

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SPİRAL MATKAP UÇ GEOMETRİLERİ ve TALAŞ
KALDIRMAYA ETKİLERİ

Makina Müh. Sabri ÖZTÜRK

FBE Makina Mühendisliği Anabilim Dalı İmal Usulleri Programında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON BİRİMİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Erhan ALTAN

Prof. Dr. Erhan ALTAN

Prof. Mehmet Emin YÜREK

Prof. Dr. Tarık GÖKÇEN

İSTANBUL, 2001

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iv
KISALTMA LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	xii
ÖNSÖZ	xiii
ÖZET	xiv
ABSTRACT	xv
1. GİRİŞ	1
2. TALAŞ KALDIRMA TAKIMLARI	2
3. DELİK DELME ve İŞLEME TAKIMLARI	4
3.1 Klasik Spiral Matkap	6
3.1.1 Klasik Spiral Matkabın Yapısı	6
3.1.2 Matkap Geometrisinin ve Titreşimlerin Talaş Kaldırmaya Etkileri	8
3.1.2.1 Öz Kalınlığının Talaş Kaldırmaya Etkisi	9
3.1.2.2 Kesici Ağız Serbest Açısının Talaş Kaldırmaya Etkisi	10
3.1.2.3 Helis Açısının Talaş Kaldırmaya Etkisi	11
3.1.2.4 Radyal Ağız Talaş Kaldırmaya Etkisi	23
3.1.2.5 Delme İşleminde Girdaplı Titreşim ve Etkileri	32
3.1.2.5.1 Radyal Ağız Girdaplı Titreşime Etkisi	33
3.1.2.5.2 Serbest Yüzey ve Matkap Geometrisinin Titreşime Etkisi	38
3.1.2.5.3 Girdaplı Titreşimin Davranışı	43
3.1.2.6 Delme İşleminde Düzensiz Titreşim ve Etkileri	46
3.2 Değişik Uç Geometrilili Matkaplar	53
3.2.1 Çift Konili Matkap	53
3.2.2 İnce Çekirdekli Matkaplar	54
3.2.3 Ernst ve Tuggerty Spiral Uçlu Matkap	54
3.2.4 Talaş Kırıcı Matkaplar	55
3.2.4.1 Talaş Kırma Yivlerinin Talaş Kaldırmaya Etkisi	56
3.2.5 Çok Yüzeyle Matkaplar	64
3.2.5.1 Çok Yüzeyle Matkapların Fonksiyonel Dizaynı	65
3.2.5.2 Çeşitli Malzemeler İçin Geliştirilmiş Özel Çok Yüzeyle Matkaplar	67
3.2.5.3 Çok Yüzeyle Matkapların Matematik Modeli	73
3.2.5.4 Çok Yüzeyle Matkapların Bilgisayar Ortamında Çizimi	85
3.2.5.5 Uç Geometrisi Dört Yüzeyle Olan Matkap	87
3.2.6 Split Uçlu Matkaplar	92
3.2.6.1 Zhirov Split – Uçlu Matkap	92
3.2.6.2 Oxford Split – Uçlu Matkap	93

3.2.6.3	Split Uçlu Matkabın Matematik Modeli.....	93
3.2.6.3.1	Matematik Modelle Belirlenen Örnek Yüzey ve Bileme Parametreleri.....	102
3.2.7	Üç Kesme Ağza Sahip Spiral Matkaplar.....	105
3.2.7.1	Üç Kesici Ağza Sahip HSS Spiral Matkap.....	105
3.2.7.1.1	Üç Kesici Ağza Sahip HSS Matkap İçin Yapılan Çalışmalar.....	108
3.2.7.1.2	Delik Hassasiyetinin Klasik Matkapla Karşılaştırılması.....	110
3.2.7.1.3	Üç Kesme Ağza Sahip Matkabın Delme Performansı.....	116
3.2.7.2	Sert Metal Malzemeli Üç Kesici Ağza Sahip Spiral Matkap.....	124
3.2.7.2.1	Delik Hassasiyetinin Belirlenmesi İçin Yapılan Çalışmalar.....	124
3.2.7.2.2	Delik Hassasiyeti Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	126
3.2.8	New Point Drill (NPD) Yeni Uçlu Matkap.....	132
3.2.8.1	Bu Konuda Yapılan Çalışmalar.....	133
3.2.8.2	Klasik HSS Matkap ile Kesme Performansının Karşılaştırılması.....	140
3.2.9	Yüksek Performans Matkapları.....	143
3.2.10	Kesme Sıvısı Kanallı Spiral Matkaplar.....	145
3.2.10.1	Avantajları ve Sınırlamaları.....	145
3.2.10.2	Çeşitleri.....	147
4.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	149
4.1	Deney Şartları ve Düzenegi.....	149
4.2	Deneyin Uygulanışı.....	151
4.3	Elde Edilen Sonuçlar.....	159
5.	SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	166
	KAYNAKLAR.....	168
	ÖZGEÇMİŞ.....	170

SİMGE LİSTESİ

a	Matkap ucu eliptik yörüngesinin ana eksenini
b	Matkap ucu eliptik yörüngesinin yardımcı eksenini
Ax	Chatter vibrasyon için yatay genlik
Ay	Chatter vibrasyon için dikey genlik
b	Radyal ağız boyu
cln ₁	Normal boşluk açısı
c _{t,o}	Matkaptaki boşluk açısı
d	Merkezleme çapı
D	Matkap çapı
D _u	Ön delik çapı
f	İlerleme değeri
f	Chatter vibrasyon frekansı
fn1	Eğilme natürel frekansı (birinci mod için)
fn2	Eğilme natürel frekansı (ikinci mod için)
H	Delme derinliği
H _e	Kesici ağız yüksekliği
H*	Delik derinliğinin ağız yüksekliğine oranı
H _i	Girdaplı vibrasyon başlangıç sınır derinliği
H _i *	Girdaplı vibrasyon başlangıç sınır derinliğinin ağız yüksekliğine oranı
Hci	Chatter vibrasyon başlangıç sınır derinliği
H	Delinen delik derinliği
\bar{H}	Düzeltilmiş delme sayısına göre takım ömrü
HL	Radyal ağız boyu optimal helis açısı
h _n	Yiv derinliği
I _p	Polar atalet momenti
L	Matkabin tüm boyu
L _c	Radyal ağız boyu
Nc	Chatter number
Nw	Whirling number
S	İlerleme oranı
W _t	Öz kalınlıkları
x	Matkap ucunun yatay yer değiştirmesi
X	Yatay girdaplı vibrasyon genliği
y	Matkap ucunun dikey yer değiştirmesi
Y	Dikey girdaplı vibrasyon genliği
Y _τ	Talaş açısı
Y _{av}	Matkap ucunun ortalama dikey yer değiştirmesi
Δℓ	Birim kesici kenar uzunluğu
ς	Kesici kenardaki referans açısı
ℓ	Kesici ağız boyu
γ _o	Kesici ağzın en dış noktasındaki serbest açı
Ψ	İç kesme ağzı eğimi
ζ	Ana eksenle x eksenini arasındaki eğim
α	Boşluk açısı
β	İlerleme açısı
τ	Kayma bölgesindeki kayma gerilmesi
δ	Boşluk açısı
θ	Konik açısının yarısı

