

**AISI D2 SOĞUK İŞ TAKIM ÇELİĞİNİN FARKLI KESİCİ TAKIM VE
PARAMETRELER KULLANILARAK DELİNEBİLİRLİĞİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Sıtkı AKINCIOĞLU

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

TEMMUZ 2011

ANKARA

Sıtkı AKINCIOĞLU tarafından hazırlanan “AISI D2 SOĞUK İŞ TAKIM ÇELİĞİNİN FARKLI KESİCİ TAKIM VE PARAMETRELER KULLANILARAK DELİNEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI” adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Faruk MENDİ

Tez Danışmanı, Makina Eğitimi Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makina Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Rıza BÖRKLÜ

Makina Eğitimi Anabilim Dalı, G.Ü.

Prof. Dr. Faruk MENDİ

Makina Eğitimi Anabilim Dalı, G.Ü.

Yrd. Doç. Dr. Osman Selim TÜRKBAŞ

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

Tarih: 04/07/2011

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Bilal TOKLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Sıtkı AKINCIOĞLU

**AISI D2 SOĞUK İŞ TAKIM ÇELİĞİNİN FARKLI KESİCİ TAKIM VE
PARAMETRELER KULLANILARAK DELİNEBİLİRLİĞİNİN
ARAŞTIRILMASI
(Yüksek Lisans Tezi)**

Sıtkı AKINCIOĞLU

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Temmuz 2011**

ÖZET

Günümüzde üretim sektöründe yaygın olarak kullanılan malzemelerin işlenebilirliği popüler araştırma konularındandır. Yeni teknolojiler ve üretim proseslerinin gelişmesi ile üretim süreçlerinde daha kısa zamanlarda daha kaliteli ve ucuz üretim yapabilmek mümkün hale gelmiştir. Böylece rekabetin yüksek olduğu bu ortamda rekabet edebilir hale gelebilmek kolaylaşmaktadır. Bu çalışmada, kalıp uygulamalarında yaygın olarak kullanılan AISI D2 Soğuk İş Takım Çeliğinin delinmesinde oluşan kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü, delik daireselliği ve takım aşınma değerleri incelenmiş ve elde edilen bulgular değerlendirilmiştir. CNC delik işleme merkezinde kuru delme şartlarında yapılan delme işlemlerinde 5 mm çapındaki TiN, TiAlN, ve Fire kaplamalı takımlar kullanılmıştır. En iyi performans sırasıyla; en iyi sonuç Fire kaplamalı takım ile elde edilmiş ve bunu ikinci olarak TiN kaplamalı takım, üçüncü olarak da TiAlN kaplamalı takım takip etmiştir. Ayrıca, kullanılan kesici takım türü, kesme hızı ve ilerlemenin delme performansında etkili olduğu gözlemlenmiştir.

Bilim Kodu : 708.1.094
Anahtar Kelimeler : AISI D2, Soğuk iş takım çeliği, kalıp çeliği, 1.2379, delinebilirlik
Sayfa Adedi : 103
Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Faruk MENDİ

**INVESTIGATION OF DRILLABILITY OF HARDENED AISI D2
USING DIFFERENT CUTTING TOOLS AND PARAMETERS**

(M.Sc. Thesis)

SİTKİ AKINCIOĞLU

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

July 2011

ABSTRACT

Today, the machinability of the materials used in the manufacturing sector is popular research works. With the development of new technologies and manufacturing processes in production processes more than a short time has become possible to be able to produce high-quality and inexpensive. Thus, competition is high to compete in this milieu easier to come up. In this study, in mold applications are widely used of AISI D2 Cold Work Tool Steel drilling cutting forces, surface roughness, circularity and tool wear values of the hole are examined and evaluated the findings. Dry drilling conditions, drilling operations in CNC machining center hole diameter of 5 mm TiN, TiAlN, and Fire-coated tools are used. Performance respectively the best tools, the best results were obtained and the Fire coated TiN coated tool in this second, third, it was followed by TiAlN coated tool. In addition, the type of cutting tool used cutting speed and progress in drilling performance was observed to be effective.

Science Code	: 708.1.094
Key Words	: AISI D2, Cold Working Steel, Mold Steel, 1.2379, Drilling
Page Number	: 103
Adviser	: Prof. Dr. Faruk MENDİ

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde her türlü maddi ve manevi destek sağlayan, beni yönlendiren ve bilim adamı olma yolunda kendime bir model olarak esas aldığım kıymetli danışmanım Sayın Prof. Dr. Faruk MENDİ'ye, tecrübelerinden yararlandığım ve tezimin oluşmasında büyük katkısı olan Sayın Doç. Dr. Adem ÇİÇEK' e teşekkürü bir borç bilirim.

Araştırmalarımda ve deneylerimde emeği geçen isimlerini tek tek sayamadığım değerli hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak bugünlere gelmemde maddi-manevi çok büyük emeği olan anne ve babama ve çalışmalarımda bana destek olan eşim Gülşah AKINCIOĞLU'na saygı ve şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xvi
1. GİRİŞ	1
2. DELME İŞLEMİ	3
2.1. Delik Delme İşlemlerinin Endüstrideki Yeri	6
2.2. Delik Delme İşlemi	9
2.3. Temel Tanımlar	11
2.4. Talaş Oluşumu	13
2.5. Delme İşlemlerinde Kesme Kuvvetleri ve Güç	17
2.6. Delme İşlemlerinde Kullanılan Kaplamalı Takımlar	21
2.7. Delme İşlemlerinde Dairesellik ve Dairesellik Sapma Değerleri	23
2.8. Delme İşlemlerinde Takım Aşınması	24
2.8. 1. Serbest yüzeydeki aşınma	26

Sayfa

2.8. 2. Krater aşınması.....	27
2.8. 3. Adhezyon aşınması	27
2.8.4. Abrasyon aşınması	28
2.8.5. Matkap aşınması.....	28
2.9. Delme İşlemlerinde Yüzey Pürüzlülüğü	29
2.9.1. Yüzey pürüzlülüğünün ölçümü ve gösterimi	31
2.9.2. Ortalama yüzey pürüzlülüğü, Ra.....	31
2.9.3. Prof kare ortalamalarının karekökü, Rq	32
2.9.4. Profildeki iki noktanın yüksekliği, Ry	32
2.9.5. Profilin maksimum yüksekliği, Rz, Rp	33
2.9.6. Profilin toplam yüksekliği, Rmax	33
2.9.7. Profil eleman genişlikleri ortalaması, Rsm	33
3. ÇELİKLER	35
3.1. Takım Çelikleri Hakkında Genel Bilgi	36
3.1.1. Soğuk iş takım çelikleri.....	36
3.1.2. Sıcak iş takım çelikleri	38
3.1.3. Yüksek hız çelikleri (HSS- Yüksek Hız Çeliği).....	38
4. LİTERATÜR TARAMASI.....	40
4.1. Soğuk İş Takım Çeliği İle Yapılan İşlenebilirlik Çalışmaları	40
4.2. Delinebilirlik İle İlgili Çalışmalar	44

Sayfa

4.3. Kaplamalı WC Takımlarla İle İlgili Çalışmalar.....	48
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	51
5.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler	51
5.2. Deney Numuneleri.....	52
5.3. Deneyde Kullanılan Takım Tezgâhı	53
5.4. Deneylerde Kullanılan Kesme Parametreleri ve Kesici Takımlar	54
5.5. Kesme Kuvvetleri Ölçümü	55
5.6. Delik Çapının ve Delik Sapma Değeri Ölçümü.....	57
5.7. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü	58
6. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA	60
6.1. Kesme Kuvvetlerinin Değerlendirilmesi.....	60
6.1.1. TiN kaplamalı takım kesme kuvvetlerinin değerlendirilmesi	60
6.1.2. TiAlN kaplamalı takım kesme kuvvetlerinin değerlendirilmesi	62
6.1.3. Fire kaplamalı takım kesme kuvvetlerinin değerlendirilmesi	63
6.1.4. TiN, TiAlN, Fire kaplamalı takımların 0,063 mm/dev ilerlemede kesme kuvvetlerinin değerlendirilmesi	65
6.1.5. TiN, TiAlN, Fire kaplamalı takımların 0,08 mm/dev ilerlemede kesme kuvvetlerinin değerlendirilmesi	67
6.1.6. Kesme kuvvetlerinin genel değerlendirilmesi	69
6.2. Deliklerin Daireselliğinin Değerlendirilmesi	72

Sayfa

6.2.1. TiN, TiAlN, Fire kaplamalı takımların 0,063 mm/dev ilerlemede daireselliğinin değerlendirilmesi	72
6.2.2. TiN, TiAlN, Fire kaplamalı takımların 0,08 mm/dev ilerlemede daireselliğinin değerlendirilmesi	74
6.2.6. Daireselliğin genel değerlendirmesi	76
6.3. Dairesellik Sapma Değerlerinin Değerlendirilmesi	77
6.3.1. TiN, TiAlN, Fire kaplamalı takımların 0,063 mm/dev ilerlemede sapma değerlerinin değerlendirilmesi	77
6.3.2. TiN, TiAlN, Fire kaplamalı takımların 0,08 mm/dev ilerlemede sapma değerlerinin değerlendirilmesi	79
6.3.3. Dairesellik sapma değerlerinin genel değerlendirmesi	80
6.4. Delik Yüzeylerinde Yüzey Pürüzlülüğünün Değerlendirilmesi	82
6.4.1. TiN, TiAlN, Fire kaplamalı takımların 0,63 mm/dev ilerlemede yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi	82
6.4.2. TiN, TiAlN, Fire kaplamalı takımların 0,08 mm/dev ilerlemede yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi	84
6.4.3. Pürüzlülüğe kesme hızı ve ilerlemenin etkisi	85
6.4.4. Pürüzlülüğün genel değerlendirilmesi	86
6.5. Takım Aşınmasının Değerlendirilmesi	86
6.5.1. TiN kaplamalı takımda aşınma	87
6.5.2. TiAlN kaplamalı takımda aşınma	88
6.5.2. Fire kaplamalı takımda aşınma	89
6.5.3. Takım aşınmasının genel değerlendirilmesi	90

Sayfa

7. SONUÇ VE ÖNERİLER	91
7.1. Sonuçlar	91
7.2. Öneriler	93
KAYNAKLAR	95
ÖZGEÇMİŞ	102

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Soğuk iş takım çeliklerinin standart gösterimleri.....	37
Çizelge 5.1. AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin kimyasal bileşimi.....	51
Çizelge 5.2. Johnford VMC–550 CNC teknik özellikler	53
Çizelge 5.3. Matkap özellikleri.....	55
Çizelge 5.4. Kistler 9257B dinamometrenin teknik özellikleri	56
Çizelge 5.5. Mitutoyo CMM tezgahının teknik özellikleri	58

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Delik delme işleminde kullanılan matkap ile ilgili kavramlar	4
Şekil 2.2. Delik Delme İşlemleri.....	5
Şekil 2.3. İşlem sayısına göre delme işleminin diğer talaş kaldırma işlemleriyle karşılaştırılması	7
Şekil 2.4. Talaş kaldırma süresine göre delme işleminin diğer talaş kaldırma işlemleriyle karşılaştırılması	7
Şekil 2.5. Takımın dönmesi (v), ilerlemesi (u)	8
Şekil 2.6. Çap uzunluk ilişkisi	10
Şekil 2.7. Delme işlemleri (a) tek operasyonda delme işlemi, (b) ön delik delme işleminden sonra yapılan delme işlemi	10
Şekil 2.8. Kesme hızı-ilerleme hızı ve kesici takım açıları.....	12
Şekil 2.9. Delme işlemlerinde temel tanımlar a) talaş kesit alanı, b) kesici kenar başına ilerleme	13
Şekil 2.10. Matkabın çevresinde aşırı kesme hızı	14
Şekil 2.11. Talaş oluşumuna etki eden faktörler	15
Şekil 2.12. Kesici kenarın talaş kaldırması	16
Şekil 2.13. Çapa bağlı basınç ve debi ilişkisi. a) basınç çap ilişkisi, b) debi çap ilişkisi.....	16
Şekil 2.14. Frezeleme veya delik delme işlemleri için dinamometre	18
Şekil 2.15. Matkapla delmede kesme kuvvetleri	19
Şekil 2.16. a) Tek katlı kaplama, b) Çok katlı kaplama.....	22

Şekil	Sayfa
Şekil 2.17. Dairesel sapmanın değerlendirilmesi.....	23
Şekil 2.18. Helisel matkaplarda oluşan aşınma mekanizması.....	29
Şekil 2.19. Serbest yüzeyde oluşan aşınmanın gösterimi	29
Şekil 2.20. Yüzey kalitesini tayin eden faktörler	30
Şekil 2.21. Ortalama yüzey pürüzlülüğü, Ra	32
Şekil 2.22. Profilin karelerinin ortalamasının karekökü, Rq.....	32
Şekil 2.23. Profildeki iki noktanın yüksekliği, Ry	33
Şekil 2.24. Profilin tepe ve maksimum yükseklikleri	33
Şekil 2.25. Profil elemanlarını genişliğinin ortalaması, Rsm.....	34
Şekil 5.1. AISI D2 deney malzemesinin boyutları.....	53
Şekil 5.2. Deneylerde kullanılan matkabın boyutları.....	55
Şekil 6.1. TiN kaplamalı matkap ile kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak kesme kuvvetlerindeki değişim.....	62
Şekil 6.2. TiAlN kaplamalı matkap ile kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak kesme kuvvetlerindeki değişim.....	63
Şekil 6.3. Fire kaplamalı matkap ile kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak kesme kuvvetlerindeki değişim.....	65
Şekil 6.4. TiN, TiAlN, Fire Kaplamalı Takım ile kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak kesme kuvvetlerindeki değişim	66
Şekil 6.5. TiN, TiAlN, Fire Kaplamalı Takım ile kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak kesme kuvvetlerindeki değişim	68
Şekil 6.6. TiN, TiAlN, Fire Kaplamalı Takım ile kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak kesme kuvvetlerindeki değişim a) V=50 m/dk, b) V=55 m/dk, c) V=60 m/dk, d) V=65 m/dk.....	69

Şekil	Sayfa
Şekil 6.7. TiN, TiAlN ve Fire kaplamalı matkap ile kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak dairesellikteki değişim.....	74
Şekil 6.8. TiN, TiAlN ve Fire kaplamalı matkap ile kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak dairesellikteki değişim.....	75
Şekil 6.9. TiN, TiAlN, Fire Kaplamalı Takım ile kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak dairesellik değerlerindeki değişim a) V=50 m/dk, b) V=55 m/dk, c) V=60 m/dk, d) V=65 m/dk	77
Şekil 6.10. TiN, TiAlN ve Fire kaplamalı matkap ile kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak ortalama dairesellikten sapma değerleri	79
Şekil 6.11. TiN, TiAlN ve Fire kaplamalı matkap ile kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak ortalama dairesellikten sapma değerleri	80
Şekil 6.12. TiN, TiAlN ve Fire kaplamalı matkap ile kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak ortalama dairesellikten sapma değerleri	82
Şekil 6.13. TiN, TiAlN ve Fire kaplamalı matkap ile kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak ortalama dairesellikten sapma değerleri	84
Şekil 6.14. TiN, TiAlN ve Fire kaplamalı matkap ile kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak ortalama dairesellikten sapma değerleri	85

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
a	Kesme derinliği
a'	Çıkan talaş kalınlığı
A_0	Talaş kesit alanı
χ	Kesme kenarı açısı
$\cos \alpha, \beta, \gamma$	Açıların kosinüs ilişkileri (doğrultman kosinüsleri)
E	Elastiklik veya Young modülü
ε_x	x eksenini doğrultusundaki normal gerinme
ε_y	y eksenini doğrultusundaki normal gerinme
ε_z	z eksenini doğrultusundaki normal gerinme
ϕ	Kayma düzlemi açısı
f	İlerleme değeri
F_C	Esas kesme kuvveti
F_f	İlerleme kuvveti
F_p	Pasif (radyal) kuvvet
F_s	Kayma düzlemi boyunca etki eden kuvvet
γ	Talaş açısı
γ_{xz}	xz düzlemindeki kayma gerinmesi
γ_{yz}	yz düzlemindeki kayma gerinmesi
λ	Yığılma faktörü
l, m, n	Açıların kosinüs ilişkileri (doğrultman kosinüsleri)
l_c	Talaş-takım temas boyu
ν	Poisson oranı

Simgeler	Açıklama
$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$	Asal gerilmeler
$SEQV$	von Mises gerilmesi
$\sigma M\zeta$	von Mises teorisine göre gerilme
σ_x^x	x eksenini doğrultusundaki normal gerilme
S_X	x eksenini doğrultusundaki normal gerilme
S_{XY}	xy düzlemindeki kayma gerilmesi
S_{XZ}	xz düzlemindeki kayma gerilmesi
σ_y^y	y eksenini doğrultusundaki normal gerilme
S_Y	y eksenini doğrultusundaki normal gerilme
S_{YZ}	yz düzlemindeki kayma gerilmesi
σ_z^z	z eksenini doğrultusundaki normal gerilme
S_Z	z eksenini doğrultusundaki normal gerilme
τ_{xy}	xy düzlemindeki kayma gerilmesi
τ_{xz}	xz düzlemindeki kayma gerilmesi
τ_{yz}	yz düzlemindeki kayma gerilmesi
V, V_c	Kesme hızı
$\zeta_1, \zeta_2, \zeta_3, \zeta_4$	Parametrik koordinatlar
[B]	Gerilme–yer değiştirme matrisi
[J]	Jacobian matrisi
$[k^{(e)}]$	Eleman rijitlik matrisi
[N]	Şekil fonksiyonları matrisi
{q}	Düğümlere ait yer değiştirme vektörü
{σ}	Gerilme vektörü
{u}	Genel yer değiştirme vektörü
FEM	Sonlu elemanlar metodu - Finite Element Method
BUE	Kesici kenar üzerinde talaş yığılması - Built-up edge
3B	Üç boyutlu
2B	İki boyutlu

Simgeler	Açıklama
AISI	Amerikan Demir Çelik Enst. (Amerikan çelik standardı)
ISO	International Organisation for Standardization– Uluslararası Standardizasyon Teşkilatı
CNC	Computer Numerical Control– Bilgisayarlı Sayısal Denetim
TiN	Titanyum Nitrür
TiAlN	Titanyum Alüminyum Nitrür
F_{sz}	Kesme Kuvveti
F_{vz}	İlerleme Kuvveti
F_{rz}	Radyal Kuvveti
FMS	Esnek Üretim Sistemleri (Flexible Production)
SEM	Elektro Mikroskop
CMM	Koordinat Ölçme Cihazı
V_f	Nüfuziyet Hızı
n	Mil Hızı
EKK	En küçük kareler metodu
MİTD	Maksimum iç teğet dairesi metodu
MDTD	Minimum dış teğet dairesi metodu
MRAD	Minimum radyal ayırım dairesi metodu
ap	Radyal Talaş Derinliği
P₁	Dairenin Radyal Ayırımı
Rq	Profilin karelerinin ortalamasının karekökü
Ry	Profildeki iki noktanın yüksekliği
Ra	Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü
µm	Mikron
ln	Ölçüm Uzunluğu
Rz, Rp	Profilin maksimum yüksekliği
Rmax	Profilin toplam yüksekliği
Rsm	Profil elemanlarını genişliğinin ortalaması

Simgeler	Açıklama
HR	Isıl Dirençli Alaşımlar
ML	Minimum Miktarla Yağlama
AP	Yay İyon Kaplama
CrN	Krom nitrit
fcc	Yüzey merkezli kübik kafes
FMS	Flexible Manufacturing System (Esnek üretim sistemi)
HRc	Malzemenin Rockwell sertlik değeri, N/mm ³
HSS	High Speed Steel (Yüksek hız çeliği)
MRS	Minimum Radyal Sapma
NC	Nümerical Control (Sayısal kontrol)
ORS	Orta Doğu Rulman Sanayi
PM	Powder Metallurgy (Toz metalürjisi)
PVD	Physical Vapour Deposition (Fiziksel buhar çökeltme)
SEM	Scanning Electron Microscope (Tarama elektron mikroskobu)
TIR	Toplam İbre Okuma
TiC	Titanyum karbür
TiCN	Titanyum karbon nitrit
V_{BB}	Yanak aşınma alanı
EDM	Elektrik Boşaltım İşlemi

1. GİRİŞ

Günlük hayatta kullanılan pek çok parça, farklı imal usullerinden biri kullanılarak imal edilir. Takım tezgâhlarında, talaş kaldırmak suretiyle parçaların şekillendirilmesindeki temel esas; iş parçasının nihai şeklinin ilgili malzemenin işlenmesi ile elde edilir. Geleneksel yöntemlerle talaş kaldırma işlemlerinde, değişik takım tezgâhlarında gerçekleştirilecek işlemler için (tornalama, frezeleme, delme, taşlama vb.) bir kesici takım kullanılır. Ham parçadaki fazlalıklar, takım tezgâhına bağlanmış bu takım ile “talaş kaldırarak” alınır. Malzemeden talaş kaldırılması, takım kesici ucunun/kenarının iş parçası yüzeyine temas etmesi ve bu etki bölgesinde, talaş kaldırma enerjisi talaş kaldırıldığı tezgâhtan iş parçasına iletilmesi ile sağlanır [1]. Bu sebeple “takım tezgâhı–kesici takım–iş parçası malzemesi” üçgeni arasındaki ilişki çok iyi kurulmalı ve “kesme parametreleri” dediğimiz bu ilişkiyi şekillendiren değişkenler iyi değerlendirilmelidir [1-4].

Üretimin hedefi, işlemlerin teknik ve ekonomik yönden en az yük/maliyet, operatör açısından ise en yüksek emniyetle yerine getirilmesidir. Genel olarak, üretilen iş parçası için istenen işlevsel toleransların optimal işleme şartlarıyla gerçekleştirilmesi gerekir. Bu işlevsel toleransların gerçekleşmesi takım/takım tezgâhı/iş parçası ilişkilerinin doğru kurulması ile mümkündür.

Kör veya fazla kullanılmış takımlar, doğru seçilmemiş işleme parametreleri ve titreşimler işlevsel toleransları engelleyen ölçü ve yüzey hatalarına sebep olur. Hatasız (veya en az hata ile) iş, minimum takım aşınması ve düşük güç sarfıyatı, talaş kaldırma işlemlerinde ekonomikliği simgeleyen en önemli unsurlardır.

Uygun kesme parametreleri için değerler, genellikle deneysel olarak belirlenmiş olup, kesmenin etkili olduğu bölgede oluşan kesme kuvvetleri bu deneysel sonuçlara bağlı olarak elde edilmiş ampirik eşitliklerle hesaplanır. Özellikle takım ömrü ve takım değiştirme sıklığı, takım tezgâhlarının verimli kullanılması için en önemli parametrelerdir.

Talaş kaldırma işlemlerinde kullanılan takımların kesici kenarları yeterince keskin olmasına rağmen, talaş kaldırma işlemleri sırasında oluşan gerilmeler karşısında oldukça fazla zorlanırlar. Bu sebeple takımın bu gerilmeleri karşılayabileceği optimum kesit ve kesmeyi kolaylaştıracak takım parametresini belirlemek için pek çok araştırma yapılmıştır [1, 2].

Bu yaklaşımdan hareketle hedeflenen bu çalışmanın amacı, talaş kaldırma işlemlerinde “delme” sırasında oluşan kesme kuvvetlerinin deneysel olarak belirlenmesi, deneysel olarak belirlenen kuvvetlerin takım üzerindeki etkilerinin sonlu elemanlar metodu (Finite Element Method–FEM) kullanılarak analizi ve elde edilen bulgular ışığında kesme kuvvetlerinin matematiksel olarak modellenmesidir. Bu çalışmanın amacına ulaşabilmesi ve delik delmede veya büyütmede kullanılan sert metal uçlarda oluşan gerilmelerin incelenebilmesi amacıyla, Kistler 9257B dinamometre yardımıyla bir dizi delme deneyi yapılarak, elde edilen kuvvet ölçüm sonuçları kullanılmak suretiyle kesme süreci içerisinde kesici takımda oluşan gerilmeler ANSYS paket programı yardımıyla analiz edilmiştir.

Bu çalışmanın altı temel aşaması bulunmaktadır:

- Kesme esnasında meydana gelen kesme kuvvetlerinin dinamometre yardımı ile ölçülmesi.
- Deliklerin ovallik değerlerinin CMM tezgahı ile ölçülerek yorumlanması.
- Kesme esnasında deliklerin yüzeylerinde oluşan yüzey pürüzlülük değerlerinin yorumlanması.
- Delik çaplarında meydana gelen dairesellik hatalarının belirlenmesi
- Aşınma deneyleri sonucunda takımların kesici ağızlarında meydana gelen aşınma değerlerinin Elektro Mikroskop (SEM) ile görüntülenerek yorumlanması.

2. DELME İŞLEMİ

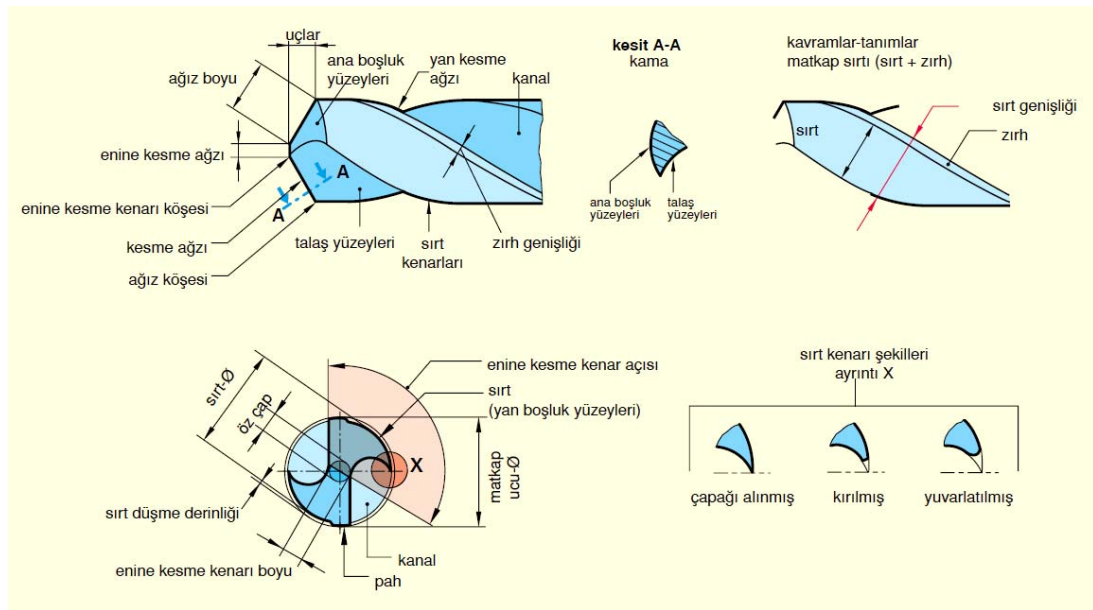
Dönen ve aksenel bir hareketle iki ağza sahip bir kesiciye iş parçası üzerinde silindirik boşluklar elde etmek üzere yapılan işleme delme denir. Delme terimi kısa ve derin delik delme işlemleri için olduğu kadar müteakip broşlama (delik büyütme), raybalama, havşa başı açma işlemleri ve ovalama (veya parlatma) gibi çeşitli son işlemler için de kullanılır. Bütün bu işlemlerin ortak noktası, takımın kendi ekseni etrafında dönme hareketi ile ekseni yönünde ilerleyerek yapılan bir talaş kaldırma operasyonu olmasıdır [5].

Delik delme, metal kesme takımlarıyla bir iş parçasında silindirik delik açma yöntemlerini içerir (Şekil 2.1). Delik delme, delik büyütme, fatura açma (kademeli delik işleme), raybalama ve delik büyütme gibi birbirini takip eden talaş kaldırma işlemlerini kapsar. Bütün bu işlemlerde ortak olan, doğrusal bir ilerleme hareketi ile birlikte ana bir dönme hareketinin olmasıdır. Kısa delik açma ve derin delik açma işlemleri birbirinden farklıdır. Derin delik açma, çapın birçok katı derinliğe sahip deliklerin açıldığı, uzmanlık gerektiren bir yöntemdir ve derinlik, çapın 150 katına kadar çıkabilir [1].



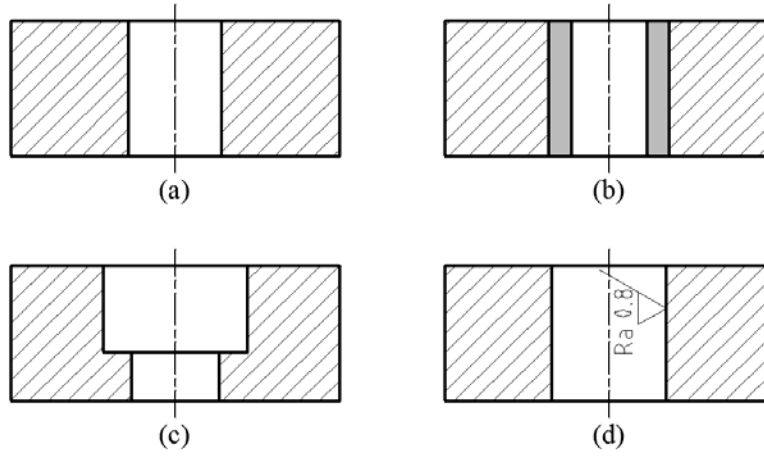
Resim 2.1. Delik delme işlemi

Kısa delik delme işlemlerinde, modern takımların gelişmesiyle beraber, hazırlayıcı ve ilave işleme ihtiyacı büyük oranda değişmiştir. Modern takımlar, normal olarak merkez ve kılavuz deliklerini önceden işlenmesine ihtiyaç duymadan, doluya delmenin tek işlemde yapılmasına imkân sağlamıştır. Delik kalitesi yüksektir, ölçü hassasiyetini ve yüzey pürüzlülüğünü geliştirmek için sonradan işlem yapmaya genellikle ihtiyaç duyulmaz [1].



Şekil 2.1. Delik delme işleminde kullanılan matkap ile ilgili kavramlar [6]

Delik delme işlemi bazı yönleri ile tornalama ve frezeleme işlemleri ile karşılaştırılabilir de delik delmede talaş kırma ve talaşın boşaltılması kritik öneme sahiptir. İşleme delikle sınırlıdır, yani delik derinliği ne kadar büyükse işlemi kontrol etmek ve talaş kaldırmak o kadar zor olur. Birçok parçada kısa delikler bulunur ve yüksek malzeme kaldırma oranı, kalite ve güvenilirliğe ilaveten önemi artan bir önceliğe sahiptir. Delik delme işlemlerini; doluya delik delme, delik büyütme, fatura açma (kademeli delik delme) ve raybalama olmak üzere 4 başlık altında toplamak mümkündür (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Delik Delme İşlemleri

Doluya delik delme

Doluya delik delme en yaygın delik delme yöntemidir. Bu yöntemle katı maddeye tek işlemde önceden belirlenmiş bir çapta delik açılır (Şekil 2.2.a).

