtme kuvveti için minimal değerlere ulaşılacak seviyeler ise; A_1, B_1 ve C_1 şeklinde tahmin edilmiştir. Bu seviyelere göre elde edilebilecek minimal itme kuvveti 278 N olurken, bu değer Sinyal gürültü oranı ise -49,7817 dB dir.

Son olarak yapılan tahminlerde, ortalama yüzey pürüzlülüğünün minimal değerleri için tahmin edilen kontrol faktörleri seviyeleri; A_2, B_1 ve C_3 şeklinde olmuştur. Taguchi optimizasyon yöntemine göre, bu seviyelere göre elde edilebilecek minimal ortalama yüzey pürüzlülük değeri (R_a) 0,68 μm ve S/N oranı ise 2,05948 dB olarak tahmin edilmiştir.

III.3.2.5. Doğrulama Deneyleri

Taguchi metoduna göre, optimal sonuçları verecek parametrelerin tahmininden sonra, optimizasyonda son aşama olarak doğrulama deneyleri yapılmakta ve yapılan optimizasyonun doğruluğu test edilmektedir. Ancak, tahmin edilen seviyeler; optimizasyon öncesi yapılan deneysel çalışmaların arasından biri olduğu takdirde doğrulama deneylerine gereksinim olmaksızın, optimizasyonun performansı test edilebilmektedir. Bu çalışmada, delme sıcaklığı ve itme kuvveti için tahmin edilen optimal seviyeler, yapılan dokuz deney içerisinde mevcuttur. Sonuçların kıyaslaması Tablo III.11’de sunulmuştur.

Tablo III.11. Delme sıcaklığı (DT) İçin Optimal Seviyeler

	Tahmin Edilen	Doğrulama Deneyi
Seviye	A ₁ B ₂ C ₂	A ₁ B ₂ C ₂
Delme Sıcaklığı (°C)	34	35,5

Tablo III.12. İtme Kuvveti (F) İçin Optimal Seviyeler

	Tahmin Edilen	Doğrulama Deneyi
Seviye	A ₁ B ₁ C ₁	A ₁ B ₁ C ₁
İtme Kuvveti (N)	249	278

Deneyisel çalışmalardan elde edilen delme sıcaklığı sonuçları ile tahmin edilen delme sıcaklığı arasındaki fark göz ardı edilebilecek seviyededir. Bu durumda, Taguchi optimizasyonun delme sıcaklığının tahmininde başarı ile uygulanabildiğini göstermektedir. Taguchi optimizasyon ile delme sıcaklığının ciddi anlamda azaltılabildiği yapılan çalışma ile ispatlanmıştır. Diğer taraftan, itme kuvvetinin tahmini için yapılan tahmin sonuçları ile doğrulama deneyleri sonuçları arasındaki farkın da genel sonuçlar dikkate alındığında ciddi başarı sayılabilir (Şekil III.12). Her iki sonuçta, mevcut deneyler haricinde herhangi bir deneye gerek olmaksızın Taguchi optimizasyonun başarı ile uygulanabildiği görülmüştür.

Tablo III.13. Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü (Ra) İçin Optimal Seviyeler

	Tahmin Edilen	Doğrulama Deneyi
Seviye	A ₂ B ₁ C ₃	A ₂ B ₁ C ₃
Ortalama yüzey pürüzlülüğü (µm)	0,68	0,73

Tablo III.13’de Taguchi optimizasyon metodu ile yapılan tahminde ortalama yüzey pürüzlülüğü 0,68 µm olarak tahmin edilmiştir. Doğrulama amaçlı yapılan ilave deneysel çalışmada elde edilen sonuç ise 0,73 µm dur. Delme sıcaklığı ve itme kuvveti sonuçlarında olduğu gibi, Taguchi metodu ile optimizasyonun ortalama yüzey pürüzlülüğünün optimizasyonunda da başarılı bir şekilde uygulanabildiği ve delme prosesinin performansını ve işlenen iş parçasının kalitesini ciddi anlamda iyileştirdiği görülmektedir.

BÖLÜM IV. SONUÇLAR, TARTIŞMA VE DEĞERLENDİRME

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 işparçası olarak Al 2024-T4 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 çelik ve türevlerine nazaran 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 2024 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 matkap çapındaki değişimin de delme sıcaklığını etkilediği görülmüştür. Kesme hızındaki değişimin delme sıcaklığının değişimine etkisi göz ardı edilebilecek seviyede olmuştur.

- Delik delmede önemli bir araştırma konusu olan, itme kuvvetinin oluşumunda da dominant etkiye sahip faktörler matkap çapı ve ilerleme oranı olmuştur. Matkap çapının ve ilerleme oranının artması ile itme kuvvetinin arttığı yapılan çalışmadan elde edilen diğer önemli bir sonuçtur.
- Deliğin yüzey pürüzlülüğünün seviyesinde etkili olan faktörler ise, ilerleme oranı ve matkap çapı etkili faktörler olmuştur. Özellikle, yüksek kesme hızlarında ilerleme oranındaki değişim ortalama yüzey pürüzlülüğündeki değişimi hayli etkilemiştir. İlaveten, yüksek ilerleme oranlarında da matkap çapındaki değişim ortalama yüzey pürüzlülüğünü ciddi anlamda etkilemiştir. Yüzey pürüzlülüğü için optimal şartlar Taguchi ile belirlenmiştir.
- 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.