ϕ	Matkap eksenini ile konik eksen (cone axes) arasındaki açı
ξ	Radyal ağız açısı
Ω	Split açısı
λ	Talaş yüzeyindeki sürtünme açısı
ϕ	Z* ekseninin eğim açısı
β	Çentik talaş açısı (notch rake angle)
β	Eğim açısı
ψ, ψ'	Radyal ağız açısı ve onun bütünleyicisi
$\omega, \omega', \omega_0$	Kesici kenar, radyal ağız köşesi ve diğer köşeler için matkap çekirdek açıları
δ, δ_0	Kesici kenardaki her nokta ve dış kenardaki helis açısı
θ_c	Değişim indeksi (collision index)
η_c	Matkap kesici kenar elemanları için talaş yüzeyindeki talaş açısı
ϕ_n	Normal kayma gerilmesi açısı
β_n	Çentik açısı
λ_n	Normal sürtünme açısı
α_n, α_{nD}	Statik ve dinamik boşluk açısı
γ_n, γ_{nD}	Statik ve dinamik normal talaş açısı
σ^o	Helis açısı
γ_{ref}	Kesici kenardaki referans talaş açısı
$2\gamma_w$	Radyal ağız kama açısı
$2K$	Matkap uç açısı
$2p$	Belirli matkap uç açısı
$2t$	Öz kalınlığı
$2w$	Matkap ucundaki öz kalınlığı

KISALTMA LİSTESİ

A.B.D	Amerika Birleşik Devletleri
ASME	American Society of Mechanical Engineers
NPD	New Point Drills
MFD	Multifacet Drills
SEM	Scanning Electron Microscope



ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1	Tek kesen ağızlı talaş kaldırma takımı.....2
Şekil 2.2	İki kesen ağızlı spiral matkap.....2
Şekil 2.3	Çok kesen ağızlı talaş kaldırma takımları.....3
Şekil 3.1	İşlem sayısına göre delme işleminin diğer talaş kaldırma işlemleriyle karşılaştırılması.....4
Şekil 3.2	Talaş kaldırma sürelerine göre delme işleminin diğer talaş kaldırma işlemleriyle karşılaştırılması.....5
Şekil 3.3	Rayba takımı.....5
Şekil 3.4	DIN 8589'a göre raybalama işlemi a) silindirik delik b) konik delik.....6
Şekil 3.5	DIN 8589'a göre havşalama işlemi a) yüzey havşalama b) profil havşalama.....6
Şekil 3.6	Spiral matkabın genel yapısı.....7
Şekil 3.7	Spiral matkabın uç yapısı.....7
Şekil 3.8	Spiral matkap sivrililiğinin öz kalınlığını ve radyal ağız boyunu arttırması.....9
Şekil 3.9	Radyal ağız boyunun eksenel kuvvet ve momente etkisi.....10
Şekil 3.10	İlerleme değerinin fonksiyonu olarak kesme performansı.....15
Şekil 3.11	Helis açısına göre kesme performansı değişimi a) ölçülen b) düzeltilen.....17
Şekil 3.12	P, R ve X gruplarının kesit görünüşü.....19
Şekil 3.13	Radyal ağız açısına göre radyal deformasyon.....20
Şekil 3.14	Helis açısına göre radyal deformasyonlar.....21
Şekil 3.15	Helis açısına göre açısız deformasyonlar.....22
Şekil 3.16	Helis açısına göre eksenel deformasyonlar.....22
Şekil 3.17	Matkap uç geometrileri.....24
Şekil 3.18	Delme testi düzeneği.....27
Şekil 3.19	Çeşitli uç geometrileri için oluşan moment ve eksenel kuvvet değerleri.....27
Şekil 3.20	Takım ömrüne göre deney sonuçları.....28
Şekil 3.21	Farklı uç geometrisine sahip A, B, C ve D matkaplarının eksenel kuvvetlerinin ön delik çapı değişkenine göre karşılaştırılması.....29
Şekil 3.22	Kaplamamın takım aşınmasına etkisi.....30
Şekil 3.23	Dairesel merkez kenar uç için talaş oluşumu.....31
Şekil 3.24	Farklı ön delik çaplarda oluşan ortalama talaş ağırlıkları.....31
Şekil 3.25	Deney aparatları a) Delme metodu b) Matkap uç deplasmanının ölçülmesi.....33
Şekil 3.26	Matkap uç geometrileri.....34
Şekil 3.27	Matkaplar için ölçülen titreşimler.....35
Şekil 3.28	Delik derinliği için yatay ve dikey yer değiştirmeler.....35
Şekil 3.29	Merkezleme çapı 2.5 mm için matkap uç deplasmanı.....36
Şekil 3.30	Merkezleme çapı 0 mm için matkap uç deplasmanı.....36
Şekil 3.31	Farklı S ilerleme değerleri için girdaplı titreşim değişimi.....37
Şekil 3.32	Farklı öz kalınlıkları W_t için girdaplı titreşim değişimi.....37
Şekil 3.33	Öz kalınlığı ile başlangıç titreşim sınırları H_i ve ilerleme değerleri arasındaki ilişki.....37
Şekil 3.34	Matkap uç geometrileri.....39
Şekil 3.35	Matkap ucunun yer değiştirmesi.....40
Şekil 3.36	Genlik ve periyotların değişimi.....40