Delik büyütme

Delik büyütme genellikle daha büyük delik çapları için kullanılır. Bu metot doluya delik delme kadar güç harcama gerektiren bir metot değildir. Delik büyütme takımı bütün çapı işlemez, sadece deliğin çevresindeki bir halkayı işler. Bütün malzemeyi talaş olarak kaldırmak yerine göbek malzemesi deliğin merkezinin etrafında boş olarak bırakılır, bu metot sonuçta delik içi uygulamaları içindir (Şekil 2.2.b).

Fatura açma

Fatura açma (kademeli delik işleme) deliğin çevresinde önemli bir miktarda talaş kaldıran özel olarak tasarlanmış bir takımla mevcut deliğin genişletilmesidir (Şekil 2.2.c).

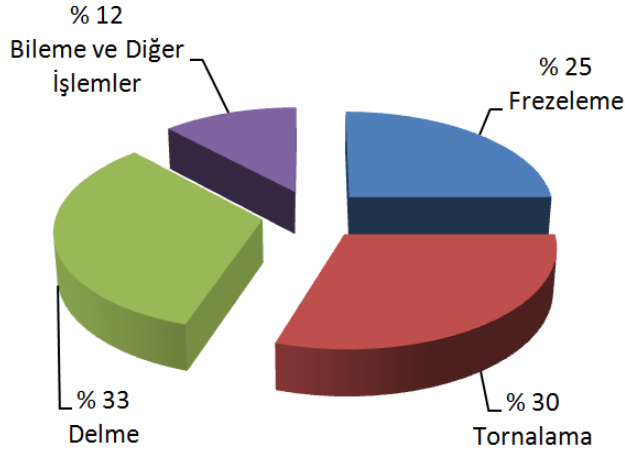
Raybalama

Raybalama mevcut deliğin son (ince) işlemidir. Bu işlem yüksek yüzey kalitesi ve dar toleranslar sağlamak için küçük çalışma toleranslarına ihtiyaç duyar (Şekil 2.2.d.).

2.1. Delik Delme İşlemlerinin Endüstrideki Yeri

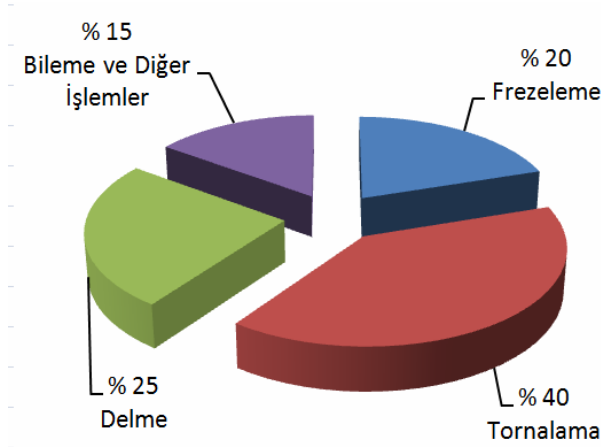
Delme işlemi en önemli talaş kaldırma işlemlerinden biridir ve talaş kaldırma işlemlerinin %33'ünü içermektedir. Delme işlemi çoğunlukla talaş kaldırma işlemlerinin sonuncusudur. Tornalama ve frezeleme işlemleri ile delme işlemleri karşılaştırıldığında, işlemlerin kinematik ve dinamik yapısının benzer olup talaş akışı ve kesme sıcaklığı dağılımının aynı şekilde olduğu görülür. Diğer taraftan delme işleminde olumsuz durumlar da oluşmaktadır. Talaş oluşumu kapalı alanda oluşur ve görülemez. Talaş akışını sınırlandıran sadece matkapta oluşan talaş kalınlığıdır. Takım ve iş parçası arasındaki sürtünme önemlidir; yüzeyden akan sıcaklığın yetersiz olması ve dönme ekseninde kesici ağız boyunca kesme hızı değerinin sıfır olması ana problemdir. Bu yüzden matkap ve işlem özel olarak tezgaha ve iş parçasına adapte edilmeli, delik kalitesi sağlanmalı ve gerekli yöntem doğruluğu oluşturulmalıdır. Bu nedenlerden dolayı birçok takım geometrisi ve takım malzemesi geliştirilmiştir [7,8].

Bütün talaş kaldırma metotları kesici ağızla tanımlanır. Bu tanımlanan metotlar içerisinde delme işlemi, tüm işlem sayısının %33'üne sahiptir (Şekil 2.3).



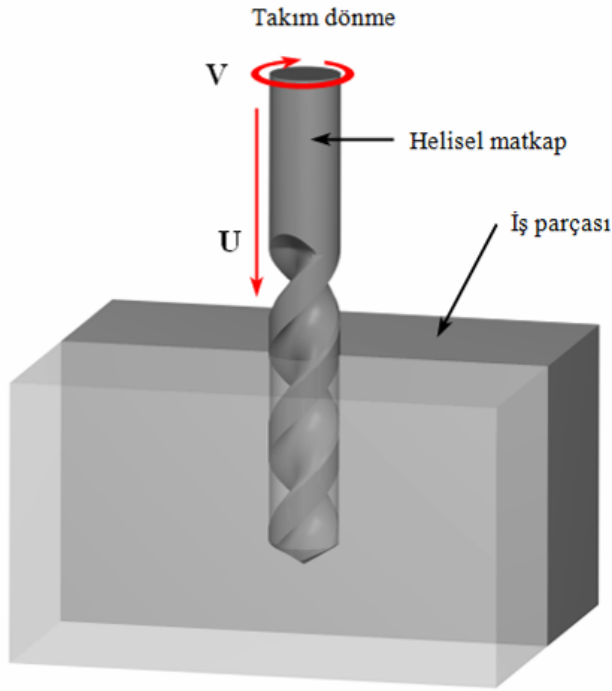
Şekil 2.3. İşlem sayısına göre delme işleminin diğer talaş kaldırma işlemleriyle karşılaştırılması [7]

Yine çok kullanılan kesici takımlarla yapılan talaş kaldırma işlemlerinde harcanan zamanın %25'i delme işlemi olarak tezgahda geçirilmektedir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. Talaş kaldırma süresine göre delme işleminin diğer talaş kaldırma işlemleriyle karşılaştırılması [7]

Delik delme, iş parçasından talaş kaldıran bir takım ile silindirik delik açma metodlarının tamamına verilen bir addır. Delme terimi kısa veya derin delik delme işlemleri için olduğu kadar, bunların ardından yapılan broşlama, raybalama, havşa yuvası açma ve ovalama (veya parlatma) gibi çeşitli son işlemler için de kullanılır. Bütün bu işlemlerin ortak noktası, ana dönme hareketinin doğrusal bir ilerleme hareketiyle beraber yapılmasıdır [4].



Şekil 2.5. Takımın dönmesi (v), ilerlemesi (u)

Delik delme işlemi matkap ve torna tezgahında da yapılabilir. Bu işlem matkap tezgâhında yapılırsa, iş parçası sabit olup, kesici takım olarak kullanılan matkap ile kesme işlemi gerçekleştirilir. Bu işlemde, matkap hem döner hem de eksenini doğrultusunda ilerlerken kesme yapar [7].

Önceleri delikler klasik, dikey tezgahlarda delinmiş ve delme işlemleri üretimde dar boğazlar oluşmasına neden olmuştur. Bugün bu tezgahların bir çoğu yerlerini daha modern FMS (Esnek üretim sistemleri) sistemlerine, işleme merkezlerine ve CNC tornalara bırakmışlardır.

Kısa delik delme işlemi için geliştirilen kesici takımlar sayesinde delme işlemi öncesindeki ve sonrasındaki işlemlere olan gereksinim önemli ölçüde azalmıştır. Modern takımlar, delme işlemini herhangi bir merkezleme deliğine veya kılavuz deliğe ihtiyaç olmaksızın tek pasoda gerçekleştirirler. Delinmiş olan delik gerek boyut, gerekse yüzey kalitesi açısından ek bir işlem gerektirmez [7].

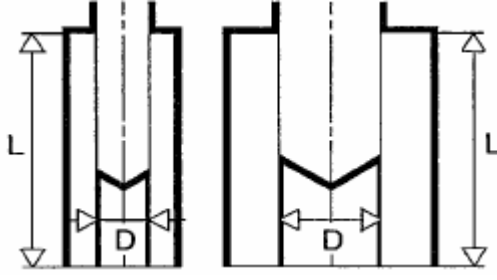
2.2. Delik Delme İşlemi

İlke olarak matkapla talaş kaldırma olayı ile tek ağızlı takım (tornalama, planyalama) talaş kaldırma olayı arasında bir fark yoktur. Ancak delik işlemede, talaşın tahliyesi ve kesme sıvısının verilmesi çok daha zordur. Bu yüzden talaş ile helis kanalların ve matkap ile işlenen yüzeyler arasında sürtünmenin çok daha büyük olmasının sebebi talaş açısının ağız boyunca değişmesidir. Bundan dolayı ağız boyunca farklı kesme şartlarının olduğu göz önünde tutulursa, matkapla talaş kaldırma, tek ağızlı takıma göre çok daha karışık ve ağır koşullarda meydana geldiği sonucuna varılır [7].

Matkaplar, delik delme ve genişletme için kullanılan takımlardır. Matkaplar dönel yapıya sahip bir veya birden fazla kesici ağızlı olan, talaş akışı için bir veya daha fazla helisel ya da düz kanala sahip talaş kaldırma takımlarıdır. Bu tip kesici takımlar birçok çeşitte, çeşitli formlarda, ölçülerde ve toleranslarda üretilmektedir. Endüstriyel uygulamaların tamamına yakının oranda kullanılan matkaplar, helisel matkaplardır [8].

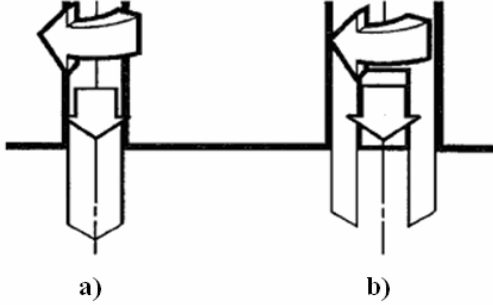
Delik derinleştikçe, işlemin kontrolü ve talaşın boşaltılması zorlaşır. Derin delik delme işleminde yüzey ve delik kalitesi daha büyük bir öneme sahip iken, kısa deliklerde daha ekonomik bir işlem için daha yüksek talaş debilerinde çalışma önem kazanmaktadır. Kısa delik delme işlemi ile derin delik delme işlemi arasındaki fark, sadece çap ve delik derinliği ilişkisiyle sınırlandırılmamıştır. Talaş boşaltma, kalite ve talaş debisi ile ilgili parametreler de derin delik delme ile kısa delik delme işlemlerini ayıran temel özelliklerdir.

Delik boyu, delik çapının 10 katından daha büyük ise bu delikler uzun delik olarak adlandırılır. Delik boyu çap oranı 4-10 arasında olan deliklere normal delik, delik boyu çap oranı 3 ve daha düşük olan delikler ise kısa delik olarak adlandırılır (Şekil 2.6).



Şekil 2.6. Çap uzunluk ilişkisi [4]

En yaygın delik delme metodu, dolu bir malzemenin yekpare bir takım kullanılarak belirli bir çapta, tek operasyonda delinmesidir (Şekil 2.7.a). Hem içten hem de dıştan kesen bir takımın kullanıldığı çevreden kesme (Şekil 2.7.b) metodu bir önceki delik delme işlemindeki kadar güç gerektirmeyen ve prensipte büyük çaplı deliklerin delinmesi için kullanılan bir metottur. Bu metot, malzemenin tamamını talaş olarak kaldırmak yerine, merkezde silindirik şeklinde bir çekirdek oluşturan ve yine tek operasyonda tamamlanan bir delme işlemidir [4].



Şekil 2.7. Delme işlemleri (a) tek operasyonda delme işlemi, (b) ön delik delme işleminden sonra yapılan delme işlemi [4]

Bazı işlemlerde delinecek deliğin yüzey kalitesinin ve delik toleransının iyileştirilmesi istenirse, delme işlemini takiben bir delik büyütme işleminin uygulanması tavsiye edilir. Bu üçüncü delme metodu normal delik delme matkaplarıyla gerçekleştirilen ancak yeterli hassasiyet sağlanabilmesi için özen gerektiren bir metottur. Önceden delinmiş delikler, kullanılan takımın asimetrik takım olması durumunda takımın eğilmesine neden olurlar. Normal delik delme işleminde kullanılan matkapların bir çoğu kendi kendine merkezleme özelliğine sahiptirler. Önceden delinmiş bir delikte, takım merkezi ararken kesici kenarlarda

düzensiz yüklemeler oluşur. Bu, takımın eğri bir yol izlemesi ve oval bir delik delmesi demektir.

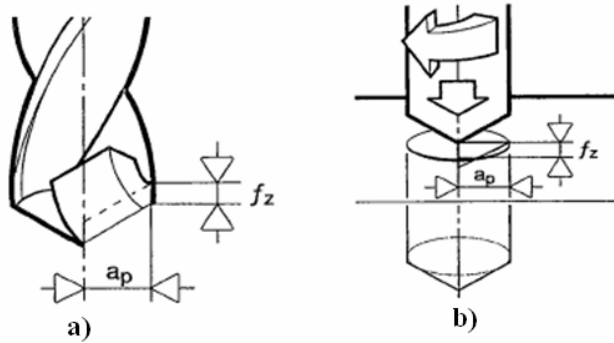
2.3. Temel Tanımlar

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 $\pi x D$ olan bir daire çizer (Şekil 2.6). Eğer çap mm cinsinden verilmişse, kesme hızının m/dk cinsinden ifade edilebilmesi için sonuç 1000 'e bölünür.

$$V_c = \pi \times D \times n / 1000 \text{ [m/dk]} \quad (2.1)$$

$$V_f = f \times n \text{ [mm/dk]} \quad (2.2)$$

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



Şekil 2.9. Delme işlemlerinde temel tanımlar a) talaş kesit alanı, b) kesici kenar başına ilerleme [4]

İlerleme uzunluğunun (L+h-mm) ilerleme hızına bölünmesi sonucunda (T-dk) efektif işleme zamanı elde edilir. Delinmiş olan veya başka bir ifade ile takımın ilerlediği uzunluk, delik derinliği ile matkap ucu yüksekliğinin toplamına eşittir [4].

$$h = (D/2) \times \cot(\phi/2) \text{ [mm]} \quad (2.5)$$

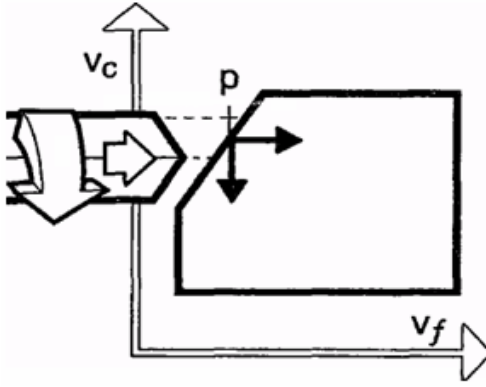
$$T = (L+h)/V_f \text{ [dk]} \quad (2.6)$$

2.4. Talaş Oluşumu

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

Talaş kırma aralığının etüdü sonrasında doğru kesme verilerinin saptanması mümkündür. Talaş kırma alanı, söz konusu malzeme üzerinde çeşitli kesme hızı - ilerleme değerlerinin denenmesi ve belirlenen değerlerden talaş kırma açısından

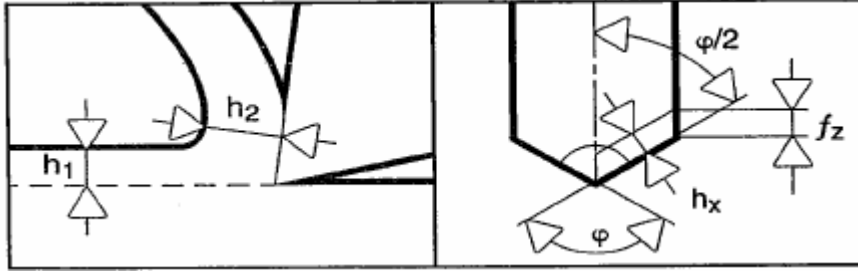
tatmin edici sonuçlar veren değerlerin seçilmesiyle oluşturulur. Şekil 2.10'deki diyagramda, çevredeki kesme hızının (p) talaş kırma açısından çok yüksek olduğu görülmektedir. Bu örnekte problem, ilerleme değerinin artırılması ile çözülebilir. Tezgahın gücünün veya rijitliğinin sınırlı olması halinde kesme hızının düşürülmesi daha uygundur.



Şekil 2.10. Matkabin çevresinde aşırı kesme hızı [4]

Kesme hızı, matkabin çevresinden merkeze yaklaştıkça azalır. Bu nedenle kesme hızının azalması sonucunda ortaya çıkabilecek yığılma kenar oluşumu riskinin göze alınması gerekir. Matkabin merkezi yakınında oluşacak belirli bir miktar yığılma kenar çoğu işlem için kabul edilebilir bir durumdur. Ancak kesme hızının düşürülmesi yığılma kenarın çevreye daha yakın bir bölgede oluşmasına neden olacaktır, dolayısıyla sakıncalıdır.

Talaş kaldırma işlemi esnasında talaşın plastik deformasyona uğraması nedeniyle, deformasyona uğramış talaş kalınlığı (h_2) teorik talaş kalınlığından (h_1) farklıdır. Delme işleminde teorik talaş kalınlığı artan kenar başına ilerleme ve uç açısı (ϕ) ile artar (Şekil 2.11).

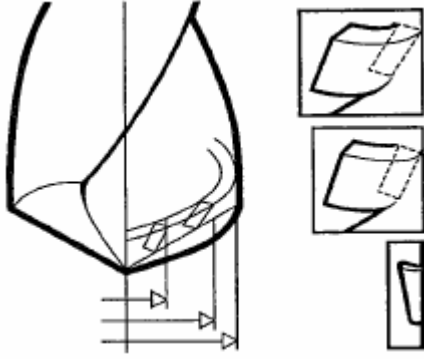


Şekil 2.11. Talaş oluşumuna etki eden faktörler [4]

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

Talaş açısı, kesici kenar boyunca değişir ve matkabın çevresinden merkeze doğru azalır. Matkabın hızının da çevreden merkeze doğru azalması nedeniyle kesme hızının sıfır olduğu merkez noktasında matkabın ucu son derece verimsiz çalışacaktır. Matkap merkezdeki malzemeyi kesmek yerine bastırıp ezerken talaş açısının negatif olduğu ve kesme hızının sıfıra yaklaştığı noktada bir plastik deformasyon oluşur (Şekil 2.12). Bu basınç oldukça yüksek bir eksensel kuvvet bileşeninin ortaya çıkmasına neden olur. Tezgahın gücü delinecek deliğin boyutlarına göre düşükse, ilerleme kuvvetinin büyük olmasından dolayı tezgah ana milinin esnemesi söz konusu olacak ve bunun sonucunda oval delikler elde edilecektir.

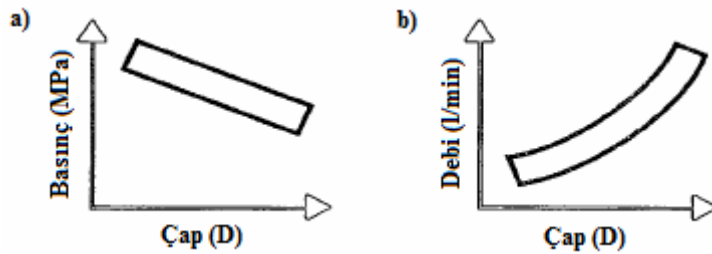
Radyal ağız nedeniyle ortaya çıkan elverişsiz çalışma koşullarının giderilmesi için takımlarda önemli değişiklikler gerçekleştirilmiştir. Radyal ağız çok inceltilmiş veya tamamen ortadan kaldırılmış ve kesici kenara matkap merkezine doğru bir yarıçap verilmiştir.



Şekil 2.12. Kesici kenarın talaş kaldırması [4]

Klasik helisel matkaplarda çekirdek kısmının inceltilmesi işlemi, matkabın ucundaki helis kanalın taşlanması ile gerçekleştirilir. Bu sayede çapraz kesici kenarın uzunluğu azaltılır ve ana kesici kenar kırık bir hat oluşturur. Çekirdeğin inceltilmesini takiben kesici kenarlara doğrusal bir profil kazandırabilmek amacıyla bir son taşlama işlemi uygulanır. Son taşlama ana kesici kenarın tamamına veya bir kısmına uygulanır ve böylelikle işlem süresince sabit bir talaş açısının elde edilmesi sağlanır. Örneğin, kırılğan malzemelerin delinmesi işleminde, tüm kesici kenar boyunca küçük bir talaş açısına sahip bir matkabın kullanılması tavsiye edilir [4].

Modern sinterlenmiş karbür matkaplar ile yapılan delik delme işleminde yüksek talaş debileri elde edilir ve oluşan büyük miktarlardaki talaşlar matkabın içinden veya dışından kesme bölgesine gönderilen yüksek basınçlı kesme sıvısı yardımıyla delik dışına atılırlar. Gerekli basınç (Mpa) ve debi [l/dk] öncelikle delik çapına bağlıdır, ancak işleme koşullarının da basınç ve debi üzerinde etkisi vardır (Şekil 2.13).



Şekil 2.13. Çapa bağlı basınç ve debi ilişkisi. a) basınç çap ilişkisi, b) debi çap ilişkisi [4]

Kesme sıvısının matkap içinden kesme bölgesine gönderilmesi halinde döner matkaplar, merkezkaç kuvvetinin etkisiyle oluşan basınç düşüşü nedeniyle, sabit matkaplara göre daha yüksek kesme sıvısı basıncına gereksinim gösterirler. Ancak kesme sıvısının matkap dışından kesme bölgesine gönderildiği sabit matkaplarda, sevk sisteminde oluşan belirli bir basınç düşüşünün de dikkate alınması zorunludur. Bu nedenle depoda bir miktar fazla sıvı bulundurulması ve basıncın en azından matkap için tavsiye edilen düzeyde olup olmadığının kontrol edilmesi son derece önemlidir.

2.5. Delme İşlemlerinde Kesme Kuvvetleri ve Güç

Talaşlı imalat işlemlerinde (tornalama, frezeleme, delme, taşlama vb.) üretilen iş parçası kalitesinin artırılması ve maliyetin düşürülmesine yönelik yapılan çalışmalarda kesme kuvvetlerinin tespiti ve analiz edilmesi önemli bir yer tutmaktadır [9-11].

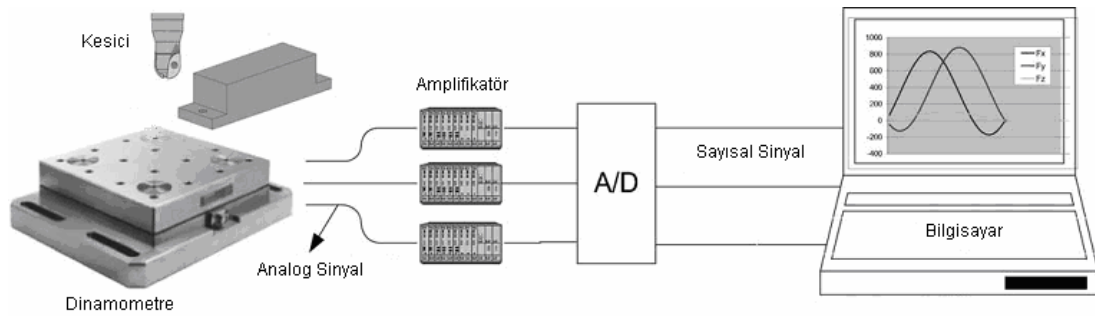
Kesme kuvvetleri, ısı oluşumu, takım ömrü, işlenen yüzeyin kalitesi ve iş parçasının boyutları üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Kesme kuvvetleri aynı zamanda takım tezgâhlarının, kesici takımların ve gerekli bağlama kalıplarının tasarımında da önemli bir etkindir. Mühendislik hesaplamaları ile elde edilen bazı değerlerin, etkisi tam tespit edilemeyen değişik faktörler ve çok yönlü gerilmeler sebebiyle, çoğu zaman ölçülen değerlerle uyuşmadığı görülmüştür. Söz konusu faktörlerin göz ardı edilmesinden dolayı hesaplamaların kesinlik sağlamadığı ve zorlama doğrultusunun hatasız olarak tespit edilemediği hallerde, gerilmelerin ve bu gerilmeleri doğuran kuvvetlerin deneysel olarak ölçülmesi daha doğru sonuçlar vermektedir. Böylece, hesaplamalarda kullanılan ampirik eşitliklerin doğruluk derecesi de yapılan deneylerle teyit edilebilmektedir [12,13].

Teorik hesaplarda malzeme ve sistem, dış kuvvetler altında şekil değiştirmedeği, deforme olmadığı yanı rijit olduğu kabul edilir. Rijit cisimler, her türlü etki altında şekil değiştirmeyen cisimlerdir. Gerçekte bütün cisimler, kuvvetlerin etkisi altında çeşitli ölçülerde şekil değiştirdiği, dolayısıyla rijit cismin ancak bir soyutlama olduğu

açıktır. Ancak katı cisimlerin çoğunda şekil değiştirmenin cismin bütün olarak hareketi üzerindeki etkisi ihmal edilebilir mertebededir ve hareketin matematik analizini kolaylaştıran rijitlik kabulü bazı olayları incelerken önemli bir etki oluşturmaz [9,14].

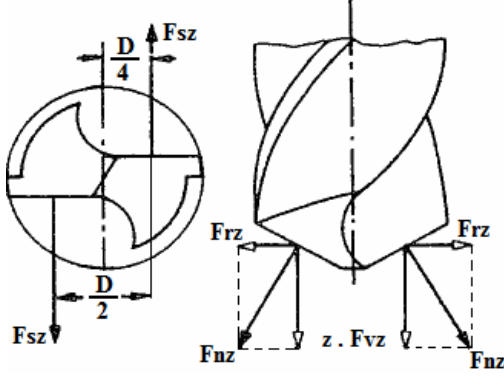
Talaş kaldırma işleminde kesme kuvvetlerinin belirlenmesi, takım tezgâhının talaş kaldırma sırasında harcadığı enerjinin tespit edilmesinde, takım tezgâhının, takımların ve bağlama aparatlarının tasarımında ve boyutlandırılmasında, tezgâh rijitliği ve boyutlarının hesaplanmasında büyük önem taşımaktadır. Kesme kuvvetlerine veya harcanan enerjiye bağlı olarak, talaş kaldırma sırasında optimizasyona dayalı adaptif bir kontrol sistemi oluşturmakta kullanılmaktadır [15].

Delme işlemlerinde kesme kuvvetlerinin ölçümünde kullanılan dinamometrenin şematik gösterimi Şekil 2.14’de gösterilmiştir.



Şekil 2.14. Frezeleme veya delik delme işlemleri için dinamometre [9]

Delme sırasında bir ağza karşılık gelen talaş kaldırma kuvvetlerinin bileşenleri, yani kesme kuvveti (F_{sz}), ilerleme kuvveti (F_{vz}) ve radyal kuvveti (F_{rz}) Şekil 2.15’de gösterilmiştir. Ağızların konumu itibarıyla her ağızda oluşan radyal kuvvetler birbirini dengelemektedir. Dolayısıyla delme işleminde sadece F_s ve F_v kuvvetleri etki göstermektedir.



Şekil 2.15. Matkapla delmede kesme kuvvetleri [16]

Bir ağza karşılık gelen kesme kuvveti

$$F_{sz} = A_{sz} k_s = \frac{ds_z}{2} k_s = \frac{ds}{4} k_s \quad (2.7)$$

ve toplam kesme kuvveti,

$$F_s = z F_{sz} = 2 F_{sz} = d s_z k_s = \frac{ds}{2} k_s \quad (2.8)$$

şeklinde ifade edilir. Burada özgül kesme kuvveti,

$$k_s = 1,2 k_{s11} h^{-z} \quad \text{veya} \quad (2.9)$$

$k_{sh} = k_{s11} h^{-z}$ değeri ile

$$k_s = 1,2 k_{sh} \quad (2.10)$$

Bağıntısı ile hesaplanır.

$1,2 k_{sh}$ matkapla talaş kaldırma işleminin özelliklerini yansıtan düzeltme faktörüdür.

Kesme kuvvetine bağlı, bir ağza tekabül eden kesme momenti,

$$M_{sz} = F_{sz} d / 4 \quad (2.11)$$

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

$$M_s = z F_{sz} \frac{d}{4} = 2 F_{sz} \frac{d}{4} = F_s \frac{d}{4} \quad (2.12)$$

veya yukarıdaki (2.12) bağıntısı dikkate alınırsa

$$M_s = \frac{d^2 s k_s}{8 \cdot 10^3} [\text{Nm}] \quad (2.13)$$

şeklinde yazılır, burada d (mm), s (mm/dev); k_s (N/mm²) olarak konulur ve M_s (Nm) olarak bulunur. Bu bağıntıdan verilen bir M_s (Nm) değerine delinebilecek delik çapı

$$d = \sqrt{\frac{8 \cdot 10^3 M_s}{s k_s}} [\text{mm}] \quad (2.14)$$

bulunur. İlerleme $s = z \cdot s_z$ bağıntısı ile tayin edilir. Toplam ilerleme kuvveti

$$F_v = 2 F_{vz} = 2 F_{sz} \sin(x) = F_s \sin(x) \quad (2.15)$$

bağıntısı ile tayin edilir.

İlerleme kuvveti F_v , eksensel kuvvet niteliğindedir. Delik açmada, ana kesme ağızlarında meydana gelen bu kuvvetin yanı sıra, radyal kesme ağzında da, eksensel nitelikte F_z ilerleme kuvveti oluşmaktadır. Şöyle ki, delik açma sırasında matkabı etkileyen ve yenilmesi gereken eksensel kuvvet,

$$F_a = 2 F_{vz} + F_x = F_v + F_x \quad (2.16)$$

dir. Yapılan deneylere göre eksensel kuvvetinin % 40'ı F_v ; % 57'si F_x ve geri kalanı (%3) sürtünme kuvvetidir.

Eksensel kuvvet F_a , ilerlemeyi sağlayan elemanları ve özellikle yatakları (rulmanları) zorlamaktadır. Tezgâhın konstrüksiyonu sırasında bu elemanlar, belirli bir eksensel kuvvete (F_{amax}) göre hesaplanır. Çalışma sırasında $F_a > F_{amax}$ olursa, ilerlemeyi sağlayan elemanlar ve özellikle rulmanlar çabuk bozulur. Ayrıca F_a kuvveti takımı burkulmaya zorlar. F_{amax} 'ın değeri tezgah katalogunda verilir [16].