Geleneksel imalat yöntemlerinden ve en yaygın kullanılanlardan biri olan matkap ile delik delme yöntemi için uzun yıllar değişik özelliklerde soğutucu sıvılar kullanılarak, işleme esnasında oluşan sıcaklığı minimize etmek ve işleme performansını arttırmak amaçlanmıştır. Lakin bu soğutucular; çevresel faktörler ve maliyeti dikkate alındığında tercih edilebilirliğini yitirmiş ve imalatçılara alternatifler üzerinde araştırma yapmak zorunda bırakmıştır. Herhangi bir soğutucu kullanmaksızın, DLC kaplamalı matkaplarla beklentileri karşılayan performansta delik delinebilmektedir. Yapılan bu çalışmadan da görüldüğü üzere, geleneksel kesici takımları kullanarak soğutucu sıvı kullanmak yerine, DLC kaplamalı matkapları kullanmak birçok yönden daha avantajlı olabilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Kaynak, Y.:“ Matkap ile delik delme esnasında kesme parametrelerinin kesme kuvveti ve sıcaklığın değişimine etkisinin deneysel olarak incelenmesi”, Marmara Uni. Fen Bilimleri Enst. Makine Eğitimi Yüksek Lisans Tezi, İstanbul (2006)
- [2] F.Oktay.: “PVD yöntemi ile TiN kaplı östemperlenmiş küresel grafitli dökme demirlerin adhesiv aşınma davranışlarının incelenmesi”, Gazi Üni. Fen.Bilimleri Enst. (2006)
- [3] T.C.S. Vandevelde , K. Vandierendonck , M. Van Stappen , W. Du Mong , P. Perremans “Cutting applications of DLC, hard carbon and diamond films” Surface and Coatings Technology 113 (1999) 80–85.
- [4] V.J. Trava-Airoldi , L.F. Bonetti , G. Capote , L.V. Santos , E.J. Corat : “A comparison of DLC film properties obtained by r.f. PACVD, IBAD, and enhanced pulsed-DC PACVD” Surface & Coatings Technology 202 (2007) 549–554
- [5] C Donnet, ; A Grill . : “Friction control of diamond-like carbon coatings” Surf. coat. Technol 94-95 (1997) 456-462
- [6] H.Y. Uenga, C.T. Guob, K.-H. Dittrich .: “Development of a hybrid coating process for deposition of diamond-like carbon films on microdrills” Surface & Coatings Technology (2006) 2900– 2908
- [7] Kagıya, Y.; Tsuda, K.; Fukui, H.; Iyori, H.; Yamagata, K.: “Development of DLC Coating Film (AURORACOAT) and its Application to Tools” Sei Technical Review , 55 (2003) 89.
- [8] Chen,W.C.; C.C,Tsao.: “Cutting performance of different coated twist drills” Journal of Materials Processing Technology 88 (1999)203-207.
- [9] Bono,M.; Ni,J.: “The location of the maximum temperature on the cutting edges of a drill”, International Journal of Machine Tools&Manufacture (2003) 1-7.