Şekil 3.37	Girdaplı titreşimin eliptik yörüngesini belirten parametreler.....	41
Şekil 3.38	W-serisi matkaplar için eliptik yörüngenin ana eksenini.....	41
Şekil 3.39	Eliptik yörüngede küçük eksenin ana eksene oranı.....	42
Şekil 3.40	Eliptik yörüngede ana eksen ile x-ekseni arasındaki ξ açısı.....	42
Şekil 3.41	Ana kesici kenardaki hız vektörü ve değişim indeksi tanımı.....	42
Şekil 3.42	P- serisi matkaplar için girdaplı titreşim gelişimi.....	43
Şekil 3.43	R- serisi matkaplar için girdaplı titreşim gelişimi.....	43
Şekil 3.44	P- serisi matkaplarda titreşim başlangıç sınır değerinin delik derinliği.....	44
Şekil 3.45	R- serisi matkaplarda titreşim başlangıç sınır değerinin delik derinliği.....	44
Şekil 3.46	HX- serisi matkaplarda titreşim başlangıç sınır değerinin delik derinliği.....	45
Şekil 3.47	Titreşim başlangıç sınırındaki delik derinliği.....	45
Şekil 3.48	N_w ile merkezleme çapı arasındaki ilişki	45
Şekil 3.49	Deney düzeneği ve metod a) Deney düzeneği b) Matkap deplasmanını ölçme metodu c) Ağırlık ekleme metodu.....	47
Şekil 3.50	Delme derinliği artınca düzensiz titreşim f , dikey genlik A_y ve yatay genlik A_x değerlerindeki değişim.....	48
Şekil 3.51	Belirlenen zaman aralığında matkap deplasmanları	49
Şekil 3.52	Farklı delme parametreleri için düzensiz titreşim frekansı f	49
Şekil 3.53	Farklı delme parametreleri için dikey genlik A_y	50
Şekil 3.54	Farklı delme parametreleri için N_c düzensiz titreşim sayısı.....	50
Şekil 3.55	Farklı delme parametreleri için düzensiz titreşim başlangıç sınırı H_{ci}	50
Şekil 3.56	Farklı matkap boyları için f düzensiz titreşim frekansı	51
Şekil 3.57	Farklı matkap boyları için N_c düzensiz titreşim sayısı.....	51
Şekil 3.58	Farklı ek kütleler için eğilmede natürel frekanslar f_{n1} ve f_{n2}	52
Şekil 3.59	Farklı ek kütleler için λ_1 ve λ_2 logaritmik azalmalar	52
Şekil 3.60	Çift konili Matkap	53
Şekil 3.61	Çift konili matkap ile klasik matkabın takım ömrü karşılaştırılması.....	54
Şekil 3.62	İnce çekirdekli matkap	54
Şekil 3.63	Spiral-Uç radyal ağız	55
Şekil 3.64	Talaş kırma yivleri.....	55
Şekil 3.65	Kırılğan talaş için dizayn edilmiş talaş kırıcı matkap.....	56
Şekil 3.66	Genel endüstriyel uygulamalar için kullanılan talaş kırıcı matkap.....	56
Şekil 3.67	Talaş kırma yivli uç geometrisi.....	57
Şekil 3.68	Bileme yöntemiyle talaş kırma yivlerinin açılması.....	58
Şekil 3.69	Yivlerin açılması için düzenek.....	58
Şekil 3.70	Delme işleminde oluşan talaş formları.....	59
Şekil 3.71	Farklı ilerlemede oluşan moment değerleri.....	60
Şekil 3.72	Talaş formundaki değişiklikler.....	60
Şekil 3.73	Delme işlemlerinde oluşan yüzey kalitesi.....	61
Şekil 3.74	Delme işleminde oluşan pürüzlülük yükseklikleri.....	62
Şekil 3.75	Talaş kırma yivi ve iş parçası kalınlığına göre pürüzlülük kalınlığındaki değişim.....	62
Şekil 3.76	Klasik matkap ve talaş kırma yivli matkabın takım ömürleri.....	63
Şekil 3.77	Tipik çok yüzeyli matkap (MFD).....	64
Şekil 3.78	Dökme demir için çok yüzeyli matkap.....	68

Şekil 3.79	Plesiglas için çok yüzeyli matkap.....	68
Şekil 3.80	İnce malzemeler için çok yüzeyli matkap.....	69
Şekil 3.81	Kauçuk için çok yüzeyli matkap.....	70
Şekil 3.82	Son delme işlemi için çok yüzeyli matkap.....	70
Şekil 3.83	Delik genişletmek için çok yüzeyli matkap.....	71
Şekil 3.84	Eğik yüzeyler için çok yüzeyli matkap.....	71
Şekil 3.85	Alüminyum alaşımları için çok yüzeyli matkap.....	72
Şekil 3.86	Kompozit malzemeler için çok yüzeyli matkap.....	73
Şekil 3.87	Konik ucun modeli.....	75
Şekil 3.88a	2. Serbest yüzeyin modeli.....	76
Şekil 3.88b	2. Serbest yüzeyin modeli.....	76
Şekil 3.89	İkinci serbest yüzeyin detayı.....	79
Şekil 3.90	3. serbest yüzeyin modeli.....	81
Şekil 3.91	III A bölümünün detayı.....	82
Şekil 3.92	III B serbest yüzey bölümünün yeri.....	84
Şekil 3.93	Tipik MFD'nin üstten ve önden görünüşü.....	86
Şekil 3.94	MFD'nin bilgisayar ortamında değişik yönlerden görünümü.....	86
Şekil 3.95	Üç tip uç geometrisi dört yüzeyli olan matkap.....	88
Şekil 3.96	Uç geometrisi dört yüzeyli olan matkabın geometrisi.....	89
Şekil 3.97	Dökme demir delinmesi için geliştirilmiş Zhiron Split – Uçlu matkap.....	92
Şekil 3.98	Sert alaşımlar için Oxford tarafından geliştirilmiş split-uçlu matkap.....	93
Şekil 3.99	Klasik matkap serbest yüzeyi için konik model.....	94
Şekil 3.100	Konik modele çevirme detayları.....	97
Şekil 3.101	Matkap ucunun teorik ve gerçek orijini.....	98
Şekil 3.102	Split uçlu matkabın geometrisi.....	99
Şekil 3.103	Örnek split uç yüzeyi.....	103
Şekil 3.104	Ölçülen Split uç geometrisi.....	104
Şekil 3.105	Üç kesici ağza sahip HSS matkabın kesit görünüşü.....	106
Şekil 3.106	Üç kesici ağza sahip HSS matkabın üstten görünüşü.....	106
Şekil 3.107	Üç kesici ağza sahip HSS matkabın radyal ağız konfigürasyonu.....	107
Şekil 3.108	Üç kesici ağza sahip HSS matkap a) Üstten görünüş. b) Yandan görünüş c) Radyal ağzın inceltilmesi.....	108
Şekil 3.109a	Dairesel delik bozukluğu.....	109
Şekil 3.109b	Yiv izleri.....	109
Şekil 3.110	Deney aparatı.....	110
Şekil 3.111	Delik profili ölçüm metodu.....	110
Şekil 3.112	Merkezlemesiz delme işleminde oluşan delik profili a) Klasik matkap b) Üç kesici ağızlı HSS matkap.....	111
Şekil 3.113	Merkezlemeli delme işleminde oluşan delik profili a) Klasik matkap b) Üç kesici ağızlı HSS matkap.....	112
Şekil 3.114	Matkap ucunun izi a) Klasik matkap b) Üç kesici ağza sahip matkap.....	113
Şekil 3.115	Delinen delik için eksantriklik değeri a) 480 rpm için b) 790 rpm için.....	114
Şekil 3.116	Delinen delik için doğrusallık a) 480 rpm b) 790 rpm.....	115
Şekil 3.117	Delinen delik için silindiriklik (790 rpm).....	115
Şekil 3.118	Matkap şekli ve radyal ağızları inceltme metodu.....	117
Şekil 3.119	Moment ve eksenel kuvvetin ölçülmesi için düzenek.....	119
Şekil 3.120	Delinen deliklerin eksantrikliği.....	119
Şekil 3.121	Delinen deliklerin doğrusallığı.....	120
Şekil 3.122	Delinen deliğin silindirikliği.....	120