2.6. Delme İşlemlerinde Kullanılan Kaplamalı Takımlar

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 ya da katostropik hata, eğer kesme şartları iyi ayarlanmazsa kırılma gibi hatalar dahi olabilir. Aslında 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. En sık kullanılan kaplama tekniği Ark PVD tekniğidir.

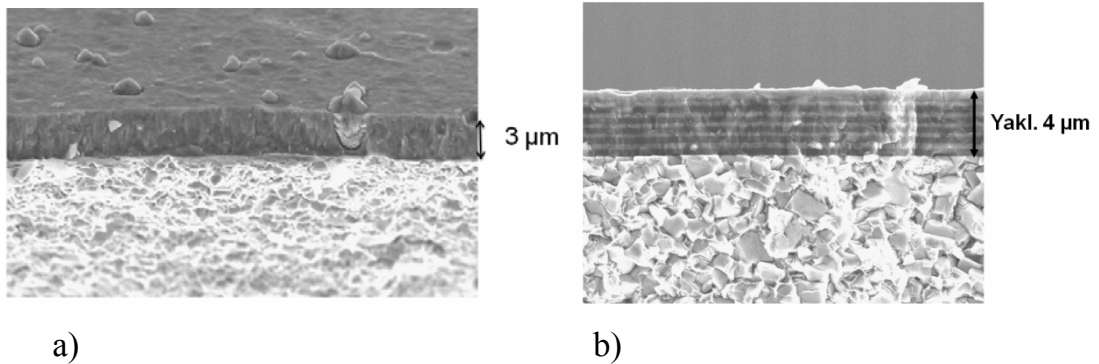
Ark PVD tekniği, kaplama malzemesinin vakum ortamında buharlaştırılması esasına dayanır. Bu teknik, kaplama malzemesinin (Ti, Cr, Al_2O_3 , TiAlN vs.), 63 vakum ortamında ergitilip buharlaştırılarak, buharlaşan atomların elektro manyetik ortam içerisinde, matriks malzeme yüzeyine yoğunlaştırılması esasına dayanır. Bu sistemde, vakum kazanı içerisinde kaplama malzemesi katot, matriks malzemesi anot olarak asılı pozisyonadadır (Şekil 4). 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 °C), 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 [5, 17].

TiN Kaplamalı Takımlar; sarı renkli 1,5 - 3 μm tek kat kaplanarak yüzeye çok iyi tutunan, kaplama sertliği 1500-2000 Vickers olan, PVD (Fiziksel Buhar Biriktirme Tekniği) ile kaplanmış TiN (Titannitrid - Kaplama) kaplamalı matkaptır. Bu kaplamalar düşük sürtünme katsayısına sahiptir.

TiAlN Kaplamalı Takımlar; oksidasyon vasıtasıyla oluşturulan Al_2O_3 - tabakasına sahip, kuru işlemede 800°C ye kadar kullanım sağlayan, kaplama kalınlığı 1,5 - 3 μm olan, kaplama sertliği 3000-3500 Vickers olan, PVD atomizasyonu tekniği ile üretilen TiAlN (Titanyum alüminyum nitrid - Kaplama) kaplamalı takımlardır.

Fire Kaplamalı Takımlar; 800°C ye kadar kullanım sağlayan, darbeye karşı hassas olmayan, kaplama kalınlığı 3 - 4 μm olan, 12 kata kadar kaplama yapılabilen, PVD ARC - Kaplama tekniği ile kaplanan Fire kaplamalı matkaplardır. Kaplamalar genellikle TiN, TiAlN, TiN, TiAlN, TiN, TiAlN, TiN, TiAlN, TiN, TiAlN, TiN, TiAlN olarak 12 katmandan oluşur.

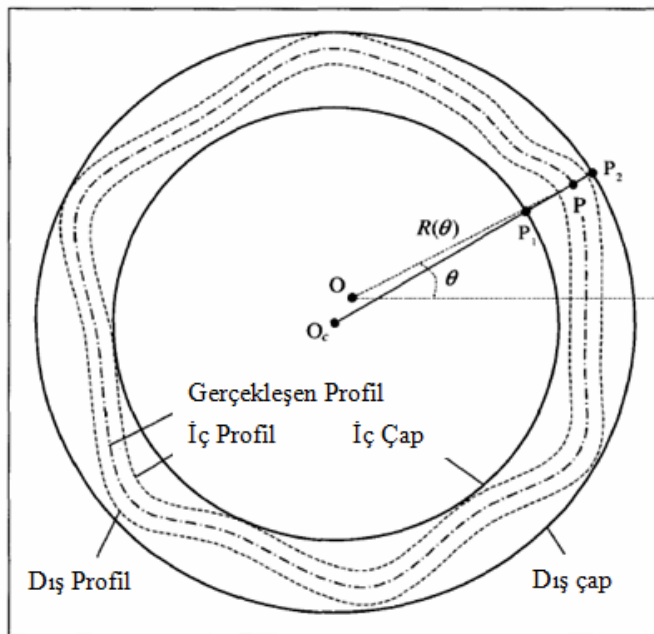


Şekil 2.16. a) Tek katlı kaplama, b) Çok katlı kaplama [6].

2.7. Delme İşlemlerinde Dairesellik ve Dairesellik Sapma Değerleri

Delme işlemlerinden sonra ölçülen deliklerin dairesellikleri talaş kaldırma işleminde kullanılan tezgahın işleme kalitesine, takımın cinsine, kesme esnasında kullanılan kesme parametrelerine bağlı olarak değişmektedir. Daireselliğin bozulması takım aşınması, takımın doğru pozisyonlaşmamasından ya da kesme sırasında uygulanan kuvvetlerin düzensizliğinden kaynaklanmaktadır. Dairesellik aralığı, kesme hızı, ilerleme, paso kalınlığı, paso sayısı vb. birçok parametreden etkilenmektedir [18]. Üretilen her daire dairesellik ve yüzey pürüzlülüğü gibi bazı hatalar barındırır. Dairesellik değerlerinin ölçülmesi işlenen parçanın tolerans değerlerinin sınır değerleri arasında olup olmadığının belirlenmesidir [19].

Gerçekleşen profili saran 2 eş merkezli dairenin (P_1 , P_2) minimum radyal ayrımıdır. En küçük kareler dairesi, etrafındaki maksimum radyal aralık olarak da değerlendirilebilir. En çok ölçümü yapılan sapma tipidir.



Şekil 2.17. Dairesel sapmanın değerlendirilmesi [19].

Dairesellik hatası, ölçüm cihazından alınan koordinat verileri aşağıdaki metotlar kullanılarak belirlenmektedir:

- En küçük kareler metodu (EKK),
- Maksimum iç teğet dairesi metodu (MİTD)
- Minimum dış teğet dairesi metodu (MDTD)
- Minimum radyal ayırım dairesi metodu (MRAD)

EKK metodu, günümüzde özellikle CMM tezgahlarında en sık kullanılan yöntem olup, diğer yaklaşımların karşılaştırılmasında referans alınan bir tekniktir. Bu metotla elde edilen dairenin merkezi, en küçük dış teğet ve en büyük iç teğet dairelerin profile uydurulması için kullanılır. Bu iki daire arasındaki fark dairesellik hatası olarak ifade edilir [20].

2.8. Delme İşlemlerinde Takım Aşınması

Sürtünmeden ötürü oluşan aşınma, tüm endüstri kollarında ‘sinsi’ bir tehlike olarak karşımızda durup zamanında ve sistematik tedbir alınmadığı takdirde çok pahalıya mal olabilecek sonuçlara götürebilir [21].

Talaş kaldırmada iş parçası ile temas halinde bulunan takımın aşınması çok genel olarak kesici takım malzemesinin kaybı şeklinde tarif edilebilir. Bu kayıp çeşitli şekillerde oluşabilir.

- Mikroskobik büyüklükteki küçük aşınmış partiküller vasıtasıyla takım malzemesinin tedrici olarak kaybı şeklinde,
- Metal kesmede yüzey üzerine gömülmüş sert partiküllerin takıma sürtünmesi tesiriyle,
- Takımın mikroskobik parçalar halinde ufalanması şeklinde,
- Kesme sıvısı içinde fazla aktif ilaveler bulunması nedeniyle takımın korozyonu ile.

Bu durum en çok kobalt bağlayıcı kullanılmış sert metal takımların kükürt içeren yağların kullanılması halinde görülür. İlk iki maddede belirtilmiş hususlar diğerlerine

nazaran daha önemlidir. Takımın tedrici aşınması "metal transferi" adı verilen fizyokimyasal bünyeye haiz bir aşınma tipi ile ortaya çıkmaktadır.

Metal transferi şu şekilde izah edilebilir; şayet iki temiz yüze yaralarında herhangi bir yağ filmi bulunmadığı hallerde birbirlerine şiddetle bastırılırsa, yüzeyler yüksek noktalarda temas ederler. Bu durumda temas noktaları çok yüksek basınçlara maruz kalır.

Genellikle yüksek basınç altında metaller akma sınırına ulaşırlar ve temas bölgelerinde mikro kaynaklar oluşur. Temas yüzeyleri birbirine göre relatif olarak hareket ederlerse, mikro kaynaklar kırılır ve metaller plastik akışla yer değiştirirler. Plastik deformasyon sırasında metaller şiddetli zorlama sertleşmesine maruz kalırlar ve temas eden bölgedeki malzemelerin sertliği ana malzemenin sertliğinden daha büyük olur. Belirtildiği gibi bir parça malzemenin bir yüzeyden diğer yüzeye nakledilmesi şeklindeki aşınmaya "metal transferi" ismi verilir. Bu tip aşınmaya en fazla etki eden faktörler temas eden yüzeylerin sertliği, yüzey kaliteleri, yüzeyler arasındaki basınçtır. Sıcaklıkta malzemelerin sertliğini etkilediğinden aşınmaya tesir eder. Talaş kaldırmada bu tip aşınma takım iş parçası ile temas ederken çıkan talaşın takım yüzeylerine sürtünmesi halinde gözükmektedir.

İkinci önemli aşınma tipi; birbiri üzerinde kayan yüzeylerden biri üzerine sert parçacıkların gömülmesi halinde görülmektedir. Sert parçacıklar ikinci yüzey üzerinde oyuklar açan minyatür birer takım haline gelmektedirler.

Talaş kaldırmada meydana gelen yapışmış talaş parçacıkları, talaşla taşınabilir veya takım ve işlenmiş yüze arasındaki boşluğa kaçabilirler. Bu parçacıklar olay sırasında şiddetli zorlamalara maruz kaldıkları için serttirler. Bunlar kendilerinden daha yumuşak olan yeni işlenmiş yüzeye ve çıkan talaşa gömülürler. Böylece bu parçacıklar esas takım üzerinde işaretler bırakan minyatür birer kesici takım haline gelirler ve takımı aşındırırlar. Bu iki tip aşınma genellikle beraber görünür ve birbirlerine yardım ederler. Genel olarak kesici takımlarda;

- Talaş yüzeyleri üzerinde krater aşınması (Crater wear),
- Serbest yüzey üzerinde bir aşınma şeridi (Flank wear),
- Yan kesme kenarı üzerinde yivler meydana getiren aşınmalar.

Takım, belirtilmiş bulunan aşınmalardan birinin veya diğerinin müşterek tesiriyle dayanma süresi sona erer. Bu aşınma şekillerinden serbest yüzeydeki serbest yüzey aşınması ve talaş yüzeydeki krater aşınması, takımın dayanma süresi bakımından önemli olduğundan aşağıda ayrı ayrı incelenmiştir.

Matkapla delik delmede, serbest yüzey aşınması genellikle iş parçası yüzeyini ve geometrik toleransları etkilemektedir. Oysa krater aşınması kesici takımın kırılmasına neden olabilmektedir. Her iki aşınmada sıcaklık, gerilme ve takım ile iş parçası arasındaki temas ile ilgilidir [22].

2.8. 1. Serbest yüzeydeki aşınma

Talaş kaldırma esnasında takım serbest yüzeyi belirtilmiş etkilerden dolayı serbest yüze aşınmasına maruz kalır. Aşınma şeridi veya aşınma bölgesi tabir edilen bu bölge genellikle düzenli bir görünüş arz etmez. Araştırmacılar genellikle dayanma süresi tespiti için serbest yüzey aşınmasında belli bir genişliği tespit ederler. Ancak muntazam bir görünüm arz etmeyen bu bölgede genişliklerden hangisinin kabul edilmesi hususunda mutabakat bulunmamaktadır.

Serbest yüzey aşınmasında aşınma şerit genişliğinin talaş kaldırma zaman ile değişimi, birçok araştırmacıların hedefi olmuştur. Bazı araştırmacılar içindeki kükürt miktarı değişen çelikler üzerinde sert metal ve yüksek hız çeliği takımlar kullanılarak bu çeşit takımlarda aşınma şeridinin zamanla değişimini incelemişlerdir. Buna ait farklı çelikler için grafikler tespit edilmiş, grafiklerin incelenmesinden araştırmacıların hız çeliği ve sert metal takımlar için farklı değerler elde etmekle beraber eğrilerin karakterleri bakımından yakın neticelere eriştikleri görülmektedir. Kesme zamanı aşınma şerit genişliği eğrileri üç bölgede karakterize edilmektedir.

- Başlangıçta hızlı bir aşınma veya kırılma,
- Aşınmanın büyümesi, eğri bu bölgede aşağıya doğru iç bükey bir görünüş arz eder ve bu bölgede takım sıcaklığına karşı fazla hassas değildir.
- Takımın tam harabiyete doğru gittiği ifade eden süratli bir aşınma bölgesi. Bu bölgede takım sıcaklığına karşı hassastır. Takım süratli aşınma bölgesine, yani önceden tespit edilmiş noktaya erişmeden işletmeden alınması faydalı olacaktır.

2.8. 2. Krater aşınması

Takım ömründe en etkili parametre takım aşınmasıdır. Matkap geometrileri diğer kesici takımlara oranla daha karmaşıktır. Dolayısıyla kesici uçlardaki aşınmanın belirlenmesi nispeten daha güçtür. Bu sebeple araştırmacılar birçok deneysel ve matematiksel işlemlerle aşınmayı irdelemeye çalışmışlardır. Ulaşılan sonuçlara bakıldığında delmede en ciddi aşınmalardan birisi krater aşınmasıdır [23]. Abu-Mahfouz'a göre krater aşınmasının temel nedeni; talaş yüzeyinde meydana gelen yüksek sıcaklıktır [24]. Talaş kaldırma esnasında takımın talaş yüzünde belirtilmiş bulunan aşındırıcı tesirler nedeniyle meydana gelen oyulmanın miktarını tayin edebilmek için, araştırmacılar çeşitli ölçüler kullanmışlardır. Araştırmacı, takım bu aşınma değerlerinden hangisine daha önce ulaşmışsa, onu kriter olarak takımın dayanma süresi sona ermiş bulunduğunu kabul etmiş bulunmaktadır [25].

2.8. 3. Adhezyon aşınması

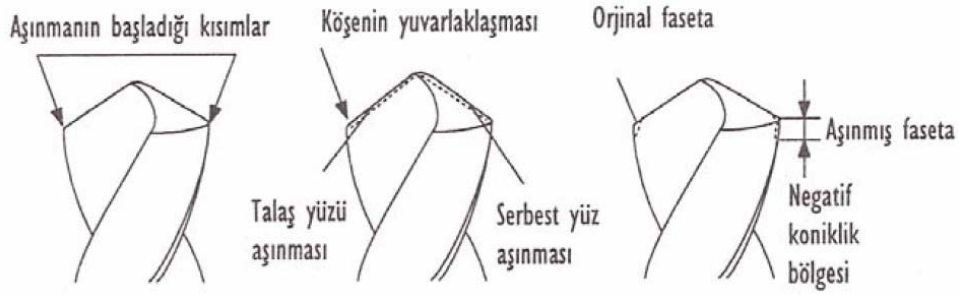
Bilindiği gibi adhezyon (yapışma), birbiri ile temas halinde çalışan iki metal parçanın birbirlerine bastırılması halinde yüzeyler yüksek noktalarda temas ederler. Bu durumda temas noktalarında çok yüksek basınçlar meydana gelir. Bu yüksek basınç nedeniyle metaller akma sınırına ulaşırlar ve temas bölgelerinde mikro-kaynaklar oluşur. Temas yüzeyleri birbirine göre bağlı olarak hareket ederlerse mikro kaynaklar kırılır. Diğer bir ifadeyle, mekanik gerilmeler sürtünme elemanı olan malzemenin akma sınırını aştığında yüzey plastik deformasyona uğramaktadır. Birbirlerinin yüzeylerinden çok ufak talaş zerrecikleri özellikle yumuşak malzemeden koparılır. Bu şekilde ortaya çıkan aşınma adhezyon aşınması olarak adlandırılır [5,26,27].

2.8.4. Abrasyon aşınması

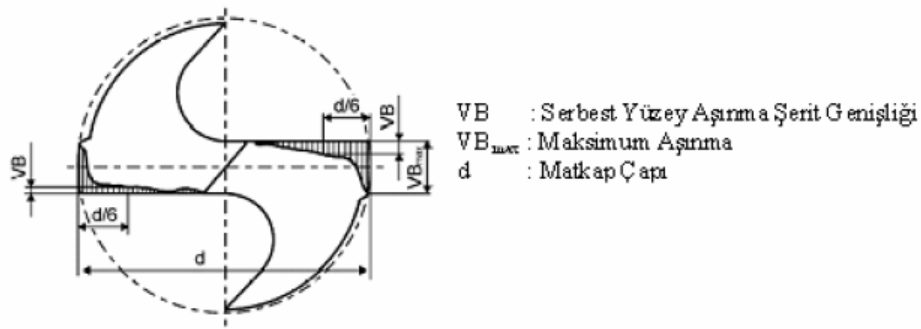
Abrasyon (sıyırma), sert malzeme (takım) iş parçasından talaş kaldırırken, talaş altındaki sert partiküllerin takım yüzeyinden geçerken mekanik hareketiyle oluşur. Bu tip aşınma muhtemelen sert parçacıklar ihtiva eden iş parçalarının işlenmesinde ve talaş kaynamasından oluşan sertleştirilmiş parçalarda ortaya çıkar. Abrasyon aşınmasını iki yumuşak yüzey arasına sert parçaların girmesiyle oluştuğunu ve boşluklu dökme demirlerin kaba işlenmesinde, sert parçacık içeren alaşımların işlenmesinde takım aşınmasının mümkün olduğu görülmüştür. Keza küçük boyutlu sert parçaların aşınma üzerine etkisi az olurken büyük sert parçacıklar abrasyon aşınma miktarını daha fazla artırır. Bu sert parçacıkların zımpara tozu gibi yüzeyler arasın kazıyıcı görevi yaparak taşlama işlemine benzer bir işlem yaparak takımı aşındırırlar. Takım ve iş parçası mikro yapı olarak sert iseler ve karbür, oksit içeriyorlarsa bu talaşlı işleme esnasında abrasyon aşınmasına neden olur [5, 26, 27,28].

2.8.5. Matkap aşınması

Matkap takımlarında aşınma, Şekil 2.10'da görüldüğü gibi, serbest yüzeylerde serbest yüzey aşınması, köşelerin yuvarlanması, kesici kenarla zırhın birleştiği noktada zırhın aşınması, krater aşınması ve keski kenar aşınması şeklinde oluşur. Genelde aşınma (Şekil 2.19), kesici kenarın zırh ile birleştiği noktada baslar, kesici ağızlar ve serbest yüzeylerde gelişir. Kesici ağızlarda aşınmanın artması, serbest yüzeylerde boşluk açısı kaybolmuş konik yüzey meydana getirir. Oluşan bu konik yüzey, serbest yüzeylerde aşınma şeritlerini (VB) temsil eder. Serbest yüzeylerdeki aşınma, kesme işleminin yerini sürtünme ve zorlamalara bırakarak ısı oluşumunu arttırır ve aşınma hızlanarak takımı köreltir [25,29].



Şekil 2.18 Helisel matkaplarda oluşan aşınma mekanizması



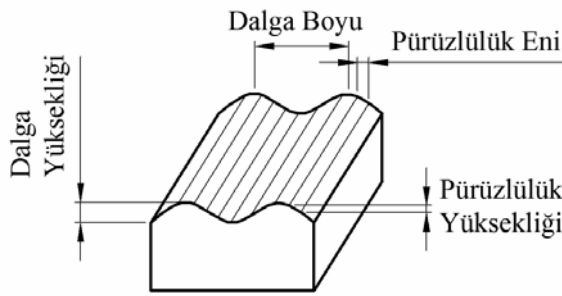
Şekil 2.19. Serbest yüzeyde oluşan aşınmanın gösterimi

Oluşan aşınma değerleri kabul edilir sınırı aştığında, delme işlemlerinde oldukça önemli olan delik geometrisi (dairesellik), boyut ve yüzey kalitesinin bozulmasına neden olur. Delme işlemlerinde kullanılan matkaplar, kesme işlemi sırasında oluşan mekanik (tork, kesme kuvvetleri), ısı, kimyasal ve abrasive (aşınma) /sürtünme yükleri karşılayabilmesi için bazı özelliklere sahip olmalıdır [29].

2.9. Delme İşlemlerinde Yüzey Pürüzlülüğü

Talaş kaldırma işleminde, tezgâha girişlerin ve tezgâha dahil diğer önemli çıkışların da dikkate alınması gerekir. Bunlar arasında kesici takım malzemeleri, işlenecek iş parçası, tezgahın kinematiği, istikrarlı olması ve ekonomikliği sayılabilir. Bunlara ilaveten, gerekli hassasiyet ve yüzey pürüzlülüğü son amacı belirlediğinden en önemli çıkış parametresidir. Son yüzeylerin çok önemli olduğu yerde özellikle makine imalatında, bitirme işlemi tamlığının her zaman dikkatle tasarlanması gereklidir [26, 30].

Talaş kaldırma ile işlenen yüzeylerde, dalga ve pürüzlülük olmak üzere iki türlü yüzey sapması meydana gelir (Şekil 2.20). Dalgalık, yüzeyin geometrik şeklini karakterize ederken, pürüzlülük yüzey kalitesini tayin eder. Standart yüzey pürüzlülüğü değerlendirme kriterleri, yüzeye dik olan bir kesitte belirli bir numune uzunluğu boyunca, belirli bir referans profiline ve profil ortalama çizgisine göre tayin edilir. Profil ortalama çizgisinin yeri, bu çizginin üstünde ve altında kalan alanların toplamı birbirine eşit olarak belirlenir [16, 30].



Şekil 2.20. Yüzey kalitesini tayin eden faktörler [31]

Yüzey pürüzlülüğü ölçümlerinde genellikle ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) dikkate alınır. Ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) gereksinimi yaklaşık olarak $1,6 \mu\text{m}$ 'nu geçtiği durumlarda çoğu zaman imalatçılar yüzey pürüzlülüğünü ölçmekten çok görsel kontrolü seçerler. Yüzey pürüzlülüğünün çok önemli olduğu durumlarda yüzey pürüzlülüğü kalite kontrolü gerekir. Bunun için uluslararası yüzey pürüzlülük standardı belirlenmiştir. Ülkemizde TS 2040 nolu yayınla yüzey kaliteleri bir standarda bağlanmıştır. Daha sonra bunu TS 2495, TS 971, TS 2578, TS 6956 ve TS 930 standartları izlemiştir [32].

Yüzey kalitesini etkileyen birçok faktör vardır. Parçanın işlenmesi sırasında takım hatalarına ve kesme sırasında meydana gelen titreşimlere bağlı olarak iş parçasında geometrik hatalar meydana gelir. Kesici takım hataları; takımın hatalı olarak yerleştirilmesi, kesici takımın kesme esnasında kesme kuvveti etkisiyle şekil değiştirmesi ve takım aşınması olarak karşımıza çıkar [31].

2.9.1. Yüzey pürüzlülüğünün ölçümü ve gösterimi

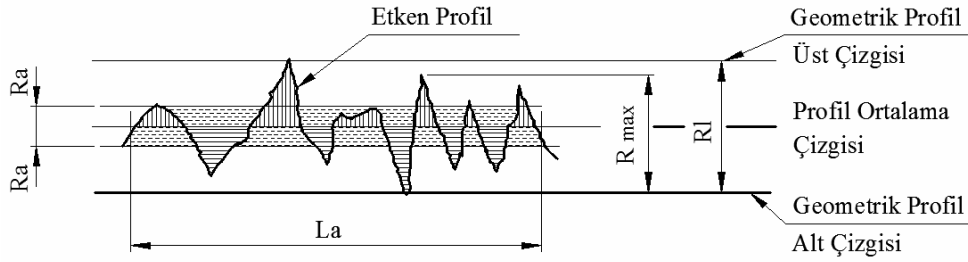
Bitirme yüzeyinin yapısı ve gösterimi ANSI standardında ve ISO 1302’de belirtildiği gibi sembollerle gösterilir. Pürüzlülük, profil ortalama çizgisinden mikron (μm) olarak ifade edilen aritmetik ortalama sapma olarak tanımlanır

2.9.2. Ortalama yüzey pürüzlülüğü, R_a

Belirli bir ölçüm uzunluğundaki (l_n) ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a), merkez çizgisinden ölçüm uzunluğuna kadar olan mesafede ölçülen yükseklik değişimlerinin mutlak değerlerinin aritmetik ortalamasıdır (Şekil 2.21). Kalite kontrolünde genelde kabul görmüş bir yüzey pürüzlülük parametresidir. Bu parametrenin tanımlanması ve ölçülmesi kolaydır. Yükseklik dağılımları hakkında genel bir tanımlama getirdiği için dalga boyu ve profildeki hassas değişimler hakkında yeterli bilgi vermez. R_a yüzey pürüzlülüğünün matematiksel tanımlaması aşağıdaki eşitlikler ile ifade edilmektedir [30].

$$R_a = \frac{1}{L} \int_0^L |x| dx \quad (3.7)$$

$$R_a = \frac{|y_1| + |y_2| + \dots + |y_n|}{n} \quad (3.8)$$

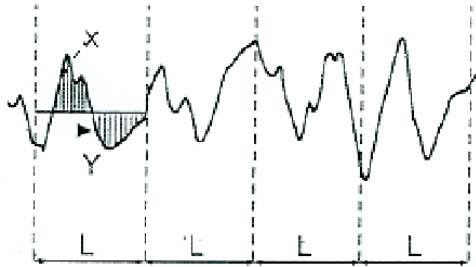


Şekil 2.21. Ortalama yüzey pürüzlülüğü, R_a [33]

Bazı kaynaklarda R_a , merkez çizgisi, ortalama veya aritmetik ortalama olarak da belirtilmektedir.

2.9.3. Prof kare ortalamalarının karekökü, R_q

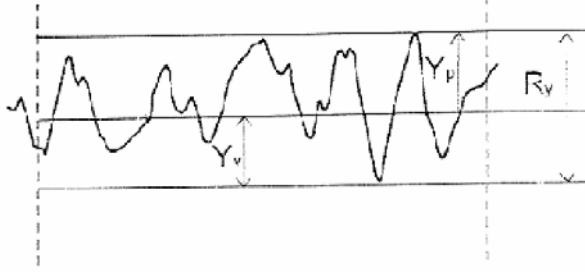
R_q , profil ortalama çizgisi ile oluşturduğu yükseklik değişim (Y_i) kare ortalamalarının karekökü olarak tanımlanmaktadır (Şekil 2.22). Bu parametre ortalama yüzey pürüzlülüğü R_a 'dan daha hassas bilgi vermektedir.



Şekil 2.22. Prof kare ortalamalarının karekökü, R_q

2.9.4. Profildeki iki noktanın yüksekliği, R_y

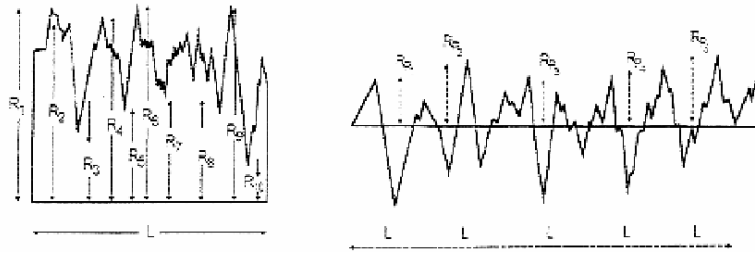
R_y , Şekil 2.23'de belirtildiği gibi ortalama çizgisine göre, üstte kalan en yüksek tepenin yüksekliği olan Y_p ile alta kalan en derin çukurun derinliği olan Y_v 'nin toplamıdır.



Şekil 2.23. Profildeki iki noktanın yüksekliği, R_y

2.9.5. Profilin maksimum yüksekliği, R_z , R_p

R_z ve R_p , Şekil 2.24’de ifade edildiği gibi profil tepe yüksekliği ve derinliklerinin her örnekleme uzunluk için değerleri toplamının, toplam örnekleme uzunluk miktarına bölünerek hesaplanır [33].



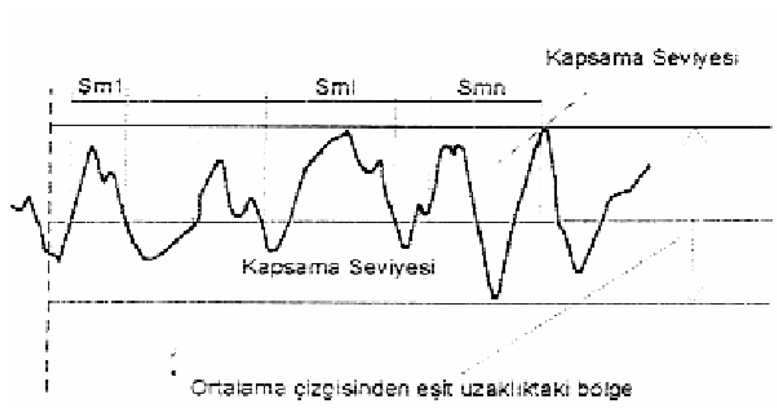
Şekil 2.24. Profilin tepe ve maksimum yükseklikleri

2.9.6. Profilin toplam yüksekliği, R_{max}

R_{max} , ölçüm uzunluğu boyunca en yüksek tepe nokta yüksekliği ile en dip nokta yükseklik toplamı olarak ifade edilmektedir.

2.9.7. Profil eleman genişlikleri ortalaması, R_{sm}

Tepe profili ve buna komşu olan vadi profillerine “profil elemanları” denir. Örnekleme uzunluğunda yer alan profil elemanlarının genişliği R_{sm} ile ifade edilmektedir (Şekil 2.25).



Şekil 2.25. Profil eleman genişlikleri ortalaması, Rsm

3. ÇELİKLER

Parçalara düşük takım aşınması ve iyi işlenebilirlik veren malzeme özellikleri şu şekilde belirtilebilir;

- Düşük akma mukavemeti ve dolayısıyla düşük iş parçası sertliğine sahip olma,
- Takım ve atmosferle düşük kimyasal reaksiyona sahip olma,
- Yüksek termal iletkenliğe sahip olma,
- Düşük kırılma tokluğuna sahip olma,
- İyi mikro yapıya sahip olmadır.