- [10] Haan,D.M.;Batzer,S.A.;Olson,W.W.;Sutherland,J.W.: “An experimental study of cutting fluid effects in drilling”, *Journal of Materials Processing Technology* 71 (1997)305-313.
- [11] 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) 421-431.
- [12] Choudhury,S.K.;Raju,G.: “Investigation into crater wear in drilling”, *International Journal of machine Tools&manufacture* 40 (2000) 887-898.
- [13] 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.
- [14] Agapiou,J.S.;Stephenson,D.A.: “Analytical and experimental studies of drill temperatures”, *Journal of Engineering for Industry* 116 (1994) 54–60.
- [15] 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.
- [16] Agapiou,J.S.;Stephenson,D.A.: “Analytical and experimental studies of drill temperatures”, *Journal of Engineering for Industry* 116 (1994) 54–60.
- [17] 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.
- [18] Dörr,J.; Mertens,T.H.; Engering,G.; Lahres,M.: “In-Situ’temperature measurement to determine the machining potential of different tool coating”, *Surface and Coatings Technology* 174-175 (2003) 389-392.
- [19] Bağcı,E.;Özçelik,B.: “Investigation of the effect of drilling conditions on the twist drill temperature during step-by-step and continuous dry drilling”, *Materials and Design* 27 (2006) 446-454.
- [20] Kurt, M.; Kaynak, Y.; Bagci, E.: “Evaluation of drilled hole quality in Al 2024 alloy” *International journal of Advance Manufacturing Technology* 37-11 (2008) 1051-1060.
- [21] 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.
- [22] Kalidas,S.; DeVor,R.E.; Kapoor,S.G.: “Experimental investigation of the effect of drill coatings on hole quality under dry and wet drilling conditions” Surface and Coatings Technology 148 (2001) 117-128.
 - [23] 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.
 - [24] Nouari,M.;List,G.; Girot,F.; Gehin,D.: “Effect of machining parameters and coating on wear mechanisms in dry drilling of aluminium alloys”, International Journal of Machine Tools&Manufacture 45(2005) 1436-1442.
 - [25] 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.
 - [26] Zeilmann,R.P.; Weingaertner,W.L.: “Analysis of temperature during drilling of Ti6Al4V with minimal quantity of lubricant”, Journal of Materials processing Technology (2006).
 - [27] Kelly,J.F.; Cotterell,M.G.: “Minimal lubrication machining of aluminium alloys”, Journal of Materials processing Technology 120(2002) 327-334.
 - [28] Longbottom,J.M.: “Temperature measurement while machining”, faculty of Computing, Engineering and mathematical Sciences, Bristol (2005).
 - [29] 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.
 - [30] Pirtini,M.; Lazoğlu,İ.: “Forces and hole quality in drilling”, International Journal of Machine Tools&Manufacture 45(2005) 1271-1281
 - [31] 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.
 - [32] Fernandes,M; Cook,C.: “Drilling of carbon composites using a one shot drill bit. Part I: Five stage representation of drilling and factors affecting maximum force and torque”, International Journal of Machine Tools&Manufacture 46 (2006) 70-75.

- [33] Kim,K.W.; Ahn,T.K.: “Force prediction and stres analysis of a twist drill from tool geometry and cutting conditions”, International Journal of Precision Engineering and Manufacturing ,Vol.6,No.1,Ocak **2005**.
- [34] 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.
- [35] Onwubolu,G.C.; Kumar,Shivendra.: “Response surface methodology-based approach to CNC drilling operations”, Journal of Materials processing Technology (**2005**).
- [36] 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.
- [37] Chen,W.C.; Liu,X.D.: “Study on the various coated twist drills for stainless steels drilling”, Journal of Materials processing Technology 99 (**2000**) 226-230
- [38] Smith,I.J.; Gillibrand,D.; Brooks,J.S.; Münz,W.D.; Harvey,S.; Goodwin,R.:” Dry cutting performance of HSS twist drills coated with improved TiAlN” Surface and Coatings Technology 90 (**1997**) 164-171.
- [39] Hanyu,H.; Kamiya,S.; Murakami,Y.; Saka,M.: “Dry and semi-dry machining using finely crystallized coating cutting tools”, Surface and Coatings Technology 173-174 (**2003**) 992-995.
- [40] Dasch,J.M.;Ang,C.C.;Wong,C.A.;Cheng,Y.T.; iner,A.M.;Lev,C.L.;Koca,E.: “A comparsion of five categories of carbon-based tool coatings for dry drilling of aluminum”, Surface and Coatings Technology 200 (**2006**) 2970-2977.
- [41] Erdoğan,M.: “Mühendislik alışımların yapı ve özellikleri”, Nobel yayın Dağıtım, Ankara (**2001**).
- [42] 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**).
- [43] Roy, R. K.: “A primer on taguchi method”, Competitive Manufacturing Series, New York, 7-80 (**1990**).
- [44] Danacıoğlu, N. ve Muluk, Z.: “Taguchi teknikleri”, İstatistik Konferansı, Gazi Üniversitesi, Ankara, 261-272 (1999).
- [45] Kurt, M.; Bağci,E.; Kaynak, Y.: “Application of Taguchi metods in the optimization of cutting parameters for surface finish and hole diameter accuracy in dry drilling processes.” *Int J Adv Manuf Technol* , in press (**2007**)
- [46] Şahin, Y.: “Talaş kaldırma prensipleri-1”, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, 335-346 (**2000**).

ÖZGEÇMİŞ

1978 yılında Kütahya’da doğdu. 1998’de Kütahya Endüstri Meslek Lisesi Tesviye Bölümünden mezun oldu. 2001 yılında Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Talaşlı Üretim Öğretmenliği Bölümünü kazandı. 2005 yılında Lisans eğitimini tamamladı. Aynı yıl Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans Eğitimine başladı.

2006 yılından beri özel bir şirkette Metod/Proses Mühendisi olarak görev yapmaktadır.

Levent KUTLU

KİMLİK BİLGİLERİ

Doğum tarihi :28.07.1978

Doğum yeri :Kütahya

EĞİTİM BİLGİLERİ

Lise :1995-1998 Kütahya Endüstri Meslek Lisesi / Tesviye

Lisans :2001–2005 Marmara Üniversitesi Talaşlı Üretim Öğretmenliği

Yüksek Lisans :2005– Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı

Halen Çalıştığı Kurum:

Yabancı Dil : İngilizce

Çalışma Alanı :

E-posta : levent_kutlu@yahoo.co.uk