Şekil 3.123	Delinen deliğin yüzey pürüzlülüğü.....	120
Şekil 3.124	Delme işleminde oluşan moment.....	121
Şekil 3.125	Delme işleminde oluşan aksenal kuvvet.....	122
Şekil 3.126	Değişen uç radyüsüyle oluşan ince radyal ağız şekli.....	122
Şekil 3.127	Üç kesici ağıza sahip sert metal matkap.....	125
Şekil 3.128	En küçük kare silindir.....	127
Şekil 3.129	Standart silindir ile delik profili arasındaki geometrik ilişki.....	127
Şekil 3.130	Klasik ve üç kesen ağızlı sert metal matkaplar ile delinen deliklerin eksantrikliği.....	128
Şekil 3.131	Klasik ve üç kesen ağızlı sert metal matkaplar ile delinen deliklerin doğrusallığı.....	128
Şekil 3.132	Klasik ve üç kesen ağızlı sert metal matkaplar ile delinen deliklerin silindirikliği.....	129
Şekil 3.133	Klasik ve üç kesen ağızlı sert metal matkaplar ile delinen deliklerin daireselliği.....	129
Şekil 3.134	Klasik ve üç kesen ağızlı sert metal matkaplar ile delinen deliklerin pürüzlülüğü.....	130
Şekil 3.135	Delik eksenini yönünde oluşan vibrasyon çapları.....	130
Şekil 3.136	New Point Drill matkabının yapısı.....	133
Şekil 3.137a	65 HRB S15C çeliğinin NPD ile delinmesinde oluşan öz talaş formu.....	136
Şekil 3.137b	96 HRB S45C çeliğinin NPD ile delinmesinde oluşan öz talaş formu.....	137
Şekil 3.138a	104 HRB S45C çeliğinin NPD ile delinmesinde oluşan öz talaşın mikroyapısı.....	137
Şekil 3.138b	96 HRB S45C çeliğinin NPD ile delinmesinde oluşan öz talaşın mikroyapısı.....	138
Şekil 3.138c	65 HRB S15C çeliğinin NPD ile delinmesinde oluşan öz talaşın mikroyapısı.....	138
Şekil 3.139	65 HRB S15C malzemesinin HSS ve sert metal kaplı matkapla delinmesinde oluşan talaşların karşılaştırılması.....	139
Şekil 3.140	NPD için talaş oluşum aşaması.....	139
Şekil 3.141	NPD ile değişik sertlikteki malzemelerin delinmesinde oluşan talaş formlarının karşılaştırılması.....	140
Şekil 3.142	8xD delme derinliği için geliştirilmiş yüksek performans matkabı.....	143
Şekil 3.143	D delme derinliği için geliştirilmiş yüksek performans matkabı.....	144
Şekil 3.144	4xD delme derinliği için geliştirilmiş yüksek performans matkabı.....	144
Şekil 3.145a	Çalışmada kullanılan iki spiral matkap ve iki kesme sıvısı kanallı matkaplar.....	146
Şekil 3.145b	Kesme sıvısı kanallı matkap kullanımıyla nüfuziyet oranı değişimi.....	146
Şekil 4.1	Çift konili matkap.....	149
Şekil 4.2	Matkap bileme tezgahı.....	150
Şekil 4.3	Matkap tezgahı.....	150
Şekil 4.4	Deney düzeneği.....	151
Şekil 4.5	H1 matkabı için zamana göre kesici ağızdaki aşınmalar (800 dev/dak).....	152
Şekil 4.6	H2 matkabı için zamana göre kesici ağızdaki aşınmalar (800 dev/dak).....	153
Şekil 4.7	H3 matkabı için zamana göre kesici ağızdaki aşınmalar (800 dev/dak).....	154
Şekil 4.8	H1 matkabı için zamana göre kesici ağızdaki aşınmalar (1000 dev/dak).....	155
Şekil 4.9	H2 matkabı için zamana göre kesici ağızdaki aşınmalar (1000 dev/dak).....	156
Şekil 4.10	H3 matkabı için zamana göre kesici ağızdaki aşınmalar (1000 dev/dak).....	156

Şekil 4.11	Objektif mikrometresi (60 kat büyütülmüş).....	157
Şekil 4.12	H3 matkabı için ölçüm örneği.....	157
Şekil 4.13	H1 matkabının ilk delikte oluşturduğu talaş (800 dev/dak).....	159
Şekil 4.14	H2 matkabının ilk delikte oluşturduğu talaş (800 dev/dak).....	159
Şekil 4.15	H3 matkabının ilk delikte oluşturduğu talaş (800 dev/dak).....	160
Şekil 4.16	H3 matkabının son delikte oluşturduğu talaş (800 dev/dak).....	160
Şekil 4.17	H1 matkabı için delme zamanına bağlı aşınma eğrisi (800 dev/dak).....	161
Şekil 4.18	H2 matkabı için delme zamanına bağlı aşınma eğrisi (800 dev/dak).....	161
Şekil 4.19	H3 matkabı için delme zamanına bağlı aşınma eğrisi (800 dev/dak).....	161
Şekil 4.20	H1 matkabı için delme zamanına bağlı aşınma eğrisi (1000 dev/dak).....	162
Şekil 4.21	H2 matkabı için delme zamanına bağlı aşınma eğrisi (1000 dev/dak).....	162
Şekil 4.22	H3 matkabı için delme zamanına bağlı aşınma eğrisi (1000 dev/dak).....	163
Şekil 4.23	H1 matkabı için bulunan logaritmik ömür eğrisi.....	164
Şekil 4.24	H2 matkabı için bulunan logaritmik ömür eğrisi.....	164
Şekil 4.25	H3 matkabı için bulunan logaritmik ömür eğrisi.....	165



ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 3.1	Grup kodları ve ana parametreler..... 13
Çizelge 3.2	6.35 mm çaplı matkap için elde edilen deney sonuçları..... 13
Çizelge 3.3	Gruplara göre ölçülen parametreler..... 14
Çizelge 3.4	Regrasyon kriterleri..... 15
Çizelge 3.5	Boşluk açısına (α) göre düzeltilmiş \bar{H} değeri..... 17
Çizelge 3.6	Deneyde kullanılan matkaplar..... 26
Çizelge 3.7	Matkap geometrileri ve titreşim karakteristikleri..... 48
Çizelge 3.8	Üç matkap için kullanılan yivler..... 61
Çizelge 3.9	Deneyin fonksiyonel dizaynı ve test parametrelerinin değerleri..... 117
Çizelge 3.10	Deneyde kullanılan matkapların ölçüleri ve kesme açıları..... 118
Çizelge 3.11	Deneyde kullanılan matkap çeşitleri..... 134
Çizelge 3.12	HSS ve NPD matkaplar için delme esnasında oluşan aksenal kuvvetler..... 141
Çizelge 3.13	HSS ve NPD matkaplar için delme esnasında oluşan moment değerleri..... 141
Çizelge 3.14	HSS ve NPD matkaplar için delme esnasında oluşan güç değerleri..... 142
Çizelge 4.1	Deneyde kullanılan matkap çeşitleri..... 149
Çizelge 4.2	H1 matkabı için elde edilen aşınma değerleri (800 dev/dak)..... 158
Çizelge 4.3	H2 matkabı için elde edilen aşınma değerleri (800 dev/dak)..... 158
Çizelge 4.4	H3 matkabı için elde edilen aşınma değerleri (800 dev/dak)..... 158

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın başından sonuna kadar hazırlanmasında yardımını ve önerilerini esirgemeyen, teşvikleriyle destek olan tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Erhan ALTAN'a teşekkürü bir borç bilirim. Deneysel çalışma esnasında takım tezgahını sağlayan Endüstri Mühendisliği Bölüm Başkanlığına ve yardımlarını esirgemeyen Hassas Mühendislik Sanayi ve Tic. Ltd. Şti. çalışanları ve yöneticilerine teşekkür ederim. Her zaman olduğu gibi bu tezin tamamlanmasında yardımlarını ve manevi desteklerini her zaman yanımda hissettiğim aileme ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.