Talashlı imalat uygulamalarında işleme parametreleri seçimine göre iş parçası malzemeleri aşağıdaki şekilde gruplandırılmıştır [34].

Her türlü istenmeyen element ve bileşimlerden arındırılmış, % 1.5'den daha az karbon (C) içeren demir alaşımıdır. Farklı üretimlerle, alaşımlama ile veya uygun ısı işleme sayesinde istenilen niteliklerde çelik elde edilebilir. Yüksek dayanıma sahip olduğundan ve ucuza üretilebildiğinden imalat teknolojisinde genel kullanıma sahip bir malzemedir. Su verme ile sertleştirilebilmesi özelliği çok iyi bilinir [35].

1. Çelikler (48 HRC seviyesine kadar) (ISO P)

- Karbon çelikleri
- Alaşımlı çelikler
- Takım çelikleri

2. Paslanmaz Çelikler (ISO M)

3. Dökme Demirler (ISO K)

- Sfero (küresel) dökme demirler
- Gri dökme demirler

4. Demir Dışı Malzemeler (N)

- Bakır, pirinç, çinko
- Plastikler
- Kompozitler

- Alüminyum alaşımlar
5. Isıl Dirençli Alaşımlar (HR) veya Süper Alaşımlar (S)
- Demir esaslı ısıya dayanıklı alaşımlar
 - Kobalt esaslı ısıya dayanıklı alaşımlar
 - Nikel esaslı ısıya dayanıklı alaşımlar
 - Titanyum alaşımları
6. Sertleştirilmiş Çelik ve Demirler (48-65 HRC) (H) [34].

3.1. Takım Çelikleri Hakkında Genel Bilgi

Takım çelikleri talaşlı veya talaşsız imalatla kullanılan, sıcak veya soğuk haldeki iş parçasını kesme, dövme ve sıkıştırma yöntemlerinden biri veya birkaçı ile biçimlendiren yüksek nitelikli çeliklerdir. Takım çelikleri, şekillendirme ve kesme uygulamalarında sıcakta aşınma direncinden dolayı geliştirilmiştir. En önemli kategori soğuk iş takım çelikleridir. Soğuk iş takım çelikleri bir çok tip takım, kalıp ve diğer uygulamalarda yüksek aşınma direnci ve düşük fiyatından dolayı tercih edilir [36-38].

Takım çelikleri sahip oldukları 0,8-1,5% karbon içeriği ile Karbon Çeliği olarak ele alınır ve oldukça zor yöntemler ile üretilir. Takım çeliklerinin pek çoğu su verme ve temper ısıtıl işlemi ile yüksek sertlik elde edilebilen yüksek karbonlu çeliklerdir.

Kullanım alanları talaş kaldırma işlemleri için kesme takımlarını, döküm kalıplarını, şekillendirme kalıplarını ve yüksek dayanım, sertlik, tokluk veya yüksek sıcaklık direnci gibi özellik kombinasyonları gerektiren diğer uygulamaları içerir. Bu çelikler, metal veya metal olmayan malzemelerin değişik yöntemlerle (talaşlı, talaşsız) şekillendirilmesinde kullanılır [16-19].

3.1.1. Soğuk iş takım çelikleri

Soğuk iş çeliklerinin sertleşme kabiliyeti ve aşınmaya dayanıklılık bakımından alaşımsızlara üstünlükleri çok belirgindir. Sertleşme derinliği özellikle mangan,

krom, molibden ve nikel gibi elementlerle artırılır. Alaşımlama türü ve miktarına göre havada, yağda veya gerektiğinde sıcak banyoda su verme ile kesit sertleştirilir.

Alaşımlı soğuk iş takım çeliklerinde alaşımsız takım çeliklerine nazaran özelliklerin iyileştirilmesi amacıyla düşük ya da yüksek alaşımlama yapılır. Karbür 7 teşekkül ettirecek V, Mo, W ve Cr ile alaşımlama yapıldığında ve buna uygun ısıtıl işlem uygulandığında, dayanımın (0,2 uzama sınırı 1800-2500 Mpa arasında) yanında, özellikle sertlik ve aşınma direnci de yükselir [43].

Takımlarda abrazyon aşınması, oksitlenme veya adezyon sonucu ortaya çıkan diğer aşınma tiplerinden çok daha önemlidir. Malzemeye özgü bir büyüklük olarak tanımlanamayan aşınmanın, öncelikle iç yapı (karbür miktarı) ve sertliğe bağlı olduğunu deneyler göstermektedir. En başta kesme takımlarında kullanılan çelikler için gereken sert aşınmaya dirençli karbürler çoğunlukla krom, molibden, vanadyum ve volfram ile oluşturulur [39].

Aşınmaya dayanıklılığın artması ve soğuk kanama eğiliminin azalması, X165CrMoV12 ve 21MnCr5 gibi bazı çeliklerde ayrıca nitrürasyonla sağlanabilir. Takım malzemelerinin kullanım amacına göre seçiminde en güvenilir yol işletme deneyine başvurmaktır. Bu arada takımların davranışlarının malzeme bileşimi yanında biçim, yüzey durumu ve gördükleri ısıtıl işlemlerle de ilişkili olduğunu unutulmamalıdır [42].

Çizelge 3.1. Soğuk iş takım çeliklerinin standart gösterimleri

Malzeme No	DIN / EN Gösterim	AISI* / SAE* / ASTM
1.2379	X155CrVMo12-1	D 2
1.2080	X210CR12	D 3
1.2842	90MnCrV8	O2
1.2550	60WCrV7	S 1
1.2436	X210CrW12	D-6

1.2601	X165CrMoV12	D 5
1.2210	115CrV3	L 2
1.2767	X45NiCrMo4	6F7
1.2363	X100CrMoV5	A 2
1.2510	100MnCrW4	O1

* American Iron and Steel Institute (AISI) – Amerikan demir ve çelik Enstitüsü / Society of Automotive Engineers (SAE) – Otomotiv motor topluluğu

3.1.2. Sıcak iş takım çelikleri

İşletmede 200°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda sürekli çalışacak takımlar için kullanılan sıcak iş çeliklerinden başlıca şu özellikler beklenir.

- Yüksek sıcaklık dayanımı özellikle molibden, volfram ve vanadyum ile elde edilir.
- Temper kararlılığını sağlayan krom ayrıca molibden, nikel ve manganla birlikte sertleşme kabiliyetini de artırır.
- Yüksek sıcaklıklarda aşınmaya dayanıklılık ana kütlenin (matrisin) yüksek sıcaklık dayanımı ile özel karbürlerin tür ve miktarına bağlıdır.

Alaşımli olan bu çeliklerdeki kararlı özel karbürlerin çözünmesi yüksek sertleştirme sıcaklıklarını gerektirir. Isıtma hızını düşük tutmak için, sertleştirme sıcaklığına kademeli olarak çıkmak daha uygundur. Temperleme, işletme sıcaklığının yaklaşık 100 °C üstünde yapılır.

Yüzey sertliğini artırmak ve sürtünme katsayısını küçültmek amacıyla sıcak iş çelikleri sert krom kaplanabilir. Aşınma ve yapışma eğilimi nitrürleme ile giderilebilir [42].

3.1.3. Yüksek hız çelikleri (HSS- Yüksek Hız Çeliği)

Takım ağız kızaracak ölçüde yüksek kesme hızlarında dahi talaş kaldıracak, yani bu koşullara rağmen yüksek sıcaklık sertliğini büyük oranda ve uzun süre koruyan

malzemelerdir. Söz konusu özelliklerin malzemeye kazandırılabilmesi için belirli alaşım elementlerinin katılması, özenli erime (elektrik ocağı), karbürlerin homojen dağılımını sağlayacak şekilde sıcak haddeleme ve kullanıcı tarafından malzemeye uygun bir ısıtım işlem programının gerçekleştirilmesi zorunludur.

Yüksek hız çeliklerinin kızıl sıcaklıkta bile çok iyi olması, içyapılarında öncelikle volfram, krom, molibden, vanadyum elementlerinin oluşturduğu özel karbürlerin büyük miktarda bulunmasından ileri gelir. Yumuşatılmış durumdaki kararlı karbürlerin su vermeden önce yeteri kadar çözünmesi gerektiğinden, östenitlenme sıcaklığı solidüs çizgisinin hemen altında (1200 °C...1300 °C) seçilir. Öte yandan tane irileşmesine yol açmamak için sıcaklık ve tutma süresine kesin şekilde uyulmalıdır. Çarpılma ve çatlamayı önlemek üzere, bu malzemeler iki veya üç kademedeki ve çoğunlukla tuz banyosunda ısıtılırlar. Sertleştirmeden sonra çeliğin içyapısı yaklaşık % 70 martenzit, %10 karbür ve %20 artık östenitten meydana gelir. 550°C dolayında yapılan temperleme ile önceden çözünmüş olan özel karbürlerin yeniden oluşturulup ince dağılmış biçimde çökeltilmesi sertlikte büyük artış sağlar (ikincil sertleşme). Temperlenen martenzitin ferrit ve Fe₃C benzeri karışık karbürlere ayrışması sertlik düşüşüne neden olurken, çökeltme ile elde edilen bu sertlik kazancı yüksek hız çeliklerine özgü temper davranışını ortaya çıkarır [39].

4. LİTERATÜR TARAMASI

4.1. Soğuk İş Takım Çeliği İle Yapılan İşlenebilirlik Çalışmaları

25-600 C° aralığındaki aşınma deneylerini farklı koşullarda kaplanan nitrürlenmemiş, nitrürlenmiş ve PAPVD yoluyla kaplanmış TiN ve TiAlN ile D2 takım çeliği üzerine M.H. Staia ve arkadaşları uygulamıştır. Sonuçlar nitrür kaplama ile D2 takım çeliği arasındaki tabaka arasındaki bu iki film TiN %97 ve TiAlN %99 oranında 300 C° test sıcaklığındaki aşınma davranışının gelişmesine sebep olduğunu göstermiştir. Ancak 600 C° sıcaklığında, oksidasyon kaplamaların yanı sıra, alt tabakanın mekanik sertliğinin azalması kırılmalara ve filmlerin tabakalar halinde dizilimine sebep olmuştur. Bu sıcaklıkta kaplamadan etkilenmemiş tabaka kayarak aşınmaya yüksek direnç göstermiştir. Sürtünme katsayısında önemli azalmaya sebep olarak iyi bir cam katmanla bağlanmış şekil vermenin sebep olduğu söylenebilir. Kaplama sistemleri ve nitrür kaplamalı çelik ile yapılan çentik deneyleri PAPVD kaplama öncesi D2 takım çeliğine uygulanan nitrürleme işleminin, oda sıcaklığında kaplama yönteminin çentik yüküne dayanabilme kabiliyetinin geliştirilmesine katkıda bulunduğunu göstermiştir. Bu konuda TiAlN kaplama yöntemi TiN kaplama yönteminden daha iyi davranış göstermiştir. Deneysel işlemde, malzemenin çapraz kesiti, sadece örnek yüzeylerden alınan serlik ölçümleri, farklı çentik yükleri uygulanması ile nitrürlenmiş takım çeliğinin sertlik profilinin ortaya koyulması amaçlanmıştır [44].

Farklı taşlama şartlarında AISI D2 çelik yüzeyini değerlendiren bir çalışmada iki deney seti kurulmuş olup, B. B. Fathallah ve arkadaşları tarafından birinci düzenekte geleneksek taşlama (GTT) testi, ikinci düzenekte ise yüksek hız işleme testi yapılmıştır (YHT). GTT aşınmanın iki farklı türü (alüminyum oksit ve sol-gel alümina) ve iki soğutma modu (yağ-temelli taşlama akışı ve kriyojenik soğutma) $V_s=22$ m/s hızındaki YHT taşda, elektroliz ile kaplı CBN taş ile 60-260 m/s hızında test edilmiştir. Deneysel çalışmalarda ve AISI D2'nin taşlanabilirliği çeliğin yüzey düzlemselliğinin önemli ölçüde sol-gel taş ve alüminyum oksit ve yağ-temelli

soğutma akışı ve taşıma şarlarında kullanılan sıvı nitrojen soğutma ile geliştirildiğini göstermiştir [45].

Düşük enerjili yüksek akımla iletilmiş elektron demeti (LEHCPEB) ile şekillendirilmiş çeliğin hızlı katılaşmış katmanının çapraz kesitinde yapılan detaylı analiz işlemi J.X. Zou ve arkadaşları tarafından başarıyla gerçekleştirilmiştir. Elektron geri dağılım kınımı (EBS) ölçümü sonucu mikro yapı ve faz bileşenlerinin ısıdan etkilenmiş alan ve erimiş tabaka boyunca ani bir şekilde değiştiğini göstermiştir. Böyle sınıflandırılmış mikro yapının tam doğası sayısız çarpmalar sonucunda da değişmiştir. Faz dönüşümü farklı derinlikte ve alanda (karbürlerden uzak ya da yakın) farklılık göstermiştir. LEHCPEB işleminin neden olduğu faz dönüşümü yüzey katmanlarında sıcaklık ve kompozisyon aralıklarında belirlenmiştir [46].

Takım çeliklerinin aşınma direncinde iyileşme sağlanması için D. Das ve arkadaşları kriyojenik işlemin yararının keşifi için güncel bir araştırma yapmışlardır. Aşınma deney serileri farklı süreler için 77 °K de kriyojenik işleme tabi AISI D2 çelik numuneler üzerinde yapılmıştır. Farklı yük ve kayma hızları, yıpranmış yüzeylerin biçimleri ve aşınma kalıntılarının özelliklerine, sistematik olarak iyi aşınma direnci özelliği elde etmek için kriyojenik işlemin en uygun süresini değerlendirmek amacıyla incelemeler yapılmıştır. Aşınma deneyleri detaylı mikro yapı incelemeleri ile kalıntı östenit miktarını ortaya çıkarmak ve sertlik değerlendirmesi dışındaki ikincil karbür tanecikleri özellikleri ile desteklenmiştir. Sonuçlar açıkça kriyojenik işlem ile AISID2 çelik için en iyi aşınma direncini elde etmek için var olan kritik bekleme süresini ortaya koymuştur. Bu malzemenin aşınma direncini sağlayan ince karbür parçacıklarının ve bunların olası büyümesinin, çökmesinin doğası tarafından açıklanmıştır. Bu açıklama ikincil karbürlerin sınıflandırılmasını desteklemek için yeni bir yaklaşımdır [47].

Ti-Al-Si-N filmleri bir karma kaplama sistemi tarafından uygulanan WC-Co üzerinde birikintidir. Sentezlenmiş Ti-Al-Si-N filmlerin katı-solüsyonlu (Ti, Al, Si) N kristallerinin ve XRD ve HRTEM gibi enstrümantal analizler ile şekilsiz

Si₃N₄'nin bileşimleri olduğunu Y.K. Jeong ve arkadaşları ortaya çıkarmıştır. En yüksek mikro sertlik değeri (50 GPa) olan bir (Ti, Al, Si) N/a-Si₃N₄ 'in nano kompoziti ile karakterize edilen mikro yapı da % 9 oranında Si içeren Ti-Al-Si-N film elde edildi. Ti-Al-Si-N kaplı takımın ömrü, 62 HRC sertliğindeki AISI D2 çeliği üzerinde yüksek hızlı işleme merkezi kullanarak çeşitli kesme hızlarında çalışılarak araştırıldı [48].

62 HRC sertliğindeki soğuk iş takım çeliği M.C. Kang ve arkadaşları AISI D2'nin yüksek hızlı işleme merkezinde akışkan soğutucu (ıslak) kullanarak, kuru ve minimum miktarda yağlama (MQL) şartlarında karma kaplama yöntemi ile Ti_{0.69}Al_{0.23}Si_{0.08}N ve Ti_{0.75}Al_{0.25}N kaplamalı parmak frezenin takım performansının karşılaştırılmasını araştırmışlardır. Süper sert Ti-Al-Si-N filmleri, nano büyüklükteki Ti,Al,Si-N kristalleri bir nano bileşen olarak Si₃N₄ matrisine gömülmüştür. Püskürtme ve yay iyon kaplama (AIP) bir karma kaplama sistemi ile uygulanan WC-Co üzerine başarı ile sentezlenmiştir. Ti-Al-Si-N film sertliği %8 Si içeriği oranında maksimum değer olan ~48 GPa'a ulaşmıştır. Kaplanmış takımın takım ömrü değerleri dik işleme merkezinden (Makino, V-55) yaralanarak yüksek hızlı kesme şartlarında arttırılmıştır. Bu sonuç endüstriyel uygulamalar için yüksek sertleştirilmiş malzemelerin yüksek hızlı işlemede işlenebilirliğini kanıtlamaktadır [49].

Takım çelikleri ve sıcak haddeleme sırasında yüzey çatlaklarının oluşum nedenlerini ortaya koymak amacı ile M. Terc'elj ve arkadaşları çeşitli araştırmalar yapmışlardır. Termo-mekanik işleme parametrelerinden farklı olarak bilinen takım çeliğin kimyasal bileşimi, bu yüzey çatlaklarının oluşumu üzerinde büyük etkisinin olduğu anlaşılmıştır. Çeşitli çelik türlerinin sıcak deformasyon (yüzey çatlaklarının görünümünü) üzerinde yapılan incelemelerin çoğu şimdiye kadar yapılan veritabanları laboratuvar deneylerine dayanan yüzey çatlaklarının oluşumunda kimyasal elementlerin az etkisinin olduğu çalışılarak belirlenmiştir. Bu çalışmada AISI D2 takım çeliği ve sıcak haddeleme sırasında çatlak oluşumunu analiz ederek, sıcak işlenebilirlik çalışmalarına yeni bir yaklaşım getirilmektedir. Veritabanı bir endüstriyel haddeleme sürecinde haddeleme malzemesinin çatlama yüzeyinden ve

kimyasal bileşiminden elde edilen sonuçlarına göre kuruldu. Konumsal etki analizi ve manganez ile sülfür, bakır kalay alüminyum vb. karbon ve karbür yapıcı elementlerin etkisinin analizi, CAE sinir ağları ile yapıldı. Analizin sonuçları etkilerin anlaşılmasına yeni bir yaklaşım ortaya koymuştur. Eğer elementlerin kimyasal kompozisyonu tam olarak tespit edilirse yüzey çatlama miktarlarının azaltılmasını sağlayabilecektir [50].

AISI D2 takım çeliği genellikle birden çok temperleme döngülerini takiben vakum sertleştirme yoluyla Henrik ve arkadaşları işlemine tabi tutmuştur. Sertleştirme ve temperleme işlemleri ile derin bir soğutma işlemi arasında işleme süresinin azaltılabileceğini ve son özellikleri ile boyutsal istikrarının geliştirebileceğini öne sürmüşlerdir. Sertleştirilmiş bloklar tekli ve çoklu tavlama adımlarının çeşitli kombinasyonlarına (520 ve 540 Co) ve derin soğutma işlemlerine (-90 -120 ve -150 Co) tabi tutuldu. En iyi boyutsal stabilite en düşük sıcaklıkta uygulanan derin soğutma işlemleri ile sağlandı [51].

Takımın kesici ucunun tasarımı tornalamanın bitiş pasosunda yüzey kalitesini ve verimliliğini etkiler. AISI D2 (60HRC) çeliğinin son paso tornalamasında seramik silici tasarımlı uç kullanılarak yüzey kalitesi ve takımın yan aşınması araştırılmıştır. Çoklu doğrusal regresyon modelleri ve ağ modelleri yüzey pürüzlülüğü ve takım yüzey aşınması tahmin için geliştirilmiştir. Sinir ağı modeli; ölçülen kuvvetleri ve güçleri eğitim algoritması olarak kullanmaktadır. Özel ve arkadaşları, deneysel sonuçlar yüzey pürüzlülük değerlerinin Ra 0.18-0.20 mikron gibi düşük değerlere silici takımlarla ulaşılabilceğini göstermiştir. Takım yan aşınma sıcaklığının yükselmesiyle yüksek kesme hızında 15 dk ve VBC = 0.15mm ile kritik takım ömrü değerine ulaşır. Sinir ağı tabanlı yüzey pürüzlülük ve takım yan aşınma tahminleri gerçekleştirilmiş ve işlenmemiş deney verileriyle karşılaştırılmıştır. Bu sonuçlar bir dizi kesme şartları için yüzey pürüzlülük ve takım aşınma tahminleri için yapay sinir ağı modelinin uygun olduğunu göstermiştir [52].

4.2. Delinebilirlik İle İlgili Çalışmalar

Bu çalışma gerekli geometriyi oluşturmak için taşlanarak sinterlenmiş karbürü yeni bir termal sürtünmeli matkap geliştirmeyi amaçlamaktadır. Östenit (AISI 304) çeliğe delme işlemi uygulanmıştır. Taguchi metodunu, matkap şekli, sürtünme açısı, sürtünme temas alanı, devir sayısı, ilerleme hızı gibi farklı parametrelerin nasıl etkileyeceğini bulmak için Han-Ming Chow uyguladı. Delme sürtünmesi için en iyi delme parametreleri elde edildikten sonra takımın en uygun geometrik şekli ve sürtünme temas alanı deneyler için seçildi. Sürtünmeli matkabın performansı, Tungsten karbür (WC) helisel ile karşılaştırıldı. Sonuçlar WC helisel matkapta delinen üç delikten sonra ciddi hasar olduğunu gösterdi. Ancak sürtünmeli matkap AISI 304 normal işleme ile 60 delik delebildiğini ve çok az matkap aşınması oluştuğunu ortaya koydu. Bu yüzden sürtünmeli matkabın performansı WC matkaptan daha üstündür [53].

Burgulu matkaplar kullanılarak derin ve küçük kör delikler en zor metal kesme işlemlerinden biri olarak kabul edilmelidir. Bunların birçok nedeni vardır, kesme sıvısının dışarıdan sağlanması bunlardan biridir. En az yağlama ile kaplamalı ve kaplamasız 1,5 mm çapındaki yüksek hız helisel matkap türlerinin takım ömrüne etkisini araştırır. Derin delikler sade karbonlu çelikler üzerine 10 defa delinerek uygulanmıştır. Derin delmede MQL'ye alternatif olarak kuru işlemenin yapılabilirliği de araştırılmıştır. Bu çalışma R. Heinemann'ın çalışmaları sonucunda en az yağlama miktarının sürekli sağlanması ile kesintili yağlamanın sağlanmasının özellikle ısıya duyarlı matkapların kullanımında, takım ömründe belirgin bir azalma sağladığını göstermiştir. En düşük miktarda yağlama ile yüksek soğutma kapasiteli düşük viskozite özellikle uzun takım ömrüne yol açtı. Aynı zamanda takım ömrünün azalmasının nedeni denenilen helisel matkabın çoğunda takım aşınmasının hızlı bir şekilde artmasıyla alakalı olduğunu göstermiştir [54].

Delme, havacılık sanayisinde en önemli süreçlerden biri ve genellikle son operasyondur. Diğer işleme süreçlerinin tam tersine süper alaşımların delinmesi ile ilgili oldukça az sayıda yayın vardır. Asıl sonuç piyasada bulunan matkaplardan elde

edilen yüzey kalitesinin havacılık endüstrisi ihtiyaçlarını karşılayacak yeterlilikte olamamasıdır. Bu yüzden ikinci bir işleme gerek duyulmuştur. Standart freze takımıyla delik delme ile verimliliğin arttırılması ve raybalamaya kıyasla maliyetlerin azaltılması potansiyeline sahip olduğu görülüyor. Inconel 718 delinirken düz veya iç bükey keskin kenarlı ve sivri kenarlı matkaplar kavisli kesme kenarlı matkaplara göre daha iyi performansa sahip olduğu A.R.C. Sharman'ın çalışmaları ile ortaya konmuştur [55].

Delme bir talaş kaldırma işlemidir ve uygulama öncesinde son imalat aşaması için önemlidir. Bu çalışmada S. Basavarajappa karma matrisli kompozitin ((MMCs)-Al2219/15SiCp ve Al2219/15SiCp-3Gr) delme özelliklerine kesme parametrelerinin etkisini araştırmıştır. Kompozitler döküm yöntemi kullanılarak üretilmiştir. Deneylerin Taguchi tasarımı ve (ANOVA) varyans analizi ile bu kompozitlerin delme özelliklerinin analizini yapılmıştır. Dene, 5 mm çapında çok yüzölçü katı karbür matkap kullanarak çapak yüksekliği, bitiş yüzeyi, devir sayısı kesme hızının kesme kuvvetlerine etkisini araştırmak için yapıldı. Bağımlı değişkenler her iki kompozitte de hız yerine ilerlemenin daha etkili olduğunu göstermiştir. Seramik-grafit ile güçlendirilmiş kompozitler SiCp ile güçlendirilmiş kompozitten daha iyi işlenebilmiştir [56].

Bu çalışma da kaplamasız WC/Co ve TiAlN-PVD kaplı karbür helisel matkabın Ti-6Al4V titanyum alaşımının delinebilirlik performansı araştırılmıştır. Soğutma kullanılarak delinirken deliğin son yüzeyi, takım ömrü ve takım aşınması üzerinde kesme hızının etkileri S. Sharif tarafından yapılan çalışmalar sonucunda belirlendi. Sonuçlar düzgün olmayan yüzey aşınması, yıkıcı hataya takım hatalarının baskın modellerine hem kaplamalı hem de kaplamasız takımlarda rastlanmıştır. Test edilen tüm kesme hızlarında TiAlN kaplı matkabın yüzey kalitesi ve takım aşınması açısından kaplamasız matkabın gerisinde kaldığı bulunmuştur. TiAlN kaplamalı matkap için en yüksek takım ömrü 25 m/dk en düşük kesme hızı ve 0.06 mm/dev ilerlemede 25 deliği 7.8 dk da kaydedilmiştir. Kesme hızının etkisi kaplamasız matkabın performansına tüm kesme hızlarında takım ömründe daha az etkilidir [57].

Delmede sürekli sargı talaşın oluşumu genellikle talaş boşaltma sorununa yol açar. Bu makalede Feng Ke, sürekli (spiral talaş ve tel talaş) talaş oluşum sürecini araştırmıştır. Talaş kaldırma hareketleri ve kuvvetleri analiz edilmiştir. Sırasıyla spiral ve tel talaş oluşum tahmin modelleri geliştirilmiştir. Kanal sapma ve kesme kenarında talaş oluşumu nedeni ile bükülme seviyesine göre ortalama talaş uzunluğunda kanal helis açısı ve nokta açısı ile ilişkisi araştırılmıştır. Delme deneyleri spiral ve tel talaş için talaş uzunluğun her iki modelle de tahminini doğrulamıştır [58].

TiB₂ bazlı kaplamalar Al alaşım mekanizması kullanılarak takımların performanslarının geliştirilmesini etkili olarak desteklemiştir. Bu çalışmada N. Wain bu tür kaplamalar yüksek hızlı çelik matkaplar üzerine dengesiz magretron püskürtme iyon tabaka kapalı alan ile biriktirmiştir. Dahası küçük sürtünmeli Graphit-iC ve Dymon-iC veya MoST kaplama ile kaplandı ve diğerleri kaplanmadan bırakıldı. Bunlar otomotiv alaşımı olan Al-Si' nin kuru şartlarda delinmesinde test edildi. Sonuçlar tüm kaplamalar, kaplamasız takımlar üzerine önemli iyileştirmeler sağlarken, en iyi sonuçları Graphit-iC kaplama ile elde edildi. Hava soğutmalı şartlarda TiB₂ kaplamalı takımlarla karşılaştırıldığında bu kaplama %400'ün üzerinde takım ömrünü geliştirmiştir. Buna benzer bir sonuç normalden daha küçük deliklerin sayısını da azaltmıştır [59].

Bu çalışma Ti-6Al-4V alaşımının kuru delinmesinde iş parçasının yüzey doğrusalılığı ve deliklerin kalitesi, takım aşınmasının değişiminin kombine çalışmasına odaklanmıştır. Takım aşınmaları optik mikroskop ve SEM - EDS tekniği ile çalışılmıştır. Delik kalitesi geometrik doğruluk ve çapak oluşumu açısından tahmin edilmiştir. Yüzey düzlemselliği yüzey pürüzlülüğü, metalurjik değişimler ve mikro sertlik testleri çalışmalarını içermektedir. Cantero ve arkadaşları [60], takım ömrünün bitiminde yıkıcı hatlara ulaştı, fakat önemli aşınma değerlerine daha öncesinde ulaşılmıştır.

Otomotiv, uçak ve tren şirketleri Al metal matris kompozit (MMC) gibi hafif yüksek mukavemetli alaşımlar ile mekanik bileşenlerde çelik ve dökme demirin

değiştirilmesine ihtiyaç duyuyor. Metal matris kompozitler parçacıkların üstün mekanik ve termal özelliklerine rağmen, onların kötü işlenebilirlik metal parçaların onların ikamesi için ana caydırıcıdır. Onların kötü işlenebilirliği metal parçaların temel sorunudur. İşleme bir talaş kaldırma işlemidir ve bu yüzden uygulama öncesinde son üretim aşaması önemlidir. Bu nedenle etkili işleme metodunun geliştirilmesi, bileşenlerin toplam maliyeti azaltmaya neden olması henüz çözülmesi gereken önemli sorunlardan biridir. Bu çalışmada %17 SiC partikülleri ile güçlendirilmiş 2124 Al alaşımının yaşlanmanın ve matkabın noktasal açısının matkap türünün delinebilirlik performansı üzerinde etkisi Tosun tarafından deneysel olarak araştırılmıştır. İş parçası dört farklı ısıtma işlem ve eriyik olarak ele alınarak delindi. Deneysel çalışmalar farklı kesme hızı, devir sayısı ve matkap açıları ile yapılmıştır. Delme deneyleri yüksek hız çeliği (HSS), TiN kaplı HSS ve Karbür matkaplar kullanılarak yapılmıştır. Deneylerde 5 mm çapında matkaplar kullanıldı. Deneysel sonuçları delme operasyonları ile alt yüzeyine zarar veren takım uç açısının etkisi farklı matkap tipiyle değiştirildi [61].

Delmedeki çapak, ürün kalitesinde önemli rol oynar dolayısıyla üretim esnasında bu çapak oluşumunu en aza indirmek gereklidir. Gaitonde ve arkadaşları [62], matkap geometrisi ve kesme şartları tarafından etkilenen çapak kalınlığı ve çapak yüksekliğinin eş zamanlı azaltılması için Taguchi optimizasyon uygulamasını ortaya koyuyor. Delik optimizasyon problemi için Taguchi tasarım yaklaşımı üye fonksiyonlarını kullanan çoklu performans hedefine bağlıdır. Bu çalışmada, AISI 316L paslanmaz çelik parçanın delinmesi boyunca devir sayısı, kesme hızı, uç açısı, kenar boşluk açısı, çapak kalınlığı ve çapak yüksekliğini en aza indirmek için matkabın çapı belirlenmiştir.