ÖZET

Spiral matkap, çok geniş kullanım alanına sahip kompleks talaş kaldırma takımlardan biridir. Matkap ve iş parçası malzemesi gibi birçok faktör delme performansına etki eder. Matkap performansına etki eden bir başka ana faktör matkap uç geometrisidir. Matkap uç şekli matkabin en kritik bölümüdür ve uç geometrisindeki küçük bir uç geometri değişikliği matkap performansını büyük ölçüde etkileyebilir. Bu çalışmada değişik matkap uç geometrileri incelenmiştir.

Araştırma sonuçları göstermiştir ki, üç kesici ağza sahip matkap kullanıldığında, klasik iki kesici ağza sahip matkap kullanımında çoğunlukla oluşan girdaplı titreşim ortadan kalkmıştır. Sert metal malzemeli üç kesici ağza sahip matkap klasik iki kesici ağza sahip matkaba göre silindiriklik hariç daha üstündür. Split uçlu matkap aksenal kuvveti azaltma, pozitif talaş açısı sağlama ve talaş kırıcı uç özelliklerine sahip olması nedeniyle endüstride geniş ve başarılı kullanım alanı bulmuştur. Çok yüzeyli matkap (MFD) dizaynının klasik spiral matkaba göre avantajları düşük kesme kuvvetleri, ısı transferinde, talaş akışında, delik kalitesinde artış ve yüksek produktivite ya da uzun takım ömrüdür. New Point Drill (NPD) matkapla yapılan delme işleminde oluşan aksenal kuvvet diğer sert uçlu matkaplarla göre önemli miktarda daha küçüktür.

Araştırmalar göstermiştir ki, 60° 'lik ikinci koni açısına sahip çift konili matkabin klasik spiral matkaba göre avantajları, delme performansında artış ve daha uzun takım ömrüne sahip olmasıdır.

Bu gerçeklere rağmen, yüzyıl önce kullanılan klasik geometriye sahip spiral matkaplar hala yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sorunun ana nedeni ise tüm yeni matkap uç geometrilerinin komplike olması ve bileme işlemi için gelişmiş ekipman gerektirmesidir.

ABSTRACT

The twist drill is one of the most widely used yet complex of all cutting tools. There are many factors which influence drill performance including both the drill and drill workpiece materials. Another major affecting the performance of the drill is the drill point shape. The drill point is the most critical part of the drill and small variations in its geometry can have a strong influence on its performance. In this paper different types of drill point geometries were investigated.

The investigations results showed that the whirling vibration which frequently occurs in an ordinary drill with two major cutting edges disappears when the three cutting edges drill used, also a hole with high roundness and straightness is obtained. The cermented carbide drill with three cutting edges is more effective than a conventional drill with two cutting edges, expect for cylindricity. Split point drills have found extensive and successful use in industry due to their ability to reduce the trust and to provide a positive rake cutting edge and a chip breaking point. The advantages of the desing of Multifacet Drills (MFD) over conventional twist drills are lower cutting forces, improved heat transfer, impoved chip ejection, improved hole quality and higher productivity or longer toll life. The drill thrust developed by the New Point Drill (NPD) was singificantly lower in comprasion to that of the other carbide tipped drills.

The invastigations showed that, the advantages of the double cone drill which has 60° second cone angle over conventional twist drill are, improved drilling performance and more drill life.

Despite these facts, twist drills of the traditional geometry used almost one hundred years ago are still in use very widely. The main reason for this seems to be the fact that all of these new geometries are complicated and require sophisticated instruments for grinding.

1. GİRİŞ

Talaş kaldırma işlemlerinde genel amaç, işlenen parçalar üzerinde belirli şartlarda talaşlar almak suretiyle parçaya istenilen şekli vermek, parça üzerindeki hatalı ve istenmeyen kısımları almak ya da parça üzerinde hassas bir yüzey oluşturmaktır.

Bu amaçlara ulaşmak için uygulanan yöntemler birbirinden farklı teknolojik özellikler gösterirler. Talaş kaldırma işlemleri arasında genel olarak iş parçasına uygulanan son işlem delme işlemidir. Delme işlemi en önemli talaş kaldırma işlemlerinden biri olup talaş kaldırma işlemlerinin yaklaşık %30'unu içermektedir. Delme işleminde kullanılan talaş kaldırma takımlarının çoğu matkaplardır. Matkap çeşitleri içinde en çok kullanılan delik delme takımı spiral matkaplardır. Spiral matkaplar çok geniş kullanıma sahip kompleks kesici takımlardır. Yüksek hız çeliğinden imal edilmiş spiral matkaplar popüler ve çoğunlukla pratik delme işlemlerinde kullanılırlar.

Matkap ve iş parçası için birçok faktör delme performansına etkir. Bunlardan biri de matkap uç şeklidir. Matkap uç geometrisi matkabın en kritik bölümüdür. Uç geometrisindeki küçük bir geometri değişikliği matkap performansını büyük ölçüde etkileyebilir. Bu özellikten yola çıkarak bu çalışmada spiral matkap uç geometrileri ve talaş kaldırmaya etkileri incelenmiştir.

2. TALAŞ KALDIRMA TAKIMLARI

İmalatın amacı, hammadde halinde bulunan herhangi bir malzemeyi belirli şekle dönüştürmektir. Bunun için birçok imalat yöntemi geliştirilmiştir. Bu imalat yöntemlerinden biri de talaşlı şekil verme yöntemidir. Bu imalat yöntemiyle istenilen tamlıkta boyut hassasiyeti ve yüzey kalitesi elde edilir. Bu işlem için talaş kaldırma takımları kullanılır.

Talaş kaldırma takımlarını bir kaç şekilde gruplamak mümkündür. Bunlardan biri talaş kaldırma yöntemlerinde kullanılan takım çeşitlerine göre olabilir. Bu şekildeki gruplama; tornalama takımları, frezeleme takımları, delme takımları, broşlama takımları, raybalar vd. şeklinde yapılabilir. Diğer bir gruplama ise talaş kaldırma takımlarının kesici ağız sayısına göre yapılabilir. Buna göre talaş kaldırma takımları tek kesen ağızlı, iki kesen ağızlı ve çok kesen ağızlı talaş kaldırma takımları olarak sınıflandırılabilir. Bu bölümde ikinci gruplama yöntemi tercih edilmiştir.

a) Tek kesen ağızlı talaş kaldırma takımları:

Bu türdeki talaş kaldırma takımlarında bir kesici kenar mevcuttur. Bu yüzden işlemin üretivitesi düşüktür. En belirgin tek kesen ağızlı talaş kaldırma takımları torna takımlarıdır. Şekil 2.1’de tek kesen ağza sahip torna takımı görülmektedir. Talaş kaldırma işlemi tek kesici kenarla yapılmaktadır. Yan kesici kenarın talaş kaldırma işlemine etkisi azdır.



Şekil 2.1 Tek kesen ağızlı talaş kaldırma takımı

b) İki kesen ağızlı talaş kaldırma takımları:

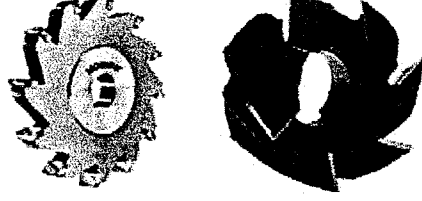
Talaş kaldırma takımları içinde birden fazla kesici ağza sahip takımlar arasında iki kesici ağza sahip takımların ayrı bir önemi vardır. Bu tür takımların en belirgin örneği iki kesen ağza sahip spiral matkaplardır. Talaş kaldırma işlemi iki kesen ağızla yapılır. Şekil 2.2’de iki kesen ağza sahip spiral matkap görülmektedir.



Şekil 2.2 İki kesen ağızlı spiral matkap

c) Çok kesen ağızlı talaş kaldırma takımları:

Çok kesen ağızlı talaş kaldırma takımlarının üretivitesi yüksektir. Üç ve daha çok kesen ağızla talaş kaldırma işlemi yapılmaktadır. Bu grup içinde olan üç kesici ağıza sahip spiral matkaplar ileriki bölümlerde ayrıntılı olarak incelenmiştir.



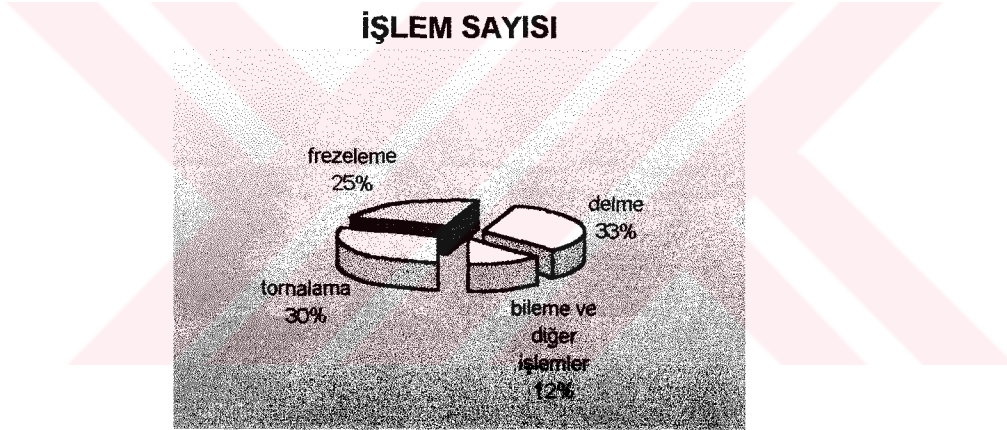
Şekil 2.3 Çok kesen ağızlı talaş kaldırma takımları

Çok kesen ağızlı kesici takımların tipik örneği frezeleme takımlarıdır. Şekil 2.3’de çok kesen ağızlı frezeleme takımları görülmektedir.



3. DELİK DELME ve İŞLEME TAKIMLARI

Delme işlemi en önemli talaş kaldırma işlemlerinden biridir, talaş kaldırma işlemlerinin yaklaşık %30'unu içermektedir (Şekil 3.1). Delme işlemi çoğunlukla talaş kaldırma işlemlerinin sonucusudur. Tornalama ve frezeleme işlemleri ile delme işlemleri karşılaştırıldığında, proseslerin kinematik ve dinamik yapısının benzer olup talaş akışı ve kesme sıcaklığı dağılımının aynı şekilde olduğu görülür. Diğer taraftan delme işleminde olumsuz durumlarda oluşmaktadır. Çapak oluşumu kapalı alanda oluşur, 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 proses spesifik olarak tezgaha ve iş parçasına adapte edilmeli, delik kalitesi sağlanmalı ve gerekli proses doğruluğu oluşturulmalıdır. Bu nedenlerden dolayı birçok takım geometrisi ve takım malzemesi geliştirilmiştir.



Şekil 3.1 İşlem sayısına göre delme işleminin diğer talaş kaldırma işlemleriyle karşılaştırılması (Tönshoff ve König, 1994)

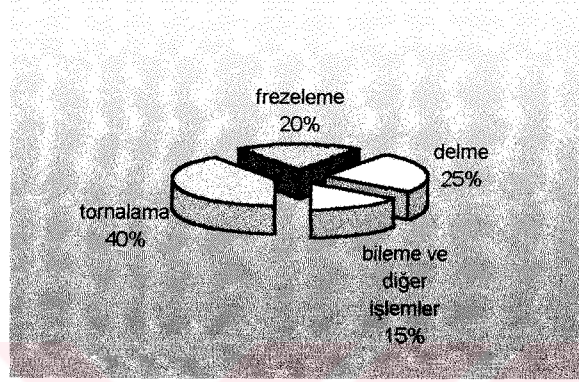
Bütün talaş kaldırma methodları kesici ağızla tanımlanır. Bu tanımlanan methodlar içerisinde tüm proses zamanlarının %22'si delme işlemi için harcanmaktadır (Şekil 3.2). Yine çok kullanılan kesici takımlarla yapılan talaş kaldırma işlemlerinde harcanan zamanın %30 ila %50'si delme işlemi olarak tezgahta geçirilmektedir.

Yukarıdaki bilgilerden delme işleminin önemi anlaşılmaktadır. Delme işleminde kullanılan takımları üç grupta inceleyebiliriz:

- Delik açma ve genişletme matkapları: Delik açma ve genişletme için kullanılan takımlar matkaplardır. Matkaplar iş parçasına delik açmak veya var olan deliği büyütme için kullanılırlar. Matkaplar dönel yapıya sahip bir veya birden fazla kesici ağız olan, talaş

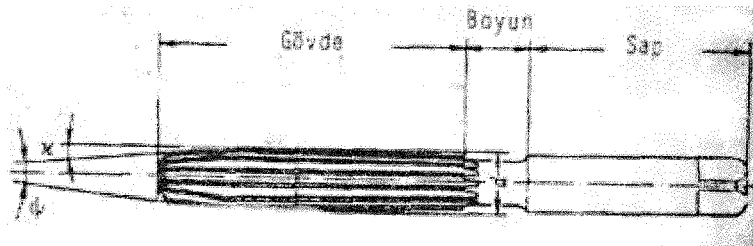
akışı için bir veya daha fazla helisel veya düz kanala sahip talaş kaldırma takımlarıdır. Bu tip kesici takımlar birçok çeşitte, çeşitli formlarda, ölçülerde ve toleranslarda üretilmektedir. Endüstriyel uygulamaların tamamına yakınında kullanılan matkaplar spiral matkaplardır. Spiral matkabın yapısı, çeşitleri, geometrisi ve kesme performansı gibi özellikleri ileriki bölümlerde ayrıntılı olarak incelenmiştir.