HSS helisel matkap kullanılarak AISI 316L paslanmaz çeliğin delinmesinde çapak büyüklüğünü en aza indirmek için Gaitonde, genetik algoritma (GA) uygulamalarını çalışmıştır. Deneyler merkezi bir kompozit döner tasarıma uygun olarak planlandı. Çapak yüksekliği ve kalınlığı için ikinci derece matematiksel modeller, parametreleri etkileyerek kenar boşluk açısı, uç açısı, çap, matkap, ilerleme ve devir sayısı ile tepki yüzey yöntemi (RSM) kullanarak geliştirildi. Gelişmiş RSM modelleri, belirli bir

delme çapı için en uygun işlem parametrelerini belirlemek için minimum çapak yüksekliği ve kalınlığı ile sonuçlanan optimum doğal genetik ve seçime dayalı arama algoritması olan GA ile çalışır. Simülasyon sonuçları uç açısı ve kesme hızının çapak boyutunu en aza indirilmesinde önemli etkileri olduğunu göstermiştir [63].

Karbon çeliklerinin yüksek hızda kuru delik konfigürasyonunda M2 HSS matkapların takım ömrü ve aşınma direnci üzerinde derin kriyojenik işlemin etkisi araştırıldı. Deneylerin sonucunda V. Firouzdor sırasıyla kriyojenik işlem görmüş ve kriyojenik-temper işlemi görmüş matkaplarda %70 ve %126 iyileşme tespit etti [64].

4.3. Kaplamalı WC Takımlarla İle İlgili Çalışmalar

Bu çalışma akım eğilimi ve süre eğilimi gibi çeşitli işleme parametrelerinde elektrik boşaltım işlemi (EDM) ile oluşan AISI D2 takım çeliğinin yorulma ömrü üzerine fiziksel buhar biriktirme (PVD) ile titanyum nitrür (TiN) kaplamanın etkisini araştırır. Yüzey sertliği, yüzey pürüzlülüğü, kalıntı gerilme ve yorulma dayanımı ölçüldü. Deneysel sonuçlar EDM işleminin yorulma ömrü üzerinde zararlı bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. EDM numuneleri, TiN kaplamalar ile büyük ölçüde daha iyi bir yüzey sertliği artışı, yüzey kalitesi ve kalıntı gerilmede azalma sergiledi. Ayrıca yorulma sınırlarını arttırmıştır. Guu, TiN kaplama elektrik boşaltım işlemi (EDM) ile oluşan takım çeliklerin yorulma dayanımlarını geliştirmek için etkili bir yöntem olarak tavsiye ediyor [65].

Bu çalışma vida başı oluşturmak için kullanılan AISI M2 takımların PVD ve CVD TiN kaplama ile aşınma miktarını araştırır. Sürtünme testleri takım yüzeyindeki bozulmalar nedeniyle temas yüzeyindeki sürtünme şartlarının değiştiğini göstermektedir. M. Dubar vida başı dövmesinin üretiminin geliştirilmesi için CVD kullanımını zorunlu kıldığını göstermiştir [66].

Titanyum nitrür (TiN) ve titanyum karbon nitrür (TiCN) sert kaplamalar yüksek sertlikleri, aşınma dirençleri ve düşük sürtünme katsayıları sayesinde kesici takımlarda yaygın olarak kullanılırlar. Wen-Chou Chen'in amacı JIS SUS 304

paslanmaz çeliğin delinmesinde farklı kaplamalı helisel matkapların ömrü ve kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması araştırmaktır. Deneysel sonuçlar TiN çok katmanlı matkap yüzeyinin farklı delme şartları altında daha iyi performans sağladığını göstermiştir. Kesme kuvvetlerinin ve matkap ömrü üzerine kaplama malzemesinin, kaplama katmanının ve delme şartlarının etkisini de tartışmıştır [67].

PVD TiAlN kaplama özellikle yüksek oksidasyon direnci sayesinde 10 yıldır biliniyor. Bu özel özelliği kuru kesme işlemlerinde bu kaplamaların tercih edilmesinin bir sebebidir. Smith, laboratuvar ve endüstriyel ölçekli kuru delme deneyleri dökme demir GG25 de yapılmıştır. 60 m/dk kesme hızında delinirken ADX matkabın ömrünü iki katına çıkararak yüzey pürüzlülüğünü azaltmıştır. Karbon katılarak ömür iki katına çıkarılmıştır. Endüstriyel ve profesyonel delme testlerinde yeni yumuşak TiAlN kaplı matkaplar açık bir şekilde sadece ark kaplamalı takımların çoğunda bunu gerçekleştirmiştir [68].

TiAlN yüksek hızlı üretim işlemlerinde çok popüler bir kaplamadır. Bu nedenle bu tür kaplamaların dayanıklılığı ile ilgili araştırmalarla geliştirme önemlidir. TiAlN esaslı kaplamaların tasarımı ve üretimi Al, Ti veya Cu gibi düşük elastik modüllü metallerin katmanlarıyla kesme verimliliğinin artırılmasına katkıda bulunabilir. Farklı periyotlu TiAlN ile 80 nano mikron kalınlıklı katmanlar şeklinde püskürtüldü. Genel olarak sertlik ve çok katmanlı kaplamanın Young modülü düşük değere sahiptir fakat TiAlN kaplama ile H/E arasında benzer ilişkiler vardır. Ancak Castanho, Al ve Cu ya dayanan çok katmanlı H^2/E oranında önemli düşüş olduğunu tespit etmiştir [69].

Sürtünme delme, plastik deformasyon sürecinde vida gibi bağlantı kolu için takım ve ince iş parçası arasındaki sürtünmeyi üreten ısı kullanır. Bu süreçte talaş çıkmaz, delik delmek için gerekli süre kısılır ve daha az takım aşınmasına maruz kalır. Bu yüzden takımın ömrünü uzar. Shin Min Lee, kaplamalı ve kaplamasız tungsten karbür matkap ile yüksek sünekliğe, düşük ısı iletkenliğine ve büyük bir sertliğe sahip olduğu bilinen AISI 304 paslanmaz çelik delmiştir. Deneyler kaplamanın yağlama etkisi ve AlCrN'nin düşük termal iletkenliği AlCrN kaplamalı matkabın

yüksek yüzey ısısına sebep olduğunu göstermiştir. Fakat düşük takım aşınması ile düşük eksensel itme kuvvetini de ortaya koymuştur [70].

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin delinmesinde TiN, TiAlN, Fire ile delinmesinde farklı kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü, delik kalitesi ve talaş oluşumu üzerindeki etkisi incelenerek en uygun kesme parametrelerinin bulunması amaçlanmıştır.

5.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler

Deneylerde imalatla yaygın olarak kullanılan ve piyasada kalıp çeliği olarak bilinen AISI D2 (DIN 1.2379) soğuk iş takım çeliği kullanılmıştır. Yapılan deneylerin sonuçların daha doğru analiz edilebilmesi için malzemenin spektra ve sertlik ölçümleri Karaman Döküm Sanayi Ve Ticaret Ltd.Şti.'de yapılmıştır.



Resim 5.1. OBLF Spectrometer GS 100 marka spektra analiz cihazı

Spektra ölçümleri OBLF SPECTROMETER GS 100' cihazında yapılmıştır. Malzemeye ait kimyasal bileşimler Çizelge 5.1 gösterilmiştir.

Çizelge 5.1. AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin kimyasal bileşimi

%C	%Si	%Mn	%Cr	%Ni	%Mo	%V
1,003	0,134	0,271	11,88	0,193	0,693	0,713

Sertlik ölçümleri Bulut Makine HB-3000B marka sertlik ölçüm cihazında yapılmıştır. Sertlik değeri 21 HRc olarak ölçülmüştür.

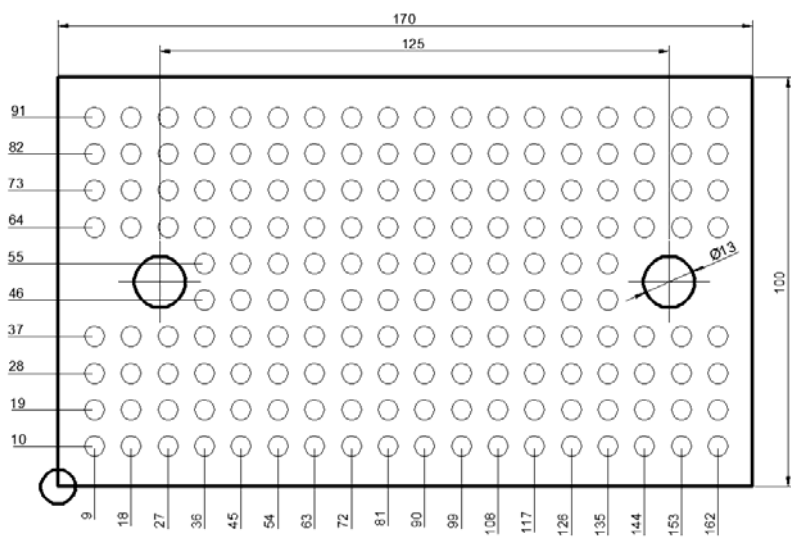


Resim 5.2. Bulut Makine HB-3000B marka sertlik ölçüm cihazı

Sertlik ölçümü malzeme üzerinden 5 farklı alandan yapılan ölçümlerin ortalama değeri alınarak yapılmıştır.

5.2. Deney Numuneleri

Dinamometreye bağlanabilmesi için deney numunesi 170x100x12mm ölçülerinde kesilerek, eksenler arası 125 mm, çapı 13mm olan iki bağlama deliği delinerek taşlanmıştır. Delinen delik etrafındaki sertlik dağılımı göz önüne alınarak, deliklerin parça üzerine yerleştirilmesinde mümkün olduğu kadar birbiri ile uzaklığının eşit olmasına dikkat edilmiştir. Böylece delme sırasında ısının mümkün olduğu kadar eşit şartlarda dağılması hedeflenmiştir. Delik çapı 5 mm olarak belirlenmiştir. Delme işleminde optimum sonuçlar elde etmek amacıyla delme boyu, delik çapının üç katı yada üç katından daha düşük olması şartına uymak amacı ile 8 mm olarak seçilmiştir [7,71].



Şekil 5.1. AISI D2 deney malzemesinin boyutları

Deney numunesi Şekil 5.1'deki ölçülere getirilerek dinamometreye bağlanacak duruma getirilmiştir.

5.3. Deneyde Kullanılan Takım Tezgâhı

Deneyisel çalışmalar Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine eğitimi Bölümü Talaşlı Üretim Anabilim Dalı atelyesine ait Johnford VMC-550 marka CNC dik işleme merkezinde yapılmıştır. Tezgaha ait özellikler Çizelge 5.2'de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Johnford VMC-550 CNC teknik özellikler

Tezgah gücü	10 KW
Maksimum devir sayısı	8000 dev/dk
x, y, z eksen	600x500x600 mm
Ölçü hassasiyeti	0,001 mm
İşletim sistemi	Fanuc



Resim 5.3. Johnford VMC-550 marka CNC dik işleme merkezi [7]

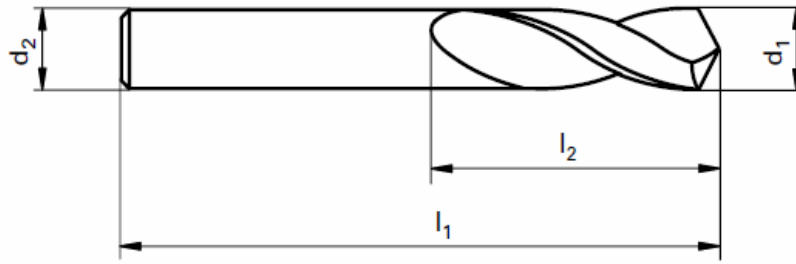
Kuvvet ölçümleri yapabilmek üzere tezgahın tablasına dinamometre uygun şekilde bağlanmıştır. Dinamometre ölçülerine uygun olarak hazırlanan deney numunesi dinamometre üzerine bağlanmıştır.

5.4. Deneylerde Kullanılan Kesme Parametreleri ve Kesici Takımlar

Deneylerde Guhring firmasına ait üç farklı grup kaplamalı takım kullanılmıştır. Birinci grup sarı renkli 1,5-3 μm tek kat kaplanarak yüzeye çok iyi tutunan, kaplama sertliği 1500-2000 Vickers olan, PVD (Fiziksel Buhar Biriktirme Tekniği) ile kaplanmış TiN (Titannitrid-Kaplama) kaplamalı matkaptır.

İkinci grup siyah eflatun renkli, Oksidasyon vasıtasıyla oluşturulan Al_2O_3 -tabakasına sahip, kuru işlemede 800°C ye kadar kullanım sağlayan, kaplama kalınlığı 1,5-3 μm olan, kaplama sertliği 3000-3500 Vickers olan, PVD atomizasyonu tekniği ile üretilen TiAlN (Titanyum alüminyum nitrid-Kaplama) kaplamalı takımlardır.

Üçüncü grup ise kırmızı eflatun renge sahip, 800°C ye kadar kullanım sağlayan, darbeye karşı hassas olmayan, kaplama kalınlığı 3-4 μm olan, 6 kata Resim..b) kadar kaplama yapılabilen, PVD ARC-Kaplama tekniği ile kaplanan Fire kaplamalı matkaplardır.



Şekil 5.2. Deneylerde kullanılan matkabın boyutları.

DIN 6539 standard numaralı kaplamalı takımlara ait değişkenler Çizelge 5.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 5.3. Matkap özellikleri

Takım Türü	Helisel Matkap
Standard	DIN 6539
Takım Malzemesi	TiN, TiAlN, Fire
Çap (d_1, d_2)	5 mm
Uç Açısı	135°
Helis Açısı	35°
Helis Boyu (l_2)	26 mm
Tüm boy (l_1)	62 mm

Kesme hızı ve ilerleme hızı, yapılan çalışmalar ve guhring firmasına ait katalog incelenerek yapılan ön delme deneylerinden sonra belirlenmiştir. Deneylerde 4 farklı kesme hızı (50, 55, 60, 65 m/dk), ile 2 farklı ilerleme hızı (0,063, ise 0,08 mm/dev) olmak üzere toplam 24 deney yapılmıştır. 8 adet TiN kaplamalı matkap, 8 adet TiAlN kaplamalı matkap, 8 adet Fire kaplamalı matkap olmak üzere toplam 24 matkap kullanılmıştır.

5.5. Kesme Kuvvetleri Ölçümü

Kesme kuvveti ölçümleri Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Talaşlı Üretim Anabilim Dalı laboratuvarlarındaki dik işleme merkezine bağlanan Kistler 9257B dinamometre ile yapılmıştır.



Resim 5.4. Kistler 9257B marka dinamometre

Kistler marka dinamometre tezgahın tablasına uygun şekilde bağlanmıştır. Kullanılan dinamometreye ait teknik özellikler Çizelge 5.4'te verilmiştir.

Çizelge 5.4. Kistler 9257B dinamometrenin teknik özellikleri

Kuvvet aralığı (kN) (F_x, F_y, F_z)	-5...10
Çalışma sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	0...70
Tepki verme (N)	<0,01
Doğrusallık	%1 FSO
Hassasiyet (pC/N) F_x, F_y	-7.5
Hassasiyet (pC/N) F_z	-3,5
Histerezis	%0,5 FSO
Topraklama sınıfı (Ω)	> 108
20 $^{\circ}\text{C}$ 'daki yalıtım direnci (Ω)	> 1013
Kapasitans (pF)	220
Doğal frekans $f_0(x,y,z)$ (kHz)	3,5
Koruma sınıfı	IP 67
Ağırlık (kg)	7,3

Dinamometre bağlama pabuçları yardımı ile tezgahın tablasına sabitlenmiştir. İş parçasının boyutları tespit edilirken dinamometrenin bağlama ölçüleri esas alınmıştır.

İki adet allen başlı cıvata yardımı ile deney numunesi dinamometreye sabitlenmiştir. Matkap ucu ile takım tutucu arasındaki mesafe tüm matkaplarda 30 mm alınmıştır.



Resim 5.5. İş parçasının dinamometreye bağlanması

Dinamometrenin bağlanış şekli Resim 5.5’te ifade edilmiştir.

5.6. Delik Çapının ve Delik Sapma Değeri Ölçümü

Delik çap ve dairesellik ölçümleri Med Makina Medikal Mühendislik San. ve Tic. Ltd. Şirketinde Mitutoyo marka CRT-A C544 model üç boyutlu CMM (Coordinat Measuring Machine) tezgahında ortalama 10 noktadan alınarak yapılmıştır.



Resim 5.6. Delik çap ve daireselliklerinin ölçüldüğü CMM tezgahı

CMM tezgahı ile ölçülen on farklı değerin ortalaması alınarak değerler grafiklere dökülmüştür. Mitutoyo CMM tezgahına ait teknik özellikler Çizelge 5.5'te verilmiştir.

Çizelge 5.5. Mitutoyo CMM tezgahının teknik özellikleri

Ölçme hassasiyeti	0,0001 mm
Ölçüm alanı x, y, z	505, 405, 405 mm
Maksimum ölçüm hızı	8 mm/s
İş mak. yükseklik	545 mm
Parçası mak. ağırlık	180 kg

5.7. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü

Delik gibi kapalı yüzeylerin ölçümü diğer ölçümlere göre daha zordur. Bu nedenle deneylerde deline 5 mm'lik çapın yüzey pürüzlülüğünü ölçebilmek için iş parçaları delik eksenlerinden tel erozyon tezgahı yardımı ile kesilmiştir. Pürüzlülük ölçümü Düzce Üniversitesinde yapılmıştır. Ölçümlerde Mitutoyo marka pürüzlülük ölçüm cihazı kullanılmıştır. Deliğe ait üç yüzeyden pürüzlülük ölçümü yapılarak ölçülen değerlerin ortalaması alınmıştır.

5.8. Aşınma Deneyleri

Aşınma deneyleri Düzce Üniversitesi Cumayeri Meslek Yüksekokulu Makine Laboratuvarında bulunan FIRST MCV 300 marka CNC dik işleme merkezinde gerçekleştirilmiştir.

Deneyler sonucunda takımlarda meydana gelen aşınma değerlerini görüntülemek için Sakarya Üniversitesi Metalurji Mühendisliği Laboratuvarında bulunan Jeol marka JSM-6060LV model Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) kullanılmıştır.



Resim 5.7. Deneysel Çalışmalarda kullanılan Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

Aşınma deneylerinde takımlarda meydana gelen yıpranmaları görüntülemek için kullanılan Taramalı Elektron Mikroskobuna (SEM) ait görüntü Resim 5.7’de verilmiştir.

6. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin delinme performansında etkili olan kesme kuvvetleri, delik dairesellikleri, delik sapma değerleri, yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ve talaş oluşumu değerlendirilerek en iyi kesme şartlarının belirlenmesine çalışılmıştır.

6.1. Kesme Kuvvetlerinin Değerlendirilmesi

Delik delme işlemlerinde kesme parametrelerinin optimize edilmesi oldukça önemlidir. Çünkü delme parametreleri, efektif takım açılarını doğrudan etkilemektedir. İlerlemenin artması, helis açısını artıracak ve boşluk açısını azaltacaktır. Boşluk açısının azalması, takımın ana serbest yüzeyinin, işlenen yüzeye sürtünmesini artırarak sürtünme kuvvetlerini dolayısıyla moment değerini artıracaktır [29].

Delme işlemlerinde en etkili kuvvet takımın ilerleme yönü boyunca, iş parçasının işleme yönü doğrultusunda olan eksensel kuvvettir [4]. Yapılan deneylerde dört farklı kesme hızı ile iki farklı ilerleme miktarı kombinasyonu ile üçer delik delinmiştir. Delinen her delik için ayrı ayrı kesme kuvvetleri alınmıştır. Kesme kuvvetleri dinamometre yardımı ile yapılmış olup, delme anında oluşan eksensel kuvvetler ölçülmüştür. Elde edilen kesme kuvveti değerleri grafikler haline getirilmiştir. Ölçülen kesme kuvveti değerleri farklı iki ilerlemede üç farklı takımda ölçülen eksensel kuvvet değerlerini kıyaslayarak yapılmıştır.

6.1.1. TiN kaplamalı takımda kesme kuvvetlerinin değerlendirilmesi

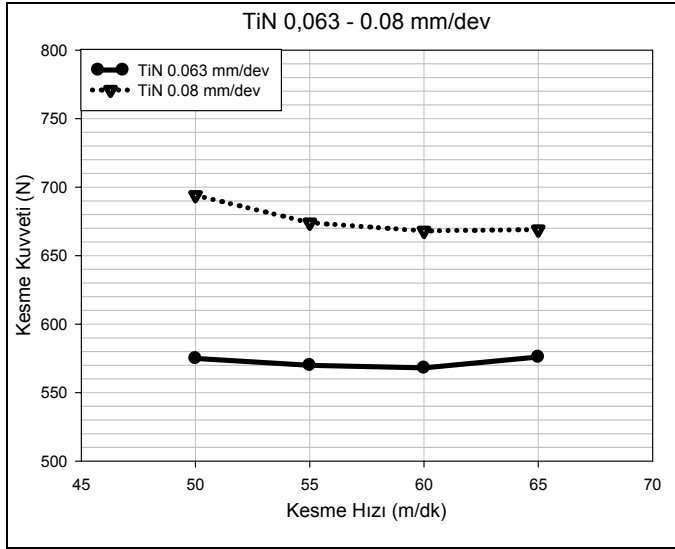
Şekil 6.1.'deki grafikte TiN kaplamalı matkap ile kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak kesme kuvvetlerindeki değişim gösterilmiştir. TiN kaplamalı takımla iki ilerleme (0,063-0,08 mm/dev), dört kesme hızında (50, 55, 60, 65 m/dk) toplam 8 farklı parametre kullanılmıştır. Her bir parametre ile üçer delik delinmiştir. Delinen her delik esnasında kesme kuvvetleri alınarak üç kesme kuvvetinin ortalaması

alınmıştır. Grafiklerden anlaşılabacağı üzere 0,063 mm/dev ilerleme hızındaki kesme kuvvetleri 0,08 mm/dev ilerleme hızına göre daha düşüktür. Bu da delme işlemlerinde kesme kuvvetlerinin büyük oranda ilerleme miktarına bağlı olduğunu göstermektedir [4].

0,063 mm/dev ilerleme hızında 50 m/dk kesme hızında 575 N kesme kuvveti değeri ölçülmüştür. Kesme hızı arttıkça kesme kuvveti azalmıştır. 60 m/dk kesme hızında kesme kuvveti en düşük seviyeye gerilemiştir. Kesme hızı 65 m/dk değerine yükseldiğinde kesme kuvveti değeri yükselme eğiliminde bulunarak 576 N değerine ulaşarak en yüksek kesme kuvveti değeri de bu kesme hızında elde edilmiştir.

0,08 mm/dev ilerleme hızında 50 m/dk kesme hızında 694 N kesme kuvveti değeri ölçülmüştür. Kesme hızı arttıkça kesme kuvvetlerinde azalma görülmüştür. Bu ilerlemede 60 m/dk kesme hızında en düşük kesme kuvveti değeri elde edilmiştir. Yine 0,063 mm/dev ilerleme hızında olduğu gibi 60 m/dk kesme hızından sonra kesme kuvvetinde artma eğilimi ortaya çıkmaktadır. 60 m/dk kesme hızında 668 N değeri ölçülmüştür.

TiN kaplamalı takım ile yapılan deneylerde her iki ilerleme miktarları karşılaştırıldığında en düşük kesme kuvvetlerine 0,063 mm/dev ilerleme, 60 m/dk kesme hızında ulaşılmıştır. İki ilerleme hızı arasında gözle görülür bir fark bulunmaktadır. 0,063 mm/dev ilerleme hızı ile 0,08 mm/dev ilerleme hızına göre kesme kuvvetinde %17'lik bir azalma elde edilmiştir.



Şekil 6.1. TiN kaplamalı matkap ile kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak kesme kuvvetlerindeki değişim

6.1.2. TiAlN kaplamalı takımda kesme kuvvetlerinin değerlendirilmesi

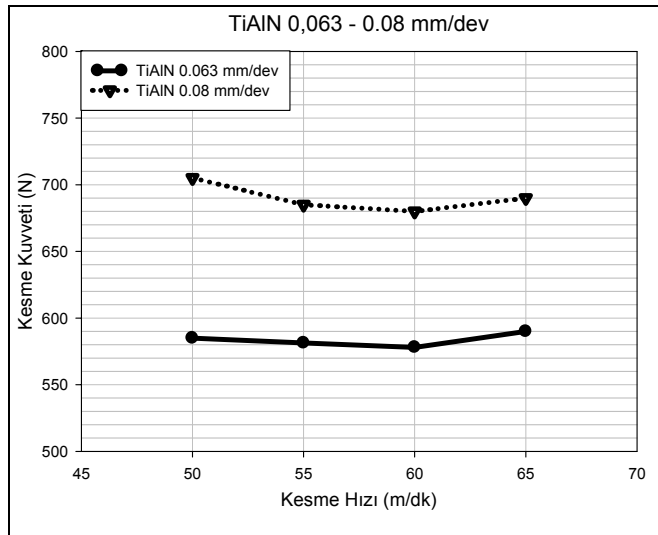
Şekil 6.2. TiAlN kaplamalı matkap ile kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak kesme kuvvetlerindeki değişim gösterilmiştir. TiN kaplamalı takımla yapılan deneylerdeki gibi TiAlN kaplamalı matkap ile de iki ilerleme (0,063-0,08 mm/dev), dört kesme hızında (50, 55, 60, 65 m/dk) toplam 8 farklı parametre kullanılmıştır. Her bir parametre ile üçer delik delinmiştir. Delinen her delik esnasında kesme kuvvetleri alınarak üç kesme kuvvetinin ortalaması alınmıştır.

0,063 mm/dev ilerleme hızında 50 m/dk kesme hızında 585 N kesme kuvveti değeri ölçülmüştür. Kesme hızı arttıkça kesme kuvveti azalmıştır. 60 m/dk kesme hızında kesme kuvveti en düşük seviyeye gerilemiştir. Kesme hızı 65 m/dk değerine yükseldiğinde kesme kuvveti değeri yükselme eğiliminde bulunarak 590 N değerine ulaşarak en yüksek kesme kuvveti değeri de bu kesme hızında elde edilmiştir.

0,08 mm/dev ilerleme hızında 50 m/dk kesme hızında 705 N kesme kuvveti değeri ölçülmüştür. Kesme hızı arttıkça kesme kuvvetlerinde azalma görülmüştür. Bu ilerlemede 60 m/dk kesme hızında en düşük kesme kuvveti değeri elde edilmiştir. Yine 0,063 mm/dev ilerleme hızında olduğu gibi 60 m/dk kesme hızından sonra

kesme kuvvetinde artma eğilimi ortaya çıkmaktadır. 60 m/dk kesme hızında 680 N değeri ölçülmüştür.

TiAlN kaplamalı takım ile yapılan deneylerde iki ilerleme hızı karşılaştırıldığında en düşük kesme kuvvetine 0,063 mm/dev ilerleme hızında ulaşılmıştır. 0,063 mm/dev ilerleme hızında ölçülen en düşük değer 60 m/dk kesme hızında 578 N değeri iken 0,08 mm/dev ilerleme hızında ölçülen en düşük değer yine 60 m/dk kesme hızında 680 N'dur. Bu iki değer incelendiğinde 0,063 ilerleme hızında %18 daha düşük kesme kuvveti değerine ulaşıldığı görülmüştür.



Şekil 6.2. TiAlN kaplamalı matkap ile kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak kesme kuvvetlerindeki değişim

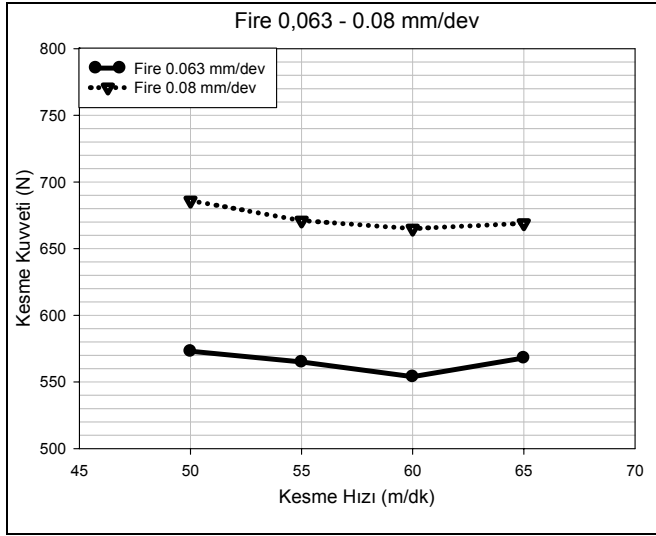
6.1.3. Fire kaplamalı takımda kesme kuvvetlerinin değerlendirilmesi

Şekil 6.3. TiAlN kaplamalı matkap ile kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak kesme kuvvetlerindeki değişim gösterilmiştir. TiN ve TiAlN kaplamalı takım ile yapılan deneylerdeki gibi Fire kaplamalı matkap ile de iki ilerleme (0,063-0,08 mm/dev), dört kesme hızında (50, 55, 60, 65 m/dk) toplam 8 farklı parametre kullanılmıştır. Her bir parametre ile üçer delik delinmiştir. Delinen her delik esnasında kesme kuvvetleri alınarak üç kesme kuvvetinin ortalaması alınmıştır.

0,063 mm/dev ilerleme hızında 50 m/dk kesme hızında 573 N kesme kuvveti değeri ölçülmüştür. Kesme hızı artıkça kesme kuvveti 60 m/dk kesme hızına kadar azalmıştır. 60 m/dk kesme hızında kesme kuvveti en düşük seviyeye gerilemiştir. Kesme hızı 65 m/dk değerine yükseldiğinde kesme kuvveti değeri yükselme eğiliminde bulunarak 568 N değerine ulaşarak en yüksek kesme kuvveti değeri ölçülmüştür.

0,08 mm/dev ilerleme hızında 50 m/dk kesme hızında 686 N kesme kuvveti değeri ölçülmüştür. Kesme hızı arttıkça kesme kuvvetlerinde azalma görülmüştür. Bu ilerlemede 60 m/dk kesme hızında en düşük kesme kuvveti değeri olan 665 N elde edilmiştir. Yine 0,063 mm/dev ilerleme hızında olduğu gibi 60 m/dk kesme hızından sonra kesme kuvvetinde artma eğilimi ortaya çıkmaktadır. 60 m/dk kesme hızında 665 N değeri ölçülmüştür. 65 m/dk kesme hızında 669 N değeri ölçülmüştür.