TALAŞ KALDIRMA SÜRESİ

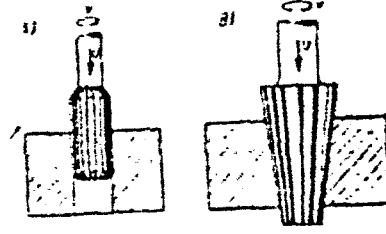


Şekil 3.2 Talaş kaldırma sürelerine göre delme işleminin diğer talaş kaldırma işlemleriyle karşılaştırılması (Tönshoff ve König, 1994)

- b) Raybalama takımları : Raybalama, deliklere yüksek yüzey kalitesi ($R_t \approx 8\mu\text{m}$) veren bir işlemdir. Raybalamada kullanılan kesici takımlara rayba adı verilir. Rayba, altı ile oniki arasında genellikle düz kanalları bulunan takımlardır. Takımın sap kısmı silindirik veya konik olabilir. Raybaların gövdesi konik olan kesme ve silindirik olan boya getirme olmak üzere iki kısımdan meydana gelir. Kanallar aynı zamanda kesme ağızlarını oluştururlar. Kesit çevresinde dişlerin taksimatı eşit olabilir veya olmayabilir. Talaş kaldıran kısım esas raybanın konik kısmıdır, silindirik kısmı deliği tam boyuta getirmekle beraber, çalışma sırasında raybanın desteklenmesini de sağlar. Dört çeşit rayba tipi vardır. Bunlar 1. düz kanallı rayba, 2. helisel kanallı rayba, 3. konik rayba, 4. ayarlı raybadır. Şekil 3.3'de rayba, Şekil 3.4'de ise raybalama işlemi görülmektedir.

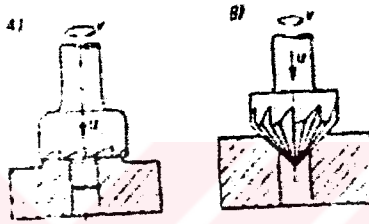


Şekil 3.3 Rayba takımı (Akkurt, 1991)



Şekil 3.4 DIN 8589'a göre raybalama işlemi a) silindirik delik b) konik delik

- c) Havşa takımları : Civata, perçin başlarının ve somunların temas ettikleri yüzeye iyi oturmaları için deliklerin baş kısmına havşa başları açılır. Havşa takımları silindirik, konik ve pah kırma niteliğini taşıyan çok küçük koni veya düzeltme şeklinde olabilir. Şekil 3.5'de havşalama işlemi ve havşa takımları görülmektedir.



Şekil 3.5 DIN 8589'a göre havşalama işlemi a) yüzey havşalama b) profil havşalama

3.1 Klasik Spiral Matkap

Spiral matkap en önemli matkap çeşididir. Hızlı ve ekonomik delik delmek için dizayn edilmiştir. Spiral matkap 1820 yılında "Moses Twist Drill and Machine Company" tarafından bulunmuş ve 1864 yılında A.B.D'de patenti alınmıştır. Bugün 2 – 20 mm arasında silindirik deliklerin delinmesinde ve delik genişletilmesinde kullanılan en önemli matkap türüdür. Spiral matkap tüm talaş kaldırma işlemlerinin %20 - %25 oranını kapsar. Spiral matkap üretimi büyük oranlarda ve yaygın olarak kullanılmaktadır.

3.1.1 Klasik Spiral Matkabın Yapısı

Klasik spiral matkap iki kesici ağza ve iki radyal ağza sahiptir. Spiral matkabın yapısı Şekil 3.6 ve 3.7'de ayrıntılı olarak gösterilmiştir. Resimlerde görülen terimler şu şekilde tanımlanır:

Gövde : Matkabın kesici kenar dış köşesinden boyun veya sapa kadar olan bölümdür.

Radyal ağız: Kesici kenarları birleştiren özün en uç kısmıdır.

Radyal ağız açısı: Matkaba uç kısmından bakıldığında kesici kenarla radyal ağız arasındaki açıdır.

Matkap çapı: Matkabın ucundan ölçülen iki zırh arasındaki çap.

3.1.2 Matkap Geometrisinin ve Titreşimlerin Talaş Kaldırmaya Etkileri

Delme işlemi, geniş uygulamaya sahip önemli talaş kaldırma işlemlerinden biridir, bu yüzden bu işlemde ekonomiklik son derece önemlidir. Bu açıdan bakıldığında deliğin kalitesi büyük önem arz eder. Spiral matkap tarafından oluşturulan deliklerin kalitesi şu dört ana faktöre bağlıdır. Bu faktörler iş parçası, kesme prosesi ve kesici takımındır. Kesici takımı etkileyen ana faktörler ise matkap uç geometrisi, statik ve dinamik rijitlik, yüzey kalitesi, takım malzemesi ve matkabın genel konstrüksiyonudur.

Bugün, çeşitli malzemelerden oluşan iş parçalarının delme işlemlerini gerçekleştirmek için endüstride birçok değişik matkap dizaynı ve matkap geometrisi tasarlanmıştır. Birçok delik spiral matkapla delinmekte ve memnun edici sonuçlar elde edilmektedir. Fakat her uygulama için tek bir tür matkap kullanılması mümkün değildir. Matkapta kullanılan değişkenler matkabın özelliğini belirtmektedir. Bunlar; uzunluk, talaş açısı, farklı matkap uç geometrileri, serbest aç ve talaş kanalı konstrüksiyonudur.

Uç açısında değişim, kesici ağız geometrilerindeki değişim, öz çekirdek inceltme ve bileme işlemlerindeki yöntem değişiklikleri aşağıdaki özellikleri elde etmek için yapılır. Bunlar:

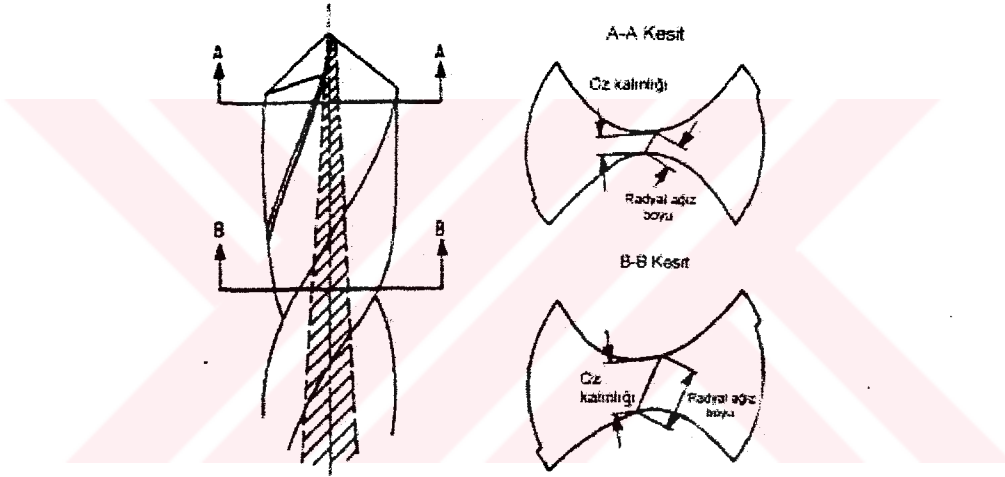
- Talaş oluşumunu kontrol altına almak
- Talaşın boyut ve şeklinin kontrolü
- Talaş kanalı boyunca talaşın akış kontrolü
- Kesici ağzın boyunu arttırmak
- Kesici ağızdaki aşınmada azalma
- Delme için gerekli aksenal kuvvetin azalması
- Delik boyutu ve kalitesinin kontrolü
- Talaşın boyut ve değerinin kontrolü
- Oluşacak ısının azaltılması
- Kesme hızı ve ilerleme değerlerinde yeterli değişiklikler yaparak verimli delme işleminin yapılmasını sağlamaktır.