Fire kaplamalı takım ile yapılan deneylerde iki ilerleme hızı karşılaştırıldığında en düşük kesme kuvvetine 0,063 mm/dev ilerleme hızında ulaşılmıştır. 0,063 mm/dev ilerleme hızında ölçülen en düşük değer 60 m/dk kesme hızında 554 N değeri iken 0,08 mm/dev ilerleme hızında ölçülen en düşük değer yine 60 m/dk kesme hızında 665 N'dur. Bu iki değer incelendiğinde 0,063 mm/dev ilerleme hızı 0,08 ilerleme hızında elde edilen kesme kuvveti değerine göre %20 daha düşük olduğu görülmüştür.



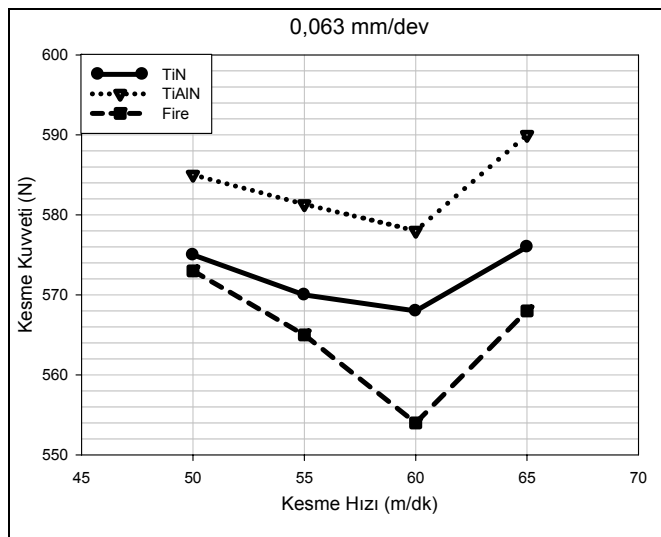
Şekil 6.3. Fire kaplamalı matkap ile kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak kesme kuvvetlerindeki değişim

6.1.4. TiN, TiAlN, Fire kaplamalı takımların 0,063 mm/dev ilerlemede kesme kuvvetlerinin değerlendirilmesi

Şekil 6.4.' te TiN, TiAlN, Fire Kaplamalı Takım ile kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak kesme kuvvetlerindeki değişim incelenmiştir. Üç tür kaplamalı takım aynı grafikte gösterilerek farklı tür takımların kesme kuvvetleri karşılaştırılmıştır.

0,063 mm/dev ilerlemede üç farklı takıma ait grafikler incelendiğinde grafiklerin paralellik gösterdiği görülmektedir. TiN, TiAlN, Fire kaplamalı takımların 50 m/dk kesme hızındaki değerleri sırasıyla 575, 585 ve 573 N olmuştur. 55 m/dk kesme hızında kesme kuvvetleri düşerek bu değerler 570, 581 ve 565 N olmuştur. 60 m/dk kesme hızında 568, 578 ve 554 N ile en düşük değerlere ulaşmıştır. 65 m/dk kesme hızında tüm takımlarda ölçülen kesme kuvvetleri yükselme eğiminde bulunarak 576, 590 ve 568 N değerlerine gelmiştir. İlerleme sabit tutularak kesme hızları değiştirilerek kesme hızının kesme parametrelerine olan etkisi gözlemlemek kolaylaşmıştır. Grafikten anlaşılacağı üzere kesme hızı değerleri arttıkça kesme kuvvetleri düşmektedir. Fakat kesme kuvvetleri belli değerlerin üzerine çıktığında üç takımda da kesme kuvvetleri artmaktadır. Bu durumda kesme hızlarının doğru tespiti takımın kesme şartlarının iyileştirilmesinde önemli bir etkidir.

TiN, TiAlN, Fire takımı kendi arasında kıyasladığımızda tüm parametrelerde en düşük kesme kuvveti değerlerine sırasıyla Fire, TiN ve TiAlN takımlarda ulaşılmıştır. Tüm takım ve kesme hızları incelendiğinde en düşük kesme kuvveti değeri olan 554 N değeri 0,063 mm/dev ilerleme ve 60 m/dk kesme hızında Fire kaplamalı takım ile elde edilmiştir. Fire takımı ile elde edilen en düşük kesme kuvveti değeri ile TiN ve TiAlN takımında elde edilen kesme kuvvetleri karşılaştırıldığında; Fire kaplamalı takım ile TiAlN kaplamalı takıma göre %4 TiN kaplamalı takıma göre ise %2,5 daha az kesme kuvveti değeri ölçülmüştür. Fire kaplamalı takım ile elde edilen iyi sonuçlar Fire kaplamanın TiN ve TiAlN kaplamalara göre daha sert kaplama tabakası olmasına bağlanabilir. TiN kaplamalar takım üzerine kat kat birkaç katmandan meydana gelmektedir. TiN kaplamalı takımın TiAlN kaplamalı takıma göre daha iyi performans göstermesi ise TiN kaplamanın TiAlN kaplamaya göre daha ince kaplama kalınlığına sahip olması sebep olarak gösterilebilir. Kaplama kalınlığı arttıkça takımın kesici ucundaki kesme kenarlarında oluşan kavislerin yarıçapı artmaktadır. Bu da kesici takımların keskinliğini azaltmaktadır.



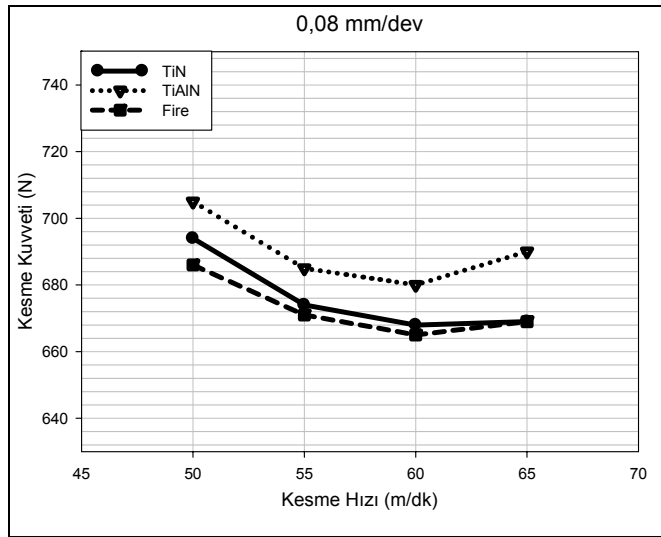
Şekil 6.4. TiN, TiAlN, Fire Kaplamalı Takım ile kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak kesme kuvvetlerindeki değişim

6.1.5. TiN, TiAlN, Fire kaplamalı takımların 0,08 mm/dev ilerlemede kesme kuvvetlerinin değerlendirilmesi

Şekil 6.5’de TiN, TiAlN, Fire Kaplamalı Takım ile kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak kesme kuvvetlerindeki değişim incelenmiştir. Üç tür kaplamalı takım aynı grafikte gösterilerek farklı tür takımların kesme kuvvetleri karşılaştırılmıştır.

0,063 mm/dev ilerlemede üç farklı takıma ait grafikler incelendiğinde grafiklerin paralellik gösterdiği görülmektedir. TiN, TiAlN, Fire kaplamalı takımların 50 m/dk kesme hızında ki değerleri sırasıyla 694, 705 ve 686 N’ dur. 55 m/dk kesme hızında kesme kuvvetleri düşerek bu değerler 674, 685 ve 671 N olmuştur. 60 m/dk kesme hızında 668, 680 ve 665 N ile en düşük değerlere ulaşmıştır. 65 m/dk kesme hızında tüm takımlarda ölçülen kesme kuvvetleri yükselme eğiminde bulunarak 669, 690 ve 669 N değerlerine gelmiştir. 0,063 mm/dev ilerleme hızında olduğu gibi kesme hızı değerleri arttıkça kesme kuvvetleri düşmektedir. Fakat kesme kuvvetleri belli değerlerin üzerine çıktığında üç takımda da kesme kuvvetleri artmaktadır. Bu durumda kesme hızlarının doğru tespiti takımın kesme şartlarının iyileştirilmesinde önemli bir etkidir.

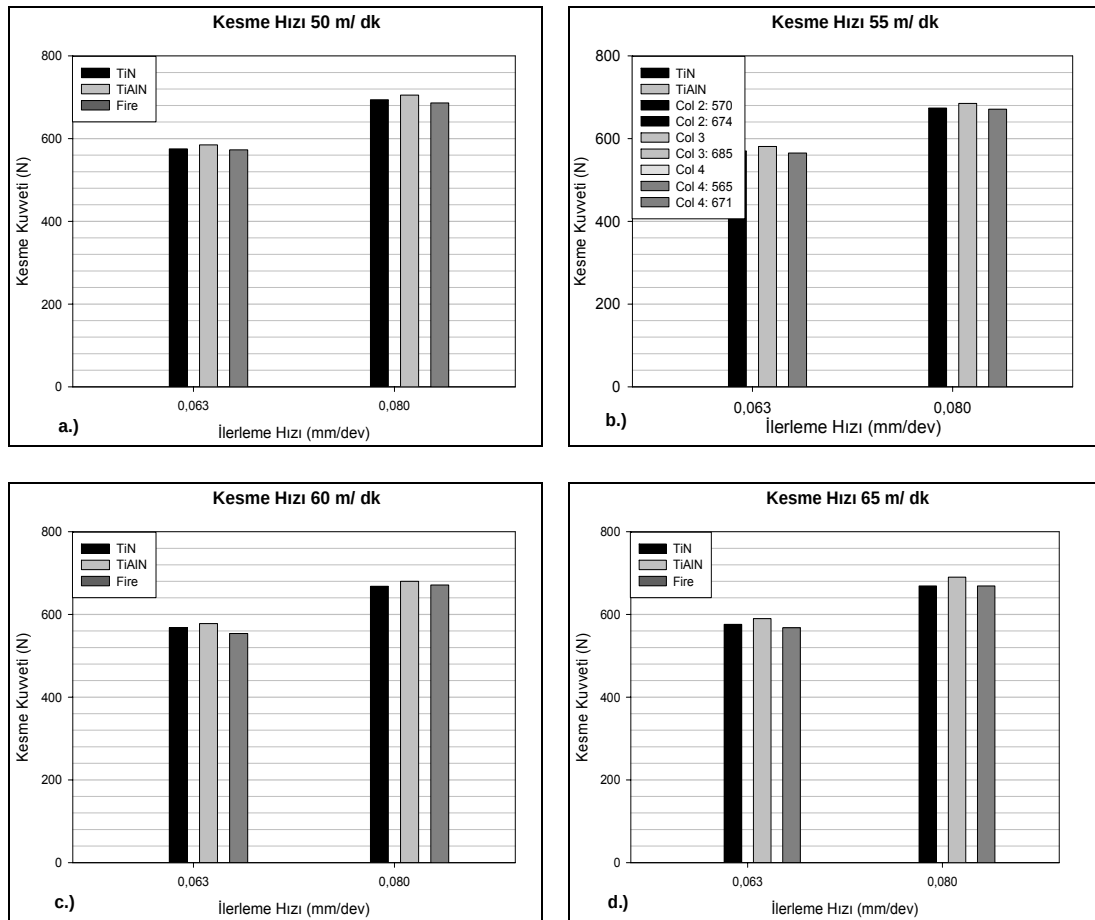
0,08 mm/dev ilerleme hızında TiN, TiAlN, Fire takımı kendi arasında kıyasladığımızda 0,063 mm/dev ilerleme hızında olduğu gibi tüm parametrelerde en düşük kesme kuvveti değerlerine sırasıyla Fire, TiN ve TiAlN takımlarda ulaşılmıştır. Tüm takım ve kesme hızları incelendiğinde en düşük kesme kuvveti değeri olan 554 N değeri 0,063 mm/dev ilerleme ve 60 m/dk kesme hızında Fire kaplamalı takım ile elde edilmiştir.



Şekil 6.5. TiN, TiAlN, Fire Kaplamalı Takım ile kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak kesme kuvvetlerindeki değişim

6.1.6. Kesme kuvvetlerinin genel değerlendirmesi

Bu bölümde (Şekil 6.6)'dan yararlanarak TiN, TiAlN, Fire kaplamalı takımlarla delme esnasında elde edilen kesme kuvvetleri bir bütün olarak ele alınarak değerlendirilecektir. Böylece tüm parametre ve takım kombinasyonlarından en iyi kesme kuvveti değerlerini tespit etmeye çalışılacaktır.



Şekil 6.6. TiN, TiAlN, Fire Kaplamalı Takım ile kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak kesme kuvvetlerindeki değişim a) V=50 m/dk, b) V=55 m/dk, c) V=60 m/dk, d) V=65 m/dk

Şekil 6.6.a.' da 50 m/dk kesme hızı ve 0,063-0,08 mm/dev ilerleme hızına bağlı olarak TiN, TiAlN, Fire kaplamalı takım ile delme esnasında elde edilen kesme kuvvetleri karşılaştırılmıştır. Grafik incelendiğinde 0,08 mm/dev ilerleme hızında ölçülen kesme kuvveti değerleri 0,063 mm/dev ilerleme hızında ölçülen değerlerden belirgin bir şekilde yüksek çıkmıştır. Bu da delik delme işlemi esnasında kesme

kuvvetinin değerini büyük oranda ilerleme hızının belirlediğini gösterir [4]. Takımlar kendi aralarında kıyaslandığında ise 0,063 mm/dev ilerlemede elde edilen kesme kuvvetleri küçükten büyüğe doğru sırasıyla; Fire kaplamalı takım 573 N, TiN kaplamalı takım 575 N, TiAlN kaplamalı takım 585 N değerleridir. 0,08 mm/dev ilerlemede elde edilen kesme kuvvetleri ise küçükten büyüğe doğru sırasıyla; Fire kaplamalı takım 686 N, TiN kaplamalı takım 694 N, TiAlN kaplamalı takım 705 N değerleridir. İlerleme hızının artması ile en düşük kesme kuvveti değerlerine sahip Fire kaplamalı takımların kesme kuvveti değerleri arasında %17'lik bir fark vardır. Yani 50 m7dk kesme hızında 0,08 mm/dev ilerleme yerine 0,063 mm/dev ilerleme hızını seçerek Fire kaplamalı takımda elde edilen kesme kuvveti değerini %17 oranında azaltmış oluyoruz. TiN ve TiAlN kaplamalı takımların iki farklı ilerleme hızlarında     len kesme kuvvetleri aralarında da yine aynı şekilde %17'lik bir değer artışı vardır.

Şekil 6.6.b.' deki grafik incelendiğinde 55 m/dk kesme hızında 0,08 mm/dev ilerleme hızında     len kesme kuvveti değerleri 0,063 mm/dev ilerleme hızında     len değerlerden belirgin bir şekilde yüksek çıkmıştır. Takımlar kendi aralarında kıyaslandığında ise 0,063 mm/dev ilerlemede elde edilen kesme kuvvetleri küçükten büyüğe doğru sırasıyla; Fire kaplamalı takım 565 N, TiN kaplamalı takım 570 N, TiAlN kaplamalı takım 581 N değerleridir. 0,08 mm/dev ilerlemede elde edilen kesme kuvvetleri ise küçükten büyüğe doğru sırasıyla; Fire kaplamalı takım 671 N, TiN kaplamalı takım 674 N, TiAlN kaplamalı takım 685 N değerleridir. Fire kaplamalı takımla     len iki kesme kuvveti değeri arasındaki fark %16'dır. Fire kaplamalı takımla 55 m/dk kesme hızı 0,063 mm/dev ilerleme hızında elde edilen kesme kuvveti değeri olan 565 N en düşük değerdir.

Şekil 6.6. c.' deki grafiklere bakıldığında kesme kuvvetleri  ekil 6.6. a. ve  ekil 6.6. b.' deki değerlere göre daha küçüktür. Grafik incelendiğinde 60 m/dk kesme hızında 0,08 mm/dev ilerleme hızında     len kesme kuvveti değerleri 0,063 mm/dev ilerleme hızında     len değerlerden belirgin bir şekilde yüksek çıkmıştır. Takımlar kendi aralarında kıyaslandığında ise 0,063 mm/dev ilerlemede elde edilen kesme kuvvetleri küçükten büyüğe doğru sırasıyla; Fire kaplamalı takım 554 N, TiN

kaplamalı takım 568 N, TiAlN kaplamalı takım 578 N değerleridir. 0,08 mm/dev ilerlemede elde edilen kesme kuvvetleri ise küçükten büyüğe doğru sırasıyla; Fire kaplamalı takım 671 N, TiN kaplamalı takım 668 N, TiAlN kaplamalı takım 680 N değerleridir. Fire kaplamalı takım ile ölçülen iki kesme kuvveti değeri arasındaki fark %17'dir. Fire kaplamalı takım ile 60 m/dk kesme hızı 0,063 mm/dev ilerleme hızında elde edilen kesme kuvveti değeri olan 554 N en düşük değerdir. Bu değer deneylerde Fire kaplamalı takım ile elde edilen en düşük kesme kuvveti değeridir.

Şekil 6.6. d.'deki grafik incelendiğinde kesme kuvveti değerleri önceki kesme hızlarındaki (50, 55 ve 60 m/dk) değerlere göre genel bir yükselişe geçmiştir. Fakat 0,063 mm/dev ile 0,08 mm/dev arasındaki kesme kuvveti değerleri oranı aynı şekilde artış göstermektedir. Şekil 6.6.d.'deki grafikte 0,063 mm/dev ilerlemede elde edilen kesme kuvvetleri küçükten büyüğe doğru sırasıyla; Fire kaplamalı takım 568 N, TiN kaplamalı takım 576 N, TiAlN kaplamalı takım 590 N değerleridir. 0,08 mm/dev ilerlemede elde edilen kesme kuvvetleri ise küçükten büyüğe doğru sırasıyla; Fire kaplamalı takım 669 N, TiN kaplamalı takım 669 N, TiAlN kaplamalı takım 690 N değerleridir. Fire kaplamalı takım ile ölçülen iki kesme kuvveti değeri arasındaki fark %15'dir.

Tüm grafikler incelendiğinde Şekil 6.6.d., Şekil 6.6.d., Şekil 6.6.d., Şekil 6.6.d. tüm parametreler ve takımlar göz önüne alındığında en düşük kesme kuvveti değerine 60 m/dk kesme hızı ile 0,063 mm/dev ilerleme hızında Fire kaplamalı takım ile ölçülen 554 N değeridir. Bu değer Fire kaplamalı takım ile 50 m/dk kesme hızı ile 0,08 mm/dev ilerleme hızında elde edilen değer olan 686 N değerinden %19 oranında daha azdır. TiAlN kaplamalı takım ile 50 m/dk kesme hızı ile 0,08 mm/dev ilerleme hızında elde edilen değer olan 705 N değerinden ise %21 oranında düşük bir kesme hızı değeridir.

Fire kaplamalı takımlar TiN kaplamalı takımından, TiN kaplamalı takım ise TiAlN kaplamalı takımından daha iyi performans göstermiştir. Fire kaplamalı takımın iyi performans göstermesi çok ince birden fazla katmandan oluşmasına bağlanabilir. TiN PVD (Fiziksel Buhar Biriktirme Yöntemi) kaplamalı takımın TiAlN PVD Katot

- Atomizasyonu (Sputtern) kaplamalı takımdan daha iyi performans göstermesi ise farklı kaplama metodu ve kalınlıkları ile üretilmelerinden dolayı kesici uçta meydana gelen kavislenme miktarlarının farklı olmaları ile açıklanabilir. TiN sert bir kaplama olmasına rağmen kesici ucun yüzeylerinde daha düşük sürtünme katsayısı ve daha iyi krater aşınma direnci sağlar [4].

Yüksek kesme hızında akış bölgesi bir yağlayıcı görevi görürse de bu hızlarda gerçekleştirilen işlem malzeme difüzyonuna ve deformasyona açık bir işlemdir. Kesme hızının azaltılması bir anlamda iş parçasına akan ısı miktarını artıracak, dolayısı ile sıcaklık artışına neden olacaktır. Yüksek kesme hızları oluşan ısının büyük bir kısmının talaş ile uzaklaştırılmasını sağlar ve takıma ve iş parçasına geçen ısı azalır [4]. Kesme hızının belli oranda yüksek olması kesme şartları için ve takım ömrü için önemlidir. Fakat aşırı yüksek kesme hızları kesme şartları açısından zararlıdır.

6.2. Deliklerin Daireselliğinin Değerlendirilmesi

Bu bölümde kesme parametrelerine bağlı olarak deliklerin dairesellikleri değerlendirilmiştir. Uygun parametrelerin seçilmesi ile daha iyi dairesellik elde edilmesinden yola çıkılarak kesmeye etki eden parametrelerden en uygun olan bulunmaya çalışılacaktır. Bu amaçla önce TiN, TiAlN, ve Fire kaplamalı takımlar kendi aralarında değerlendirilmiş sonra da tüm takımlar birlikte değerlendirilmiştir.

6.2.1. TiN, TiAlN, Fire kaplamalı takımların 0,063 mm/dev ilerlemede daireselliklerinin değerlendirilmesi

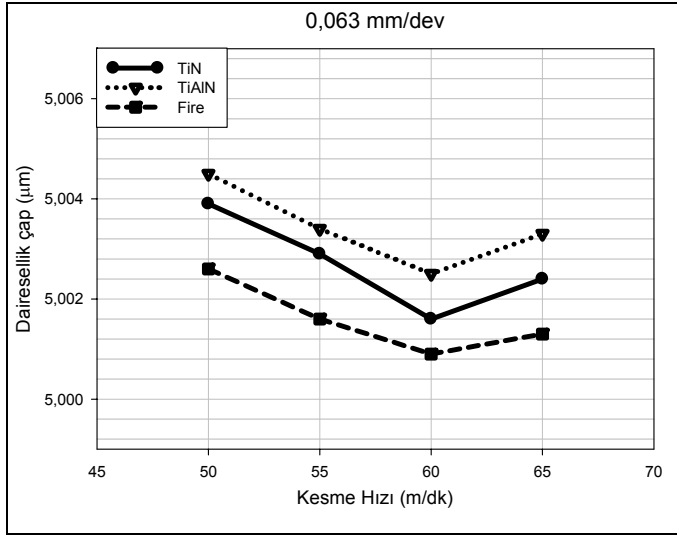
Şekil 6.7' de TiN, TiAlN ve Fire kaplamalı matkap ile 0,063 mm/dev ilerleme hızı ve 50, 55, 60 ve 65 m/dk kesme hızında ölçülen dairesellik değerleri gösterilmiştir. Sabit ilerleme hızında kesme hızları arttırılarak kesme hızının her üç takım tipiyle delinen deliklerde elde edilen dairesellik değerlerine etkisine bakılmıştır.

TiN kaplamalı matkap ile delinen deliklerde ölçülen dairesellik değerleri 0,063 mm/dev ilerleme hızı ve 50 m/dk kesme hızında Ø5,0039 mm ölçülmüştür. Bu değer kesme hızı arttıkça azalmıştır. 55 m/dk kesme hızında Ø5,0029 mm ölçülmüştür. 60 m/dk kesme hızında ise bu değer Ø5,0016 mm ölçülmüştür. Bu değer TiN kaplamalı takımın 0,063 mm/dev ilerleme hızındaki en düşük dairesellik değeridir. Kesme hızı 65 m/dk olduğunda dairesellik değeri artış göstererek Ø5,0024 mm olmuştur. İlerleme hızı sabit kalıp kesme hızı artırıldığında dairesellik değerleri küçülmektedir. Ancak kesme hızı belli bir oranı aştığında dairesellik artma eğilimine girmektedir.

TiAlN kaplamalı takım ile elde edilen dairesellik değerlerine bakıldığında 0,063 mm/dev ilerleme hızında 50 m/dk kesme hızında elde edilen dairesellik değeri Ø5,0045 mm olarak ölçülmüştür. Bu değer 55 m/dk kesme hızında Ø5,0034 mm, 60 m/dk kesme hızında Ø5,0025 mm, 65 m/dk kesme hızında ise Ø5,0033 mm olarak ölçülmüştür. TiN kaplamalı takımlarda ölçülen değerlerdeki gibi TiAlN kaplamalı takımlarda ölçülen değerler de kesme hızı arttıkça düşmüştür. 65 m/dk kesme hızında tekrar yükselme eğiliminde bulunmuştur.

Fire kaplamalı takım ile elde edilen değerler karşılaştırıldığında. 50 m/dk kesme hızında Ø5,0026 mm, 55 m/dk kesme hızında Ø5,0016 mm, 60 m/dk kesme hızında Ø5,0009 mm, 65 m/dk kesme hızında ise Ø5,0013 mm olarak ölçülmüştür. TiN ve TiAlN kaplamalı takımlarda ölçülen değerler gibi Fire kaplamalı takımlarda ölçülen değerler de kesme hızı arttıkça düşmüştür. Aynı şekilde 65 m/dk kesme hızında tekrar yükselme eğiliminde bulunmuştur.

0,063 mm/dev ilerleme hızında TiN, TiAlN ve Fire kaplamalı matkap ile elde edilen dairesellik değerlerine genel olarak bakıldığında tüm takımlar ile elde edilen değerler birbirine paraleldir. Fakat en düşük dairesellik değeri Fire kaplamalı matkapla delinen deliklerde, ikinci düşük değer TiN kaplamalı matkapla delinen deliklerde en yüksek değerler ise TiAlN kaplamalı matkapla delinen deliklerde elde edilmiştir.



Şekil 6.7. TiN, TiAlN ve Fire kaplamalı matkap ile kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak dairesellikteki değişim

6.2.2. TiN, TiAlN, Fire kaplamalı takımların 0,08 mm/dev ilerlemede daireselliğinin değerlendirilmesi

Şekil 6.8.'de TiN, TiAlN ve Fire kaplamalı matkap ile 0,08 mm/dev ilerleme hızı ve 50, 55, 60 ve 65 m/dk kesme hızında ölçülen dairesellik değerleri gösterilmiştir. Sabit ilerleme hızında kesme hızları artırılarak kesme hızının her üç takım tipiyle delinen deliklerde elde edilen dairesellik değerlerine etkisine bakılmıştır.

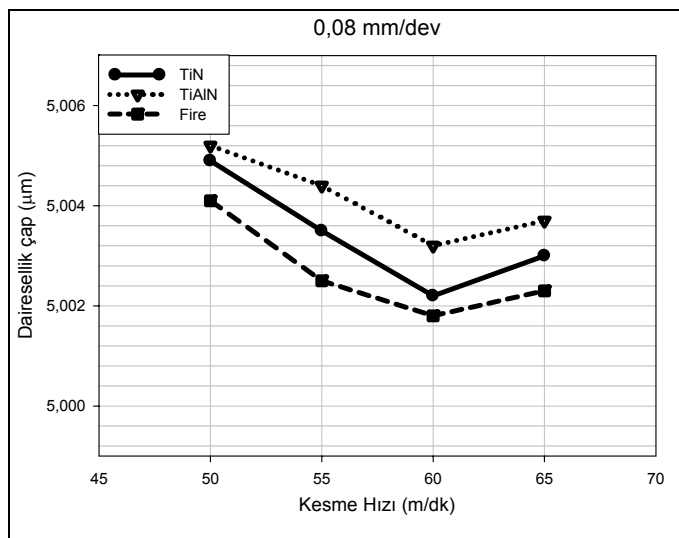
TiN kaplamalı takım ile delinen deliklerde ölçülen dairesellik değerlerine bakıldığında; 50 m/dk kesme hızı ve 0,08 mm/dev ilerleme hızında Ø5,0049 mm, 55 m/dk kesme hızında Ø5,0035 mm, 60 m/dk kesme hızında Ø5,0022 mm ve 65 m/dk kesme hızında Ø5,0030 mm olarak ölçülmüştür. Kesme hızı arttıkça dairesellik değeri azalmıştır. Fakat kesme hızı 65 m/dk olunca dairesellik değeri yükselmiştir.

TiAlN kaplamalı takım ile delinen deliklerde ölçülen dairesellik değerlerine bakıldığında 50 m/dk kesme hızında Ø5,0052 mm, 55 m/dk kesme hızında Ø5,0044 mm, 60 m/dk kesme hızında Ø5,0032 mm ve 65 m/dk kesme hızında Ø5,0037 mm olarak ölçülmüştür. Kesme hızı arttıkça dairesellik değeri azalmıştır. Fakat kesme hızı 65 m/dk olunca dairesellik değeri yükselmiştir. Bu sıralama TiN kaplamalı takımında elde edilen değerlere paralel bir şekilde değişmiştir.

Fire kaplamalı takım ile delinen deliklerde ölçülen dairesellik değerleri ise 50 m/dk kesme 0,08 mm/dev ilerleme hızında $\varnothing 5,0041$ mm, 55 m/dk kesme hızında $\varnothing 5,0032$ mm, 60 m/dk kesme hızında $\varnothing 5,0018$ mm ve 65 m/dk kesme hızında $\varnothing 5,0023$ mm olarak ölçülmüştür. Kesme hızı arttıkça dairesellik değeri azalmıştır. Fakat kesme hızı 65 m/dk olunca dairesellik değeri yükselmiştir. Bu sıralama TiN ve TiAlN kaplamalı takım ile elde edilen değerlere paralel bir şekilde değişmiştir.

0,08 mm/dev ilerleme hızında TiN, TiAlN ve Fire kaplamalı matkap ile elde edilen dairesellik değerlerine genel olarak bakıldığında tüm takımlar ile elde edilen değerler birbirine paraleldir. Fakat en düşük dairesellik değeri 0,063 mm/dev ilerleme hızında olduğu gibi Fire kaplamalı matkapla delinen deliklerde, ikinci düşük değer TiN kaplamalı matkapla delinen deliklerde en yüksek değerler ise TiAlN kaplamalı matkapla delinen deliklerde elde edilmiştir.

Her iki ilerleme hızında da en düşük dairesellik değerlerine Fire kaplamalı takımlarla ulaşılmıştır. Bu değerler kesme kuvvetleri ile de paralellik göstermektedir. Fire kaplamalı takımlarla delik delme işlemi esnasında ölçülen kesme kuvvetleri diğer takımlarla ölçülen değerlerden daha düşük çıkmıştır. Delik esnasında oluşan kesme kuvvetleri düştükçe dairesellik değerlerinin de düştüğü anlaşılmıştır.



Şekil 6.8. TiN, TiAlN ve Fire kaplamalı matkap ile kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak dairesellikteki değişim

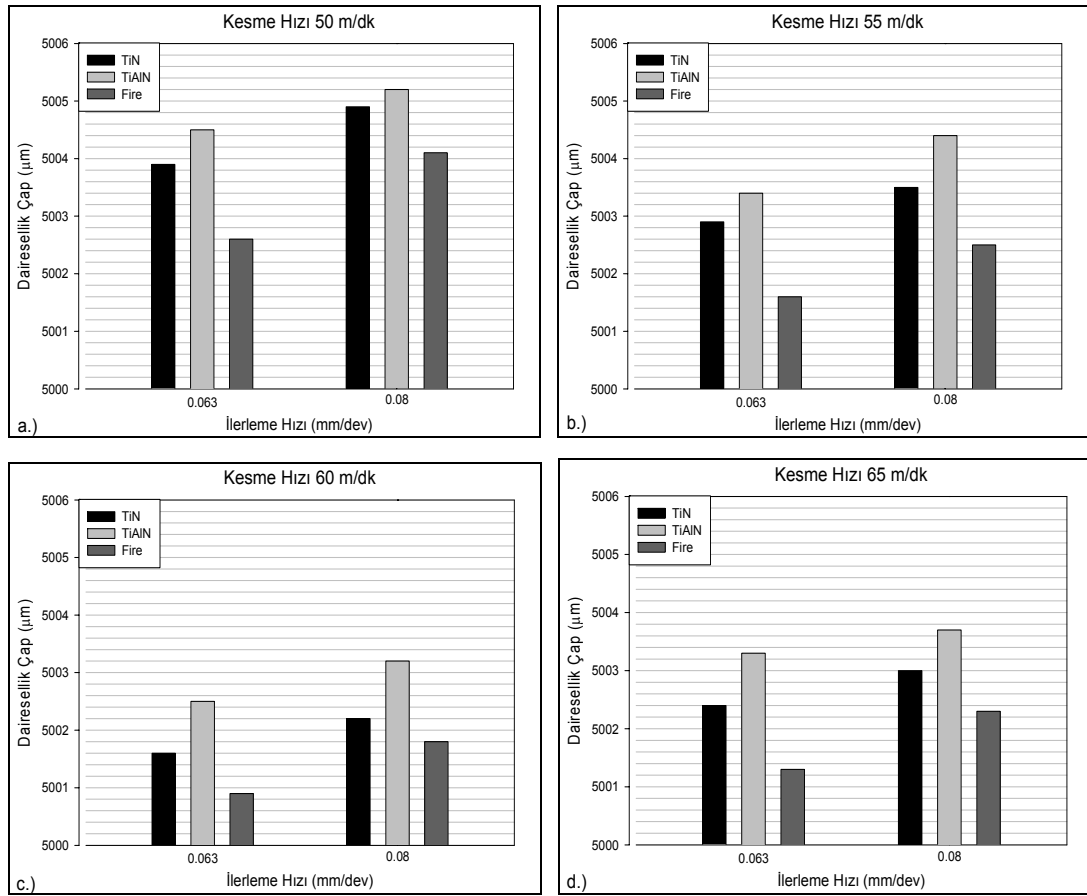
6.2.6. Daireselliğin genel değerlendirmesi

Şekil 6.9. TiN, TiAlN, Fire Kaplamalı Takım ile kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak dairesellik değerlerindeki değişim gösterilmiştir. Deneylerde ölçülen tüm değerler kendi aralarında karşılaştırılmıştır.

0,063 mm/dev ile 0,08 mm/dev ilerleme hızlarında elde edilen değerlere genel olarak bakıldığında Şekil 6.9.' da ilerleme hızı arttıkça ölçülen dairesellik değerlerinde de genel bir artış gözlenmektedir. İlerleme hızı arttıkça kesme kuvvetlerinin artışına paralel olarak dairesellik değerleri de artmıştır. İlerleme hızı arttıkça kesme kuvvetleri artmaktadır. Kesme kuvvetlerinin artması ile meydana gelen titreşimin dairesellik değerlerine olumsuz etki gösterdiği söylenebilir.

50, 55, 60 ve 65 m/dk kesme hızlarına genel olarak bakıldığında ise kesme kuvveti arttıkça elde edilen dairesellik değerleri azalmaktadır. 60 m/dk kesme hızına gelindiğinde Şekil 6.9 c.'de her üç takımında da en düşük dairesellik değerlerine ulaşılmıştır. Fakat kesme hızı 65 m/dk olduğunda dairesellik değerleri artış eğiliminde bulunmuştur. Düşük kesme hızlarında oluşan talaş sıvanması (BUE) daireliliği bozmaktadır.

En iyi dairesellik değerlerine 60 m/dk kesme hızı ve 0,063 mm/dev ilerleme hızında Fire kaplamalı takımında elden Ø5,0009 mm değeri olmuştur. Bu sonuç kesme kuvvetleri ölçümlerinde elde edilen değerlere paralel bir sonuçtur.



Şekil 6.9. TiN, TiAlN, Fire Kaplamalı Takım ile kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak dairesellik değerlerindeki değişim a) V=50 m/dk, b) V=55 m/dk, c) V=60 m/dk, d) V=65 m/dk

6.3. Dairesellik Sapma Değerlerinin Değerlendirilmesi

Bu bölümde TiN, TiAlN ve Fire kaplamalı takımlar aralarında farklı ilerleme miktarı ve kesme hızı kombinasyonlarındaki, dairesellikten sapma değerlerinde meydana gelen değişimler açısından değerlendirilmiştir. Dairesellikten sapma değerlerine etki eden parametreler bulunmaya çalışılmıştır.

6.3.1. TiN, TiAlN, Fire kaplamalı takımların 0,063 mm/dev ilerlemede sapma değerlerinin değerlendirilmesi

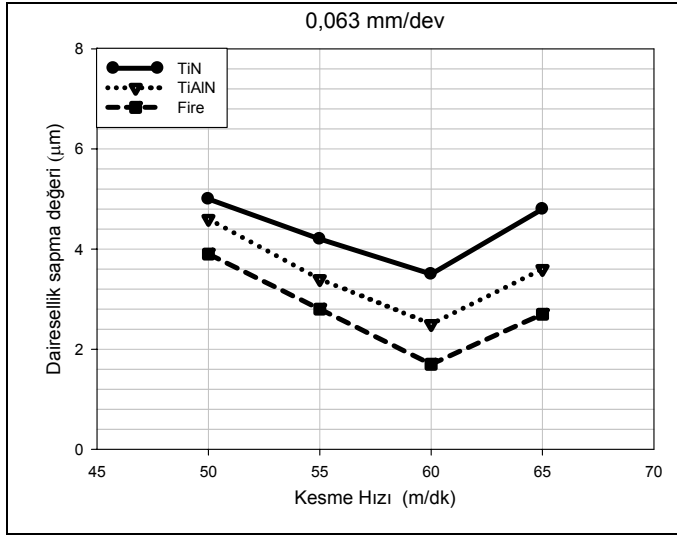
Şekil 6.10'daki grafikte TiN, TiAlN ve Fire kaplamalı matkap ile 0,063 mm/dev ilerleme ve 50, 55, 60, ve 65 m/dk kesme hızına bağlı olarak ortalama dairesellikten sapma değerleri verilmiştir.

TiN kaplamalı takımla delinen deliklerde meydana gelen dairesellik değerleri incelenmiştir. 0,063 mm/dev ilerleme hızı 50 m/dk kesme hızında ölçülen dairesellik sapma değeri 5 μm , 55 m/dk kesme hızında 4,2 μm , 60 m/dk kesme hızında 3,5 μm , 65 m/dk kesme hızında 4,8 μm olarak ölçülmüştür.

TiAlN kaplamalı takımla delinen deliklerde meydana gelen dairesellik değerleri incelendiğinde 0,063 mm/dev ilerleme hızı 50 m/dk kesme hızında ölçülen dairesellik sapma değeri 4,6 μm , 55 m/dk kesme hızında 3,4 μm , 60 m/dk kesme hızında 2,5 μm , 65 m/dk kesme hızında 3,6 μm olarak ölçülmüştür.

Fire kaplamalı takımla delinen deliklerde meydana gelen dairesellik değerleri incelendiğinde 0,063 mm/dev ilerleme hızı 50 m/dk kesme hızında ölçülen dairesellik sapma değeri 3,9 μm , 55 m/dk kesme hızında 2,8 μm , 60 m/dk kesme hızında 1,7 μm , 65 m/dk kesme hızında 2,7 μm olarak ölçülmüştür.

0,063 mm/dev ilerleme hızında TiN, TiAlN ve Fire kaplamalı takımlar aralarında değerlendirildiğinde (Şekil 6.10); en düşük değerler Fire kaplamalı takımında ölçülmüştür. En yüksek değerler ise TiN kaplamalı takımlarda ölçülmüştür. Üç farklı takım tipinde ölçülen değerler kesme hızının artması ile düşmüştür. Kesme hızı 60 m/dk olduğunda en düşük sapma değerleri elde ediliyor. 60 m/dk kesme hızından sonra sapma değerleri tekrar artma eğiliminde bulunuyor.



Şekil 6.10. TiN, TiAlN ve Fire kaplamalı matkap ile kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak ortalama dairesellikten sapma değerleri

6.3.2. TiN, TiAlN, Fire kaplamalı takımların 0,08 mm/dev ilerlemede sapma değerlerinin değerlendirilmesi

Şekil 6.11'deki grafikte TiN, TiAlN ve Fire kaplamalı matkap ile 0,08 mm/dev ilerleme ve 50, 55, 60, ve 65 m/dk kesme hızına bağlı olarak ortalama dairesellikten sapma değerleri verilmiştir.

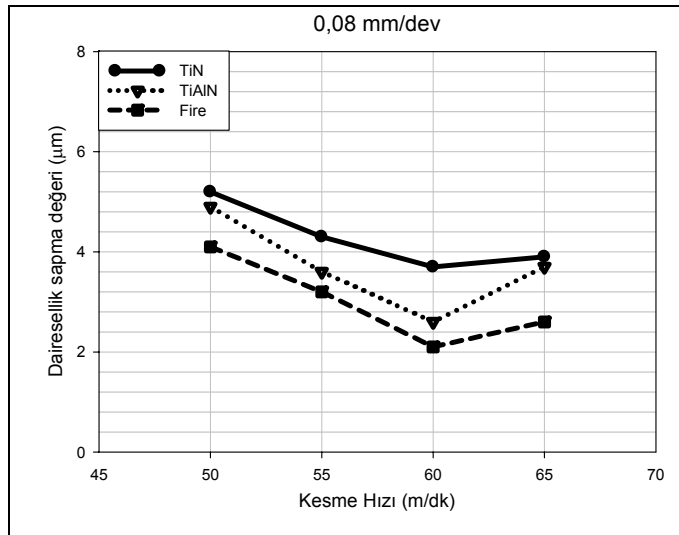
TiN kaplamalı takımla delinen deliklerde meydana gelen dairesellik değerleri incelenmiştir. 0,08 mm/dev ilerleme hızı 50 m/dk kesme hızında ölçülen dairesellik sapma değeri 5,2 µm, 55 m/dk kesme hızında 4,3 µm, 60 m/dk kesme hızında 3,7 µm, 65 m/dk kesme hızında 3,9 µm olarak ölçülmüştür.

TiAlN kaplamalı takımla delinen deliklerde meydana gelen dairesellik değerleri incelendiğinde 0,08 mm/dev ilerleme hızı 50 m/dk kesme hızında ölçülen dairesellik sapma değeri 4,9 µm, 55 m/dk kesme hızında 3,6 µm, 60 m/dk kesme hızında 2,6 µm, 65 m/dk kesme hızında 3,7 µm olarak ölçülmüştür.

Fire kaplamalı takımla delinen deliklerde meydana gelen dairesellik değerleri incelendiğinde 0,08 mm/dev ilerleme hızı 50 m/dk kesme hızında ölçülen dairesellik

sapma değeri 4,1 μm , 55 m/dk kesme hızında 3,2 μm , 60 m/dk kesme hızında 2,1 μm , 65 m/dk kesme hızında 2,6 μm olarak ölçülmüştür.

0,08 mm/dev ilerleme hızında TiN, TiAlN ve Fire kaplamalı takımlar aralarında değerlendirildiğinde (Şekil 6.10) ise En düşük değerler Fire kaplamalı takımda ölçülmüştür. En yüksek değerler ise TiN kaplamalı takımlarda ölçülmüştür. Üç farklı takım tipinde ölçülen değerler kesme hızının artması ile düşmüştür. Kesme hızı 60 m/dk olduğunda en düşük sapma değerleri elde ediliyor. 60 m/dk kesme hızından sonra sapma değerleri tekrar artma eğiliminde bulunuyor.



Şekil 6.11. TiN, TiAlN ve Fire kaplamalı matkap ile kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak ortalama dairesellikten sapma değerleri

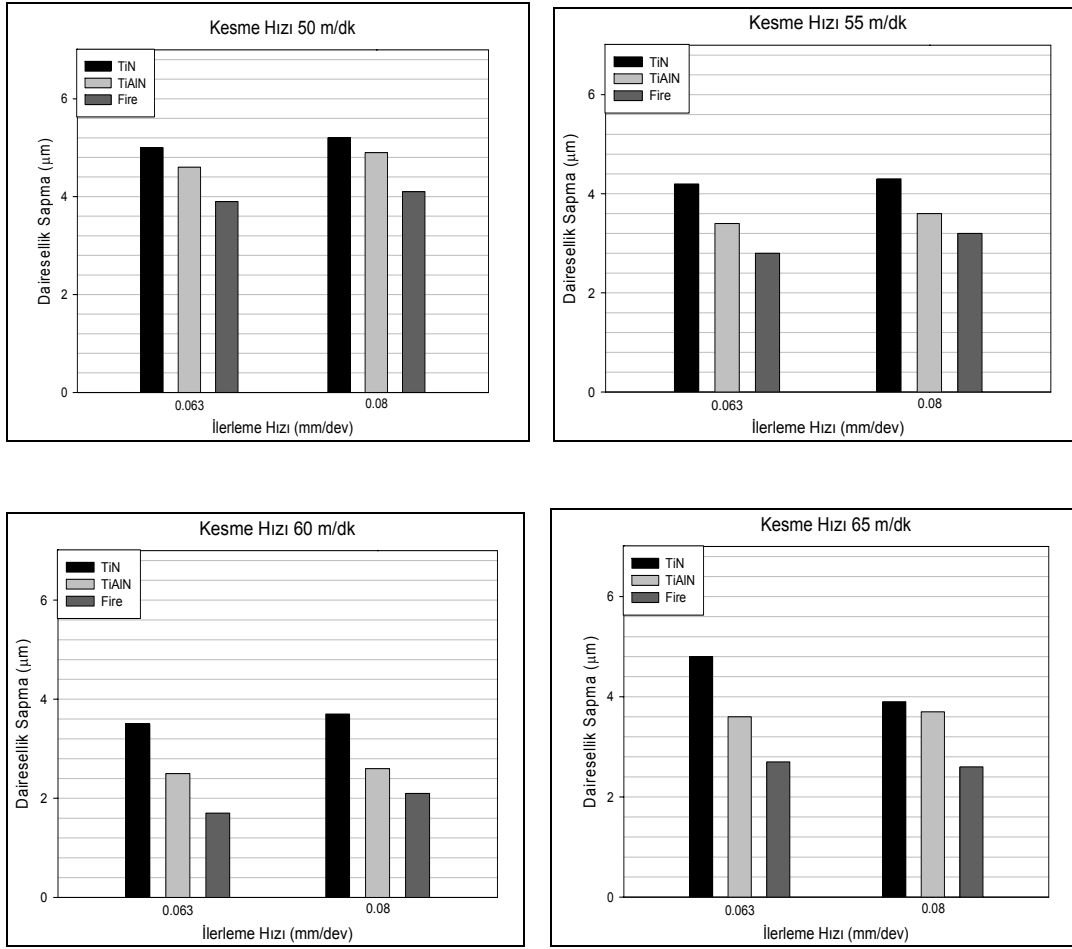
6.3.3. Dairesellik sapma değerlerinin genel değerlendirmesi

Şekil 6.12. TiN, TiAlN ve Fire kaplamalı matkap ile kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak ortalama dairesellikten sapma değerleri karşılaştırılmıştır. İki ilerleme ve dört kesme hızında üç farklı kaplamalı takımlarda elde edilen değerler karşılaştırılarak en düşük dairesellik sapma değerine sahip olan parametreler bulunmaya çalışılmıştır.

İlerleme hızları karşılaştırıldığında en düşük dairesellik sapma değerlerine 0,063 mm/dev ilerleme hızında ulaşılmıştır. Kesme hızları karşılaştırıldığında ise 60 m/dk

hızında en düşük dairesellik sapma değerleri elde edilmiştir. Kesme hızının artması belli bir yere kadar dairesellik değerlerini azaltmaktadır. Fakat belli bir değer üstüne çıktığında sapma değerleri artmaya başlamaktadır. En iyi sapma değerlerine ulaşmak için kesme hızı ve ilerleme hızı uyumunun dikkatli bir şekilde ayarlanması gerektiği görülmüştür.

Dairesellik sapma değerlerine etki eden diğer bir faktör ise kesici takım türüdür. Kullanmış olduğumuz TiN, TiAlN ve Fire kaplamalı matkaplar karşılaştırıldığında her birinde elde edilen dairesellik sapma değerleri farklı çıkmıştır. En iyi değerlere Fire kaplamalı takımlarda ulaşılmıştır. Buna sebep olarak Fire kaplamalı takımlarla delik esnasında ölçülen kesme kuvvetlerinin düşük olması ve takımın kaplama cinsi ve sertliği gösterilebilir. En kötü değerler ise TiN kaplamalı takımlarda oluşmuştur. Fire kaplamalı takımla 60 m/dk kesme hızı ve 0,063 m/dk ilerleme hızında ölçülen dairesellik sapma değeri 1,7 μm 'dir.



Şekil 6.12. TiN, TiAlN ve Fire kaplamalı matkap ile kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak ortalama dairesellikten sapma değerleri

6.4. Delik Yüzeylerinde Yüzey Pürüzlülüğünün Değerlendirilmesi

Yüzey pürüzlülüğüne etki eden birçok faktörün bulunduğu bilinmektedir. Deneylerde elde edilen deliklerden ölçülen ortalama Ra pürüzlülük değerleri, her takım için ve farklı kesme parametreleri karşılaştırılarak en iyi yüzeyi veren şartlar belirlenmeye çalışılmıştır.

6.4.1. TiN, TiAlN, Fire kaplamalı takımların 0,63 mm/dev ilerlemede yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi

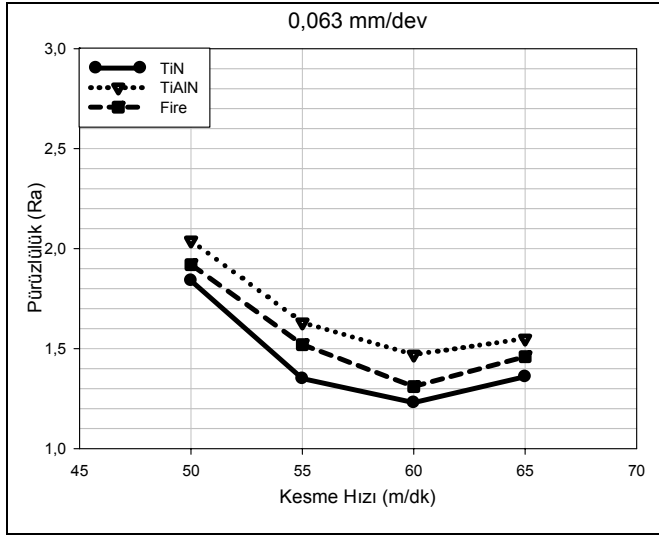
Şekil 6.13’de 0,063 mm/dev ilerlemede kesme hızının artışına göre ortalama pürüzlülük değerlerini karşılaştırmaktadır. 50 m/dk kesme hızında Ra değeri 1,84

olarak ölçülmüştür. Bu değer 55 m/dk kesme hızında 1,35 olmuştur. 60 m/dk kesme hızında daha azalarak 1,23'e gerilemiştir. 60 m/dk kesme hızından sonra yüzey pürüzlülük değerleri yükselişe geçmiştir. 65 m/dk kesme hızında Ra değeri 1,36 olarak ölçülmüştür.

TiAlN kaplamalı takımla 0,063 mm/dev ilerleme hızında delinen deliklerde kesme hızı 50 m/dk 'dan başlayarak ölçülen Ra değerleri sırası ile 2,04 - 1,63 - 1,47 ve 1,55 değerleridir. Bu takımla ölçülen değerler TiN kaplamalı takımla elde edilen pürüzlülük değerlerine paralellik göstermektedir.

Fire kaplamalı takımla ölçülen değerler 0,063 mm/dev ilerleme hızında kesme hızı 50 m/dk 'dan başlayarak ölçülen Ra ise sırası ile 1,92 - 1,52 - 1,31 ve 1,46 değerleridir.

TiN, TiAlN ve Fire kaplamalı takımlar 0,063 mm/dev ilerleme hızında birbirleri ile karşılaştırıldığında en düşük Ra değerlerine TiN kaplamalı takımda sonra Fire kaplamalı takımda en yüksek değerlere ise TiAlN kaplamalı takımda ulaşılmıştır. TiN kaplamalı takımla delinen deliklerin delik kalitesinin iyi çıkması TiN kaplamanın düşük sürtünme katsayısına sahip olması gösterilebilir. Fire kaplama ile elde edilen yüzey kalitesinin TiAlN kaplamalı takımla elde edilenden iyi olması ise Fire kaplamanın çoklu katmanla oluşması sonucu takım aşınmasının düşük olması gösterilebilir. Çünkü takımın aşınması sonucu elde edilen yüzey kalitesinin düştüğü bilinmektedir.



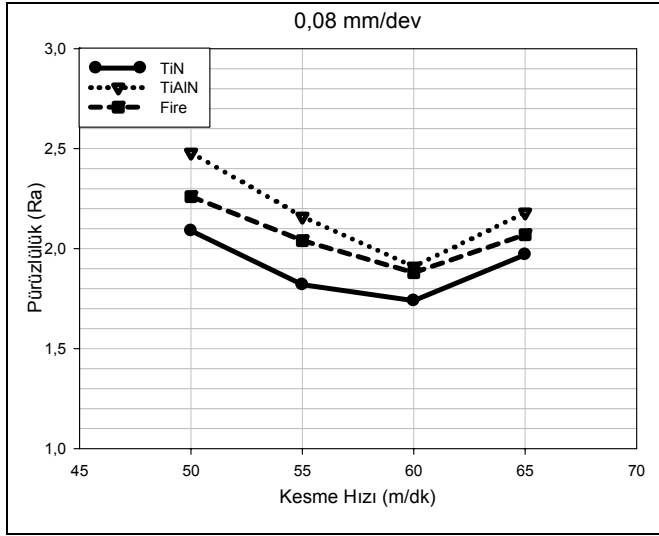
Şekil 6.13. TiN, TiAlN ve Fire kaplamalı matkap ile kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak ortalama dairesellikten sapma değerleri

6.4.2. TiN, TiAlN, Fire kaplamalı takımların 0,08 mm/dev ilerlemede yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi

Şekil 6.14’de TiN, TiAlN ve Fire kaplamalı matkap ile kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak ortalama dairesellikten sapma değerlendirilmiştir. TiN kaplamalı takımlarla 0,08 mm/de ilerlemede ölçülen pürüzlülük değerleri 50 m/dk kesme hızında Ra değeri 2,09, 55 m/dk kesme hızında Ra değeri 1,82, 60 m/dk kesme hızında Ra değeri 1,74, 65 m/dk kesme hızında ise Ra değeri 1,97 olarak ölçülmüştür. TiN takımıyla bu ilerleme hızında ölçülen Ra değerleri genel olarak kesme hızının artışı ile düşmüştür. 0,063 mm/dev ilerleme hızında olduğu gibi 60 m/dk kesme hızına kadar pürüzlülük değeri düşmüştür. 65 m/dk kesme hızından sonra pürüzlülük değerleri artmaya başlamıştır.

TiAlN kaplamalı takımlarla 0,08 mm/de ilerlemede ölçülen pürüzlülük değerleri 50 m/dk kesme hızından başlayarak sırası ile Ra değerleri 2,48 - 2,16 - 1,91 ve 2,18 olarak ölçülmüştür.

Fire kaplamalı takımlarla 0,08 mm/de ilerlemede ölçülen pürüzlülük değerleri ise 50 m/dk kesme hızından başlayarak sırası ile Ra değerleri 2,26 - 2,04 - 1,88 ve 2,07 olarak ölçülmüştür.



Şekil 6.14. TiN, TiAlN ve Fire kaplamalı matkap ile kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak ortalama dairesellikten sapma değerleri

6.4.3. Pürüzlülüğe kesme hızı ve ilerlemenin etkisi

Şekil 6.13 ve Şekil 6.14 incelendiğinde 0,08 mm/dev ilerleme hızında ölçülen Ra değerleri 0,063 mm/dev ilerleme hızında ölçülen Ra değerlerinin kesme hızının artışına göre değişimi paralellik göstermektedir. Fakat 0,08 mm/dev ilerleme hızında ölçülen Ra değerleri 0,063 mm/dev ilerlemedeki Ra değerlerinden belirgin olarak yüksek çıkmıştır. Bu sonuçlar pürüzlülük değerlerinin oluşumunda birinci derecede ilerleme hızının etkili olduğunu göstermektedir.

Pürüzlülük değerlerine etki eden birçok faktörün olduğu bilinmekle birlikte bazı parametreler daha fazla etkilidir. Yüzey pürüzlülüğünde ilerleme miktarının etkisinin kesme hızı ve talaş derinliğinin etkisinden daha belirgin olduğu bilinmektedir [73]. Yaptığımız deneyler sonucunda ilerleme hızı arttıkça kesme kuvvetlerinin arttığını tespit edilmiştir. Kesme kuvvetlerinin artması ile ortaya çıkan titreşimin delik yüzeyinin pürüzlülüğünde olumsuz etki meydana getirdiğini söyleyebiliriz.

Farklı kesme hızları kullanarak yapılan çalışmalarda, kesme hızının artması ile yüzey pürüzlülük değerlerinin azaldığı belirtilmiştir. Düşük kesme hızlarında talaş yığılma-sıvanma (BUE) olduğu ve yüzey kalitesinin kötüleştiği rapor edilmiştir [74]. Bu durumda kesme hızı ilerleme hızı kadar etkili olmamakla birlikte pürüzlülüğe etkisi

bulunmaktadır. Düşük kesme hızlarında oluşan (BUE) yüzey pürüzlülüğünü arttırmaktadır. Yüksek kesme hızlarında pürüzlülük değerleri azalmaktadır. Bu durumu ise artan kesme hızıyla birlikte, takım talaş temas uzunluğunun kısılmasına ve kesme kuvvetlerinin azalmasına, bu yüzden de deformasyonların küçülmesine bağlamışlardır [30].

6.4.4. Pürüzlülüğün genel değerlendirilmesi

Şekil 6.13 ve Şekil 6.14'deki grafiklerden faydalanarak AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin TiN, TiAlN ve Fire kaplamalı matkap ile farklı kesme ve ilerleme hızı ile delinmesi sonucu elde edilen delik yüzey pürüzlülük değerleri karşılaştırılmıştır.

Yüzey kalitesine birçok faktörün etki ettiği bilinmektedir. Yüzey pürüzlülük değerlerine etki eden en önemli faktörün ilerleme hızının olduğu sonucuna varılmıştır. Yapmış olduğumuz çalışmada en iyi sonuçlara 0,063 mm/dev ilerleme hızındaki TiN kaplamalı matkaplarla ulaşılmıştır. En iyi değer olan TiN kaplamalı matkapla 0,063 mm/dev ve 60 m/dk kesme hızında elde edilen Ra değeri 1,23 olarak ölçülmüştür.

6.5. Takım Aşınmasının Değerlendirilmesi

Bu bölümde TiN, TiAlN, Fire kaplamalı takım ile 65 m/dk kesme hızı 0,08 mm/dev ilerleme hızında 1565 delik sonrasında takımlarda meydana gelen aşınmalar değerlendirilmiştir. Aşınma deneyleri sonucunda en iyi aşınma direncine sahip takım belirlenmeye çalışılmıştır.

Takımla işleme etkin bir sürtünme ve aşınma işlemidir. Kesme boyunca takım aşınması hem kesici takımın ömrünü azaltır hem de iş parçasının yüzey pürüzlülük değerini artırır. Optimum işleme süreci maksimum talaş kaldırma miktarı ile minimum takım aşınma oranının elde edilmesidir. Bu uygun kesme parametrelerinin seçimi ile olur [74-76]. Kesme kuvveti ve tork talaş oluşumu için gerekli enerjiyi belirler [77].

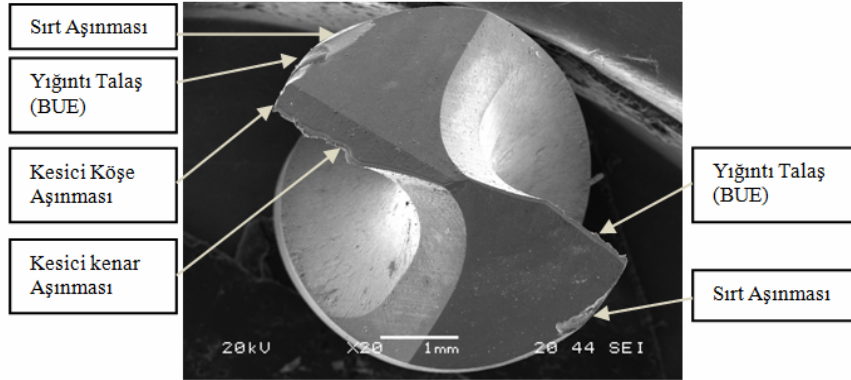
6.5.1. TiN kaplamalı takımda aşınma

AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin delinmesi esnasında TiN kaplamalı takım ile 65 m/dk kesme hızı 0,08 mm/dev ilerleme hızında 1565 delik sonrasına ait SEM görüntü Resim 6.1’de verilmiştir.

Matkabın sırt kısımlarında kopmalar meydana gelmiştir. Kopmaların ortalama boyu 1,5 mm olarak gözlemlenmiştir. Kopan parçaların bulunduğu alanlarda BUE oluştuğu gözlemlenmiştir. BUE oluşması, genellikle sıcaklık ve onunla ilişkili bir durum olan kesme hızının etkisindedir. BUE kesici kenar geometrisinde olumsuz değişikliğe sebep olur ve aynı zamanda takım malzemesi BUE biçiminde kaynaklanmış malzemeyle birlikte koparak uzaklaşabilir (Resim 6.1). Kesici takım malzemesi ile iş parçası malzemesi arasındaki yapı benzerliği de BUE oluşumunda önemli rol oynar. Takım yüzeyinde oluşan yığılma talaş, koparak uzaklaşır ve tekrar birikmeye başlayabilir veya kesici kenardan küçük parçacıkların kırılıp uzaklaşmasına, kırılmaya sebep olabilir [4,30].

Kesici kenarlarda çentiklenmeler gözlemlenmiştir. Kesici kenarlarda meydana gelen çentikler BUE ile meydana gelen yapışan talaşların kopmasıyla birlikte takımın bir parçasını da koparmıştır. Takımın bu kenarlarında meydana gelen aşınmalar matkaplarda yaygın olarak görülmektedir. Kesici köşe ve kenarlardaki aşınmalar takımın ömründe ve deliğin yüzey pürüzlülüğünde önemli bir etkidir.

Abrasiv aşınma çok yaygındır ve çoğunlukla iş parçası malzemesinin sert parçacıkları sebep olur. Sert parçacıklar iş parçası yüzeyi ile takım arasına geldiğinde, taşlama işlemine benzer bir durum oluşur. Kesici kenarın yan yüzeyinde aşınmaya sebep olan uç üzerindeki mekanik yüklerin sonucudur. Kesici takımın abrasive aşınmaya karşı direnç kabiliyeti önemli ölçüde sertliğine bağlıdır [30].

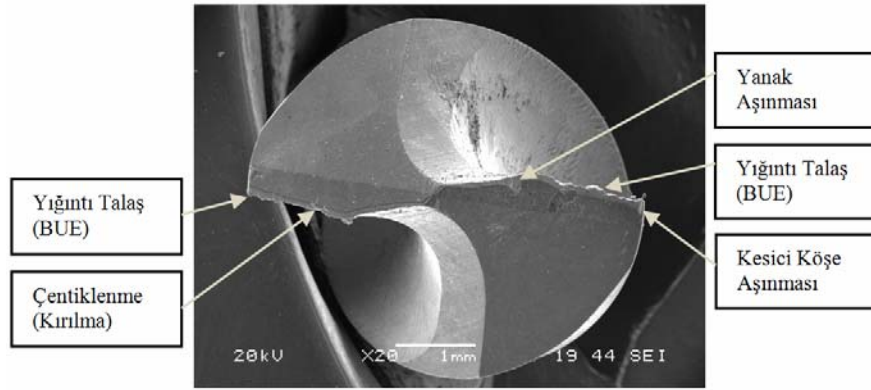


Resim 6.1. TiN kaplamalı takım ile 65 m/dk kesme hızı 0,08 mm/dev ilerleme hızında 1565 delik sonrasında ait SEM görüntüsü

6.5.2. TiAlN kaplamalı takımda aşınma

AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin delinmesi esnasında TiAlN kaplamalı takım ile 65 m/dk kesme hızı 0,08 mm/dev ilerleme hızında 1565 delik sonrasında ait SEM görüntü Resim 6.2’de verilmiştir.

TiAlN takımın aşınması incelendiğinde kesici kenarlarda BUE oluşumu olduğu fark edilmektedir. BUE oluşumunun sebep olduğu çentiklenmeler görülmektedir. Kesici kenarlarda meydana gelen çentiklerin boyutu ortalama 0,2 mm civarındadır. Takımın yanakları incelendiğinde çok küçük bir alanda yanak aşınması meydana gelmiştir. Kesici köşesinde BUE oluşumundan kaynaklı küçük bir kopma meydana geldiği gözlemlenmektedir.

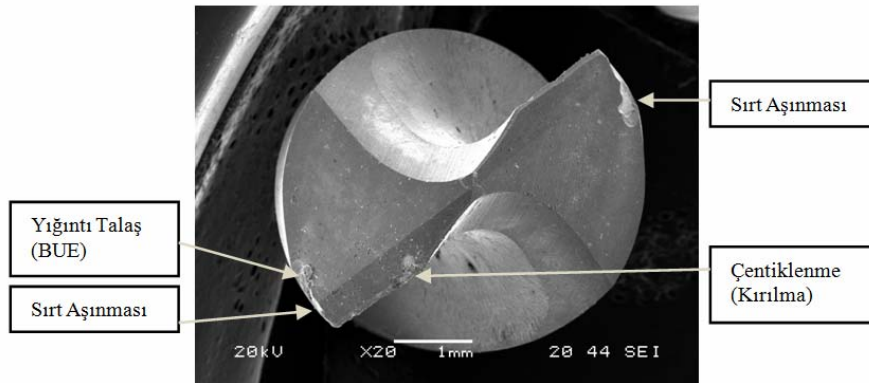


Resim 6.2. TiAlN kaplamalı takım ile 65 m/dk kesme hızı 0,08 mm/dev ilerleme hızında 1565 delik sonrasına ait SEM görüntüsü

6.5.2. Fire kaplamalı takımda aşınma

AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin delinmesi esnasında Fire kaplamalı takım ile 65 m/dk kesme hızı 0,08 mm/dev ilerleme hızında 1565 delik sonrasına ait SEM görüntü Resim 6.3’de verilmiştir.

Fire takımının aşınma sonuçları incelendiğinde takımın sırt kısmında yığıntı talaş (BUE) olduğu gözlemlenmiştir. BUE oluşumunun etkisi ile matkabın sırt kısmında kopmalar meydana gelmiştir. Takımın kesici kenarlarında ise çok küçük boyutlarda çentikler oluşmuştur. Fakat bu çentikler ihmal edilecek kadar küçük boyuttadır. Aynı şekilde takımın köşelerinde de önemli bir aşınma oluşmadığı görülmüştür.



Resim 6.3. Fire kaplamalı takım ile 65 m/dk kesme hızı 0,08 mm/dev ilerleme hızında 1565 delik sonrasına ait SEM görüntüsü

6.5.3. Takım aşınmasının genel değeriendirilmesi

Fire, TiN, TiAlN kaplamalı takımı AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin delinmesi esnasında meydana gelen aşınma değeri birbiri ile karşılaştırılarak aşınma direnci en iyi takım tespit edilmeye çalışılmıştır.

Üç farklı takımın aşınma miktarları karşılaştırıldığında en iyi aşınma değeri Fire kaplamalı takımında rastlanmıştır. İkinci iyi sonuç TiAlN kaplamalı takımı elde edilmiştir. En kötü değeri ise TiN kaplamalı takımında görülmüştür. Fire kaplamalı takımı elde edilen düşük aşınma değeri, Fire kaplamanın çok ince birçok katmandan oluşmasına ve en dış katmanındaki sert TiAlN kaplama katına bağlanabilir. Takımlar genel olarak incelendiğinde takımlarda çoğunlukla abrasive aşınma oluştuğu gözlemlenmiştir. Abrasiv aşınmanın malzemedeki sert parçacıkların takımı aşındırması ile oluştuğu düşünüldüğünde, bu aşınmaya karşı takım sertliği bu tip aşınma direncinde etkilidir. Takımın sertlik değeri abrasive aşınma için önemli bir etkiye sahiptir. TiN ile TiAlN kaplamalı takım karşılaştırıldığında sertlik değeri yüksek olan TiAlN kaplamalı takımındaki aşınma miktarı daha azdır.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

7.1. Sonuçlar

Bu çalışmada, AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin, soğutma sıvısı kullanmadan (kuru şartlarda) kaplamalı matkap delinebilirliği, deneysel olarak incelenmiştir. Bu çalışmada, kesme hızı, ilerleme miktarı ve kaplama türünün; kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü, delik çapı ve dairesellik sapma değerleri ve takım aşınması üzerindeki etkileri esas alınmıştır. Yapılan deneylerin sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Kesme kuvvetleri değerleri açısından TiN, TiAlN ve Fire kaplamalı takımlar ele alındığında en iyi performans Fire kaplamalı takımlar ile elde edilmiştir. Fire kaplamalı takımlarla yapılan deneylerde en düşük kesme kuvvetlerine bu takım ile ulaşılmıştır. Fire kaplamalı takımlar TiN kaplamalı takımdan, TiN kaplamalı takım ise TiAlN kaplamalı takımdan daha iyi performans göstermiştir. Fire kaplamalı takımın iyi performans göstermesi çok ince birden fazla katmandan oluşmasına bağlanabilir. TiN PVD (Fiziksel Buhar Biriktirme Yöntemi) kaplamalı takımın TiAlN PVD Katot-Atomizasyonu (Sputtern) kaplamalı takımdan daha iyi performans göstermesi ise farklı kaplama metodu ve kalınlıkları ile üretilmelerinden dolayı kesici uçta meydana gelen kavislenme miktarlarının farklı olmaları ile açıklanabilir.

Kesme kuvvetlerine etki eden birçok faktör bulunmaktadır. Bunlardan en önemlileri takım türü ve ilerleme hızıdır. Deneysel çalışmaların sonucunda kesme kuvvetine ilerleme hızının etkisinin diğer faktörlerden daha etkili olduğu sonucuna varılmıştır. 0,063 mm/dev ilerleme hızında ölçülen kesme kuvveti değerlerinin 0,08 mm/dev ilerleme hızında ölçülen değerlerden daha düşük çıktığı gözlemlenmiştir. Tüm parametrelerde en düşük kesme kuvveti değerine Fire kaplamalı takım ile 0,063 mm/dev ilerleme ve 60 m/dk kesme hızında ulaşılmıştır. Bu değer 554 N'dur.

Dairesellik değerlendirmelerinde 0,063 mm/dev ile 0,08 mm/dev ilerleme hızları karşılaştırıldığında, ilerleme hızı arttıkça ölçülen dairesellik değerlerinde de genel bir

artış gözlenmektedir. İlerleme hızı artışına paralel olarak dairesellik değerleri de artmıştır. İlerleme hızı arttıkça kesme kuvvetleri artmaktadır. Kesme kuvvetlerinin artması ile meydana gelen titreşimin dairesellik değerlerine olumsuz etki gösterdiği söylenebilir. En iyi dairesellik değerlerine 60 m/dk kesme hızı ve 0,063 mm/dev ilerleme hızında Fire kaplamalı takım ile elde edilen $\phi 5,0009$ mm değeri olmuştur. Bu sonuç kesme kuvvetleri ölçümlerinde elde edilen değerlere paralel bir sonuçtur.

Dairesellik sapma değerlerini yorumlamak için ilerleme hızları karşılaştırıldığında en düşük dairesellik sapma değerlerine 0,063 mm/dev ilerleme hızında ulaşılmıştır. Kesme hızları karşılaştırıldığında ise 60 m/dk hızında en düşük dairesellik sapma değerleri elde edilmiştir. Kesme hızının artması belli bir yere kadar dairesellik değerlerini azaltmaktadır. Fakat belli bir değerin üstüne çıktığında dairesellik sapma değerleri artmaya başlamaktadır. En iyi sapma değerlerine ulaşmak için kesme hızı ve ilerleme hızı uyumunun dikkatli bir şekilde ayarlanması gerektiği görülmüştür. Dairesellik sapma değerlerine etki eden diğer bir faktör ise kesici takım türüdür. Kullanmış olduğumuz TiN, TiAlN ve Fire kaplamalı matkaplar karşılaştırıldığında her birinde elde edilen dairesellik sapma değerleri farklı çıkmıştır. En iyi değerlere Fire kaplamalı takımlarda ulaşılmıştır. Buna sebep olarak Fire kaplamalı takımlarla delik esnasında ölçülen kesme kuvvetlerinin düşük olması ve takımın kaplama cinsi ve sertliği gösterilebilir. En kötü değerler ise TiN kaplamalı takımlarda oluşmuştur. Fire kaplamalı takım ile 60 m/dk kesme hızı ve 0,063 m/dk ilerleme hızında ölçülen dairesellik sapma değeri $0,9 \mu\text{m}$ 'dir.

Yüzey pürüzlülük değerine birçok faktörün etki ettiği bilinmektedir. Yüzey pürüzlülük değerlerine etki eden en önemli faktörün ilerleme hızı olduğu sonucuna varılmıştır. Yapmış olduğumuz çalışmada en iyi sonuçlara 0,063 mm/dev ilerleme hızındaki TiN kaplamalı matkaplarla ulaşılmıştır. En iyi değer olan TiN kaplamalı matkapla 0,063 mm/dev ve 60 m/dk kesme hızında elde edilen R_a değeri 1,23 olarak ölçülmüştür.

Aşınma deneyleri sonucunda üç farklı takımın aşınma miktarları karşılaştırıldığında en iyi aşınma değerlerine Fire kaplamalı takımında rastlanmıştır. İkinci iyi sonuç

TiAlN kaplamalı takım ile elde edilmiştir. En kötü değerler ise TiN kaplamalı takımda görülmüştür. Fire kaplamalı takım ile elde edilen düşük aşınma değeri, Fire kaplamasının çok ince birçok katmandan oluşmasına ve en dış katmanındaki sert TiAlN kaplama katına bağlanabilir. Takımlar genel olarak incelendiğinde takımlarda çoğunlukla abrasive aşınma olduğu gözlemlenmiştir. Abrasiv aşınmanın malzemedeki sert parçacıkların takımı aşındırması ile olduğu düşünüldüğünde, bu aşınmaya karşı takım sertliği bu tip aşınma direncinde etkilidir. Takımın sertlik değeri abrasive aşınma için önemli bir etkiye sahiptir. TiN ile TiAlN kaplamalı takım karşılaştırıldığında sertlik değeri yüksek olan TiAlN kaplamalı takımındaki aşınma miktarı daha az olduğu sonucuna varılmıştır.

7.2. Öneriler

- i. Aşınma performansı göz önüne alındığında AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin delinmesinde Fire kaplamalı takımların kullanılması önerilebilir.
- ii. Yüzey pürüzlülük değerleri yönünden deney sonuçları incelendiğinde AISI D2 soğuk iş takım çeliği delinirken TiN kaplamalı takım ile en iyi sonuçlar elde edildiğinden bu takım tavsiye edilebilir.
- iii. Kesme ve ilerleme hızı tespitinin önemli olduğu sonucuna varılmıştır. Bu nedenle AISI D2 soğuk iş takım çeliği 5 mm çapında kaplamalı takım için 0,063 ilerleme hızı ve 60 m/dk kesme hızı tercih edilmelidir. Özellikle 0,063 ilerleme hızının üstüne çıkılmamalıdır. Çünkü ilerleme hızı takım aşınması ve pürüzlülük değeri üzerinde etkili bir parametredir.
- iv. Bu deneysel çalışmada üzerinde durulamayan fakat delinebilirliğe etkisi olan;
 - Deneylerde kullanılmayan farklı takım türlerinin AISI soğuk iş takım çeliğinin delinebilme performanslarının değerlendirilmesi,
 - Farklı kesme geometrisine sahip matkapların kesme özelliklerinin belirlenmesi,

- Kullanılan farklı türdeki takımların ömürlerinin hesaplanması ve ömre etki eden parametrelerin belirlenmesi,
- Deneylerde kullanılan iki ilerleme hızı (0,063- 0,08 mm/dev) değerlerine ek olarak yakın birkaç ilerleme hızının kesme şartlarına etkisinin araştırılması,
- Kuru şartlarda yapılan deneylerin etkisine ek olarak farklı soğutma türlerinin takım ömrüne ve aşınmasına etkisinin araştırılması,
- Delme esnasında oluşan sıcaklığın ölçülerek takımın performansına etkisinin araştırılması, gibi çalışmalar yapılabilir.

KAYNAKLAR

1. Korucu S., “Delik İşlemlerinde Kesiciler Üzerine Etki Eden Gerilmelerin Matematiksel Olarak Modellenmesi”, Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 1-40 (2007).
2. Kurt, A., “Talaş Kaldırma Sırasında Oluşan Kesme Kuvvetleri ve Mekanik Gerilmelerin Deneysel Olarak İncelenmesi ve Matematiksel Modellerinin Oluşturulması”, Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, 7-15 (2006).
3. Tekiner, Z., “Grup teknolojisi tabanlı bilgisayar destekli işlem planlaması”, Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 5-12 (1999).
4. Çakır, M.C., “Modern Talaşlı İmalat Yöntemleri”, **Vipaş A.Ş.**, Bursa, 350-390 (2000).
5. Kaynak, Y., “Matkap ile delik delme esnasında kesme parametrelerinin kesme kuvveti ve sıcaklığının değişimine etkisinin deneysel olarak incelenmesi”, **Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 6-7 (2006).
6. Guhring, “Catalog”, 1557 (2009).
7. Kıvak, T., “INCONEL 718’in Delinebilirliğinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 21-33 (2007).
8. Tonshoff, H.L., Spintig, W., König, W., Neises, A., “Machining of Holes Developments in Drilling Technology”, **Annals of the CIRP**, 43 (2): 551-560 (1994).
9. Turgut, Y., Korkut, İ., “Talaşlı İmalatta Kesme Kuvveti Ölçme Sistemleri”, **Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS’09)**, Karabük, 13-15 Mayıs (2009).
10. Şeker, U., Kurt, A., Çiftçi, İ., “Design And Construction Of A Dynamometer For Measurement of Cutting Forces During Machining With Linear Motion”, **Materials and Design**, 23: 355-360 (2002).
11. Günay, M., “Talaş Kaldırma İşlemlerinde Kesici Takım Talaş Açısının Kesme Kuvvetlerine Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 40-49 (2003).
12. Demir, H., Güllü, A., “Taşlama parametrelerinin taşlama kalitesine etkilerinin incelenmesi”, **Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi**, 7: 189-198 (2001).

13. Demir, H., Güllü A., Şeker, U., “Düzlem Taşlama İşleminde Taşlama Kuvvetlerinin Ölçülmesi İçin Bir Dinamometre Tasarımı ve İmalatı”, **Teknoloji-ZKÜ Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Dergisi**, 9 (2): 111-118 (2006).
14. Oğuz, S., “Teknik Mekanik I (Statik), Çözümlü Problemler”, **Bilim Teknik Kitabevi**, Eskişehir, 1-58 (1985).
15. Işık, Y., Çakır M.C., “Takım Çeliklerinin Talaşlı İmalatında Kesme Kuvvetleri İle Takım Ömrü Arasındaki İlişkinin Deneysel Olarak İncelenmesi”, **IX. Mühendislik Sempozyumu**, 2-4 (2000).
16. Akkurt, M., “Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları”, **Birsan Yayınevi**, Ankara, 8-50 (1998).
17. Erdoğan, M., ”Mühendislik Alaşımların Yapı ve Özellikleri”, **Nobel yayın Dağıtım**, Ankara, 45- 67 (2001).
18. Akkurt, A., Ovalı, İ., “Ezme ve Geleneksel Bitirme İşlemlerinin Al 6061 Alüminyum Alaşımı Parçaların Yüzey Pürüzlülüğü ve Daireselliği Üzerine Etkisi”, **Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi**, 15 (3): 371-382 (2009).
19. Qimi, J., Hsi-Yung, F., Daoshan O.Y., Desta, M.T., “A Roundness Evaluation Algorithm with Reduced Fitting Uncertainty of CMM Measurement Data”, **Journal of Manufacturing Systems**, 25 (3): 184-195 (2006).
20. Pınar, A.M., Güllü, A., “ Dairesellik Hatası Ölçümünde Kullanılan Yöntemlerin İncelenmesi”, **Journal of Polytechnic**, 10 (2): 137-144 (2007).
21. Evkaya, M., “Metallerde aşınmaya karşı yapılan kaplamada uygun toz materyali ve kaplama yönteminin bilgisayar destekli seçimi”, Yüksek Lisans Tezi, **Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, Türkiye, 27 (2003).
22. Shatla, M., Altan, T., ”Analytical modeling of drilling and ball end milling”, **Journal of Materials Processing Technology**, 98: 125-133 (2000).
23. Choudhury, S.K., Raju, G., ”Investigation into crater wear in drilling”, **International Journal of machine Tools&manufacture**, 40: 887-898 (2000).
24. Mahfouz, I., “Drilling wear detection and classification using vibration signals and artificial neural network”, **International Journal of Machine Tools & Manufacture**, 43: 707-720 (2003).
25. Avuncan, G., “Kesici Takımların Bilenmesi”, **Mavi Tanıtım ve Pazarlama Ltd. Sti. Yayınları**, Gebze, 62-80 (1998).
26. Bahar, E.M., “Titreşim Sebepi Yüzey Kalitesi Üzerinde Takım Tutucu Modifikasyonlarının Etkisinin Deneysel Olarak Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 25-36 (2006).

27. Apay, S., “Tozaltı Sert Dolgu Kaynağına Bor Tozu İlavesinin Aşınma Özellikleri Üzerine Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, 30-52 (2007).
28. Altıntaş, Y., “Manufacturing Automation”, **Cambridge University Pres**, United Kingdom, 62-65 (2000).
29. Soylu, A., “Bir Delme Dinamometresi Tasarım Ve İmalatı İle HSS–1040 Malzeme Çiftinde İlerleme Kuvveti Ve Döndürme Momentinin Analizi”, **Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Konya, 14 (2007).
30. Gezgin, A., “Prizmatik Parçaların Frezelenmesi Esnasında, Kesici Uç Sayısının Takım Ömrü Ve Yüzey Pürüzlülüğü Açısından Değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 47-50 (2007).
31. Ay, M., “CNC freze tezgahında frezeleme esnasında oluşan kesme kuvvetlerinin ve titreşimlerin yüzey pürüzlülüğüne etkilerinin incelenmesi”, Doktora Tezi, **Sakarya Üniversitesi Makine Eğitimi Bölümü**, Sakarya, 22–35 (2003).
32. Can, A., “AISI 5140 çeliğinin sermet, PVD ile TiAlN-CVD ile TiN kaplanmış kesici uçlarla tormalanmasında kesme değişkenleri, kaplama cinsi ve takım aşınmasının yüzey pürüzlülüğüne etkisinin deneysel olarak incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Makine Eğitimi Bölümü**, Ankara, 13–23, 94–98 (2003).
33. Bayrak, M., “Kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi ve uzman sistemle karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü**, Ankara, 1–35 (2002).
34. Er, A.O., “İslenmesi Güç Malzemelerin Talaşlı Üretiminde Kesici Performanslarının Araştırılması”, Doktora Tezi, **Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Kırıkkale, 1-50 (2008).
35. Koçak, H., “Takım Çelikleri El Kitabı”, **Sağlam Metal**, IV. Baskı, 1-30 (2006).
36. Bozkurt, T., “TiN, TiAlN ve Altın Kaplamaların Aşınma Performanslarının İncelenmesi Ve Farklı Altlık Malzemede TiN Kaplamanın Etkisinin Araştırılması”, **Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü**, Gebze,3 (2006).
37. Budinski, K.G., “Engineering Materials, Properties and Selection”, **Prentice Hall**, New Jersey, 373-374 (1992).
38. Robert, G.A., Cary, R.A., “Tool Steels”, **ASM International**, 5: 493 (1998).
39. Akça, G., “Takım Çeliklerinin Kaynağı”, Yüksek Lisans Tezi, **Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 25-46 (2006).

40. Rossi, B.E., "Welding Engineering", *Mcgraw Hill Book company, Inc*, 62-76 (1954).
41. Erdoğan, M., "Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri", *Nobel Yayın Dağıtım*, 2: 15-37 (1998).
42. Güleç, Ş., Aran, Ş., "Malzeme Bilgisi", *MBEAE Matbaası*, 42-84 (1987).
43. Avner, S.H., "Introduction to Physical Metallurgy", *Glencoe/Mcgraw-Hill*, 2: 400-405 (1985).
44. Staia, M.H., Delgado, Y.P., Sanchez, C., Castro, A., Bourhis, E.L., Cabrera, E.S.P., "Hardness properties and high-temperature wear behavior of nitrided AISI D2 tool steel, prior and after PAPVD coating", *Wear*, 267(9): 1452-1461 (2009).
45. Fathallah, B.B., Fredj, N.B., Sidhom, H., Braham, C., Ichida, Y., "Effects of abrasive type cooling mode and peripheral grinding wheel speed on the AISI D2 steel ground surface integrity", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 49: 261-272 (2009).
46. Zou, J.X., Grosdidier, T., Zhang, K.M., Dong, C., "Cross-sectional analysis of the graded microstructure in an AISI D2-steel treated with low energy high-current pulsed electron beam", *Applied Surface Science*, 255: 4758-4764 (2009).
47. Das, D., Dutta, A.K., Ray, K.K., "Influence of varied cryotreatment on the wear behavior of AISI D2 steel", *Wear*, 266: 297-309 (2009).
48. Jeong, Y.K., Kang, M.C., Kwon, S.H., Kim, K.H., Kim, H.G., Kim, J.S., "Tool life of nano composite Ti-Al-Si-N coated end-mill by hybrid coating system in high speed machining of hardened AISI D2 steel", *Current Applied Physics*, 9: 141-144 (2009).
49. Kang, M.C., Kim, K.H., Shin, S.H., Jang, S.H., Park, J.H., Kim, C., "Effect of the minimum quantity lubrication in high-speed end-milling of AISI D2 cold-worked die steel (62 HRC) by coated carbide tools", *Surface & Coatings Technology*, 202: 5621-5624 (2008).
50. Tercelj, M., Turk, R., Kugler, G., Perus, I., "Neural network analysis of the influence of chemical composition on surface cracking during hot rolling of AISI D2 tool steel", *Computational Materials Science*, 42: 625-637 (2008).
51. Surberg, S.H., Stratton, P., Lingenho, K., "The effect of some heat treatment parameters on the dimensional stability of AISI D2", *Cryogenics*, 48: 42-47 (2008).

52. Özel, T., Karpat, Y., Figueira, L., Davim, J. P., “Modelling of surface finish and tool flank wear in turning of AISI D2 steel with ceramic wiper inserts”, *Journal of Materials Processing Technology*, 189: 192–198 (2007).
53. Han-Ming, C., Shin-Min, L., Lieh-Dai, Y., “Machining characteristic study of friction drilling on AISI 304 stainless steel”, *Journal Of Materials Processing Technology*, 207: 180–186 (2008).
54. Heinemann, R., Hinduja, S., Barrow, G., Petuelli, G., “Effect of MQL on the tool life of small twist drills in deep-hole drilling”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 46: 1–6 (2006).
55. Sharman, A.R.C., Amarasinghe, A., Ridgway, K., “Tool life and surface integrity aspects when drilling and hole making in Inconel 718”, *Journal Of Materials Processing Technology*, 200: 424–432 (2008).
56. Basavarajappa, S., Chandramohan, G., Davim, J.P., “Some studies on drilling of hybrid metal matrix composites based on Taguchi techniques”, *Journal Of Materials Processing Technology*, 196: 332–338 (2008).
57. Sharif, S., Rahim, E.A., “Performance of coated- and uncoated-carbide tools when drilling titanium alloy-Ti-6Al4V”, *Journal of Materials Processing Technology*, 185: 72–76 (2007).
58. Feng, K., Jun, N., Stephenson, D.A., “Continuous chip formation in drilling”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 45: 1652–1658 (2005).
59. Wain, N., Thomas, N.R., Hickman, S., Wallbank, J., Teer, D.G., “Performance of low-friction coatings in the dry drilling of automotive Al–Si alloys”, *Surface & Coatings Technology*, 200: 1885 - 1892 (2005).
60. Cantero, J.L., Tardi, M.M., Canteli, J.A., Marcos, M., Miguelez, M.H., “Dry drilling of alloy Ti-6Al-4V”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 45: 1246–1255 (2005).
61. Tosun, G., Muratoğlu, M., “The drilling of an Al/SiCp metal-matrix composites, Part I: microstructure”, *Composites Science and Technology*, 64: 299–308 (2004).
62. Gaitonde, V.N., Karnik, S.R., Achyutha, B.T., Siddeswarappa, B.T., “Taguchi optimization in drilling of AISI 316L stainless steel to minimize burr size using multi-performance objective based on membership function”, *Journal of Materials Processing Technology*, 202: 374–379 (2008).
63. Gaitonde, V.N., Karnik, S.R., Achyutha, B.T., Siddeswarappa, B.T., “Genetic algorithm-based burr size minimization in drilling of AISI 316L stainless steel”, *Journal of Materials Processing Technology*, 197: 225–236 (2008).

64. Firouzdor, V., Nejati, E., Khomamizadeh, F., “Effect of deep cryogenic treatment on wear resistance and tool life of M2 HSS drill”, *Journal of Materials Processing Technology*, 206: 467–472 (2008).
65. Guu, Y.H., Hocheng, H., “Improvement of fatigue life of electrical discharge machined AISI D2 tool steel by TiN coating”, *Materials Science and Engineering*, 318: 155-162 (2001).
66. Dubar, M., Dubois, A., Dubar, L., “Wear analysis of tools in cold forging: PVD versus CVD TiN coatings”, *Wear*, 259: 1109–1116 (2005).
67. Chen, W.C., Liu, X.D., “Study on the various coated twist drills for stainless steels drilling”, *Journal of Materials Processing Technology*, 99: 226-230 (2000).
68. 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: 164-171 (1997).
69. Castanho, J. M., Vieira, M. T., “Effect of ductile layers in mechanical behaviour of TiAlN thin coatings”, *Journal of Materials Processing Technology*, 143-144: 352–357 (2003).
70. Shin, M.L., Han Ming C., Huang, F.Y., Yan, B.H., “Friction drilling of austenitic stainless steel by uncoated and PVD AlCrN- and TiAlN-coated tungsten carbide tools “, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 49: 81-88 (2009).
71. Michael, F., Kahles, J.F., Koster, W.P., “Surface finish and surface integrity”, *American Society for Metals*, 3: 468-475 (1989).
72. Diniz, A.E., Filho, J.C., “Influence of the relative positions of tool and workpiece on tool life, tool wear and surface finish in the face milling process”, *Wear*, 232: 67–75 (1999).
73. Çiftçi, I., “Östenitik Paslanmaz Çeliklerin İşlenmesinde Kesici Takım Kaplamasının Ve Kesme Hızının Kesme Kuvvetleri ve Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 20 (2): 2005–2009 (2005).
74. Wang, J., Liu, Y.B., An, J., Wang, L.M., “Wear Mechanism Map of Uncoated Hss Tools During Drilling Die-Cast Magnesium Alloy”, *Wear*, 265: 685–691 (2008).
75. Zhang, M.Z., Liu, Y.B., Zhou, H., “Wear Mechanism Maps of Uncoated Hss Tools Drilling Die-Cast Aluminum Alloy”, *Tribol. Int.*, 34: 727–731 (2001).
76. Lim, X.P., Li, H.H., Ng, S.C., “A Predictive Mapping System For Tool Wear In Metal Cutting”, *J. Mater. Process. Technol.*, 89-90: 279–286 (1999).

77. Bakkal, M., Shih A.J., McSpadden, S.B., Scattergood, R.O., “Thrust Force, Torque And Tool Wear In Drilling The Bulk Metallic Glass”, ***International Journal of Machine Tools & Manufacture***, 45: 863–872 (2005).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : AKINCIOĞLU Sıtkı
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 1981, Dört Yol
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (505) 460 64 75
 e-mail : sitkiakincioglu@duzce.edu.tr
 Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makina Resmi ve Konstrüksiyonu Öğretmenliği Bölümü	2005

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2005 – 2006	Melkuç Makine Siteler/ ANKARA	Makine ressamı
2006 – 2008	Temelsu Uluslararası Müh. A.Ş Yıldızevler / ANKARA	Makine ressamı
2008 – (...)	DÜZCE ÜNİVERSİTESİ Gümüşova Meslek Yüksekokulu Gümüşova / DÜZCE	Öğretim Görevlisi

İdari Görevler

Yıl	Yer	Görev
2008 – 2009	DÜZCE ÜNİVERSİTESİ Gümüşova Meslek Yüksekokulu Gümüşova / DÜZCE	Yüksekokul Sek. V.
2009 – (....)	DÜZCE ÜNİVERSİTESİ Gümüşova Meslek Yüksekokulu Gümüşova / DÜZCE	Müdür Yardımcısı