Matkap uçları kesici ağızları şekillendirirler. Bu geometriler matkap performansı için kritik önem arz eder. Günümüzde birçok uç geometrileri mevcuttur. Delme işlemi için uygun matkap seçimi, kontrol ve gereken matkap uç geometrisi seçimi ekonomiklik sağlar. Ayrıca delme işleminin başında oluşan girdaplı titreşimler ve daha sonraki safhalarda oluşan düzensiz titreşimler delme işlemine olumsuz etki eder.

3.1.2.1 Öz Kalınlığının Talaş Kaldırmaya Etkisi

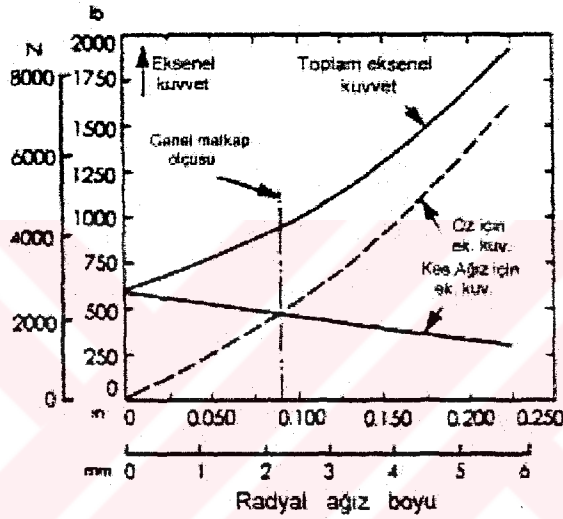
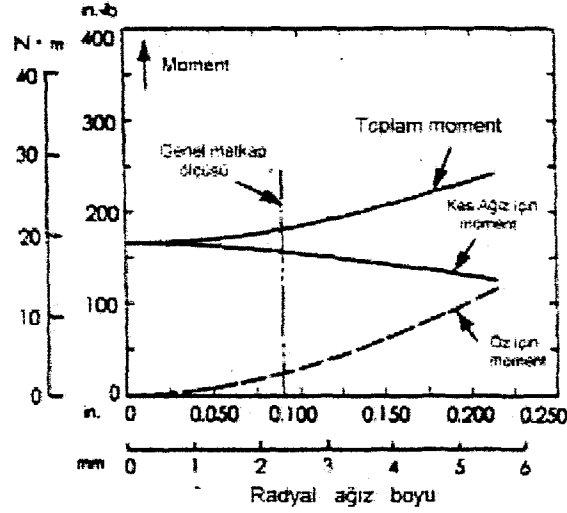
Radyal ağızlar matkap uç geometrisinin kesici olmayan kısımları olduğundan, spiral matkabın özü olabildiğince ince olmalıdır. Bu incelik matkabın özelliğine uyacak şekilde olmalıdır. Ağır hizmet (Heavy – Duty) matkapları kalın özlü (klasik matkabın iki katı daha kalındır) ve genel olarak dar talaş kanalına sahiptir.

Çoğu matkap öz kalınlığı sapa doğru gidildikçe artacak şekilde imal edilir. Spiral matkabın sivriliği öz kalınlığını ve radyal ağız boyunu artırır (Şekil 3.8). Bu sonuçlar, aksenal kuvvet gerekliliğini artırır, ek ısı oluşumu sağlar ve klasik spiral matkaba göre matkap ömrünü uzatır. Ağır hizmet matkapları genellikle kullanılmadan önce bilenirler. Bazı derin delik oluşturan özel tip matkaplarda radyal ağızdaki öz kalınlığı ile talaş kanalının bittiği yerdeki öz kalınlığı aynıdır. Bu tür öze sahip matkaba paralel özlü matkap denir.



Şekil 3.8 Spiral matkap sivriliğinin öz kalınlığını ve radyal ağız boyunu artırması (Drozda ve Wick, 1983)

Şekil 3.9'da görülen iki grafikten belli olduğu gibi öz kalınlığı değişimiyle oluşan aksenal kuvvet momente göre değişim açısından daha duyarlıdır. Bu grafikte radyal ağız boyuna göre moment ve aksenal kuvvet değişimi görülmektedir. Radyal ağız boyu öz kalınlığıyla orantılıdır. Bu test sonuçları 200 Brinell sertlikteki SAE 3245 çeliği için 0.25 mm/dev ilerleme değerinde ve 12.7 mm çaplı matkap için bulunmuştur. Bu grafik toplam gerekli aksenal kuvveti ve momenti göstermesi yanında, gerekli olan yaklaşık öz kalınlığını ve kesici ağız bölgesini belirtir.



Şekil 3.9 Radyal ağız boyunun aksenal kuvvet ve momente etkisi (Drozda ve Wick, 1983)

Çoğu matkap için gerekli moment kesici ağızın dış kısmından hesaplanır. Matkapta doğru orantı yapılırsa, momentin %15'i öz'den gelir. Eğer öz kalınlığı iki katına çıkarılırsa aksenal kuvvet %60 artar, toplam aksenal kuvvetin %75'i özden kaynaklanır. Eğer öz kalınlığı çok ince olursa matkap delme esnasında oluşan kuvvete karşı rijitliğini koruyamaz. Bununla birlikte, ince öz kalınlığı ile daha az aksenal kuvvet oluşur ve delme işlemi kolaylaşır.

3.1.2.2 Kesici Ağız Serbest Açısının Talaş Kaldırmaya Etkisi

Kesici ağız serbest açısı çok önemlidir çünkü yeterli kesici ağız serbest açısı olmazsa düzgün delme işlemi yapılamaz. Büyük serbest açı değeri ise matkap ömrünü kısaltır. Normal şartlarda her iki kesici ağız için serbest açılar eşit olmalıdır. Kesici ağız yüksekliğindeki artma deliğin daha büyük oluşma şansını artırır.

Serbest açılı matkap çapına, kesici ağız boyuna ve iş parçası malzemesine bağlıdır. Genel olarak sert malzemeler için serbest açılı büyük, fakat yumuşak ve alaşımlı malzemeler için düşük serbest açılı kullanılır.

Alaşımsız malzemeler için kısa uzunluklar, uzun ilerleme değerleriyle yüksek serbest açılar en iyi sonucu verir. Bazı plastik ve dökme demir malzemeler büyük serbest açılarla delinebilir. Ağır ilerleme değerinde, daha sert iş parçası malzemelerinde, düşük serbest açılı daha az sürtünme meydana getirir ve takım ömrünü artırır.

3.1.2.3 Helis Açısının Talaş Kaldırmaya Etkisi

Standart spiral matkap için helis açısı $25 - 33^\circ$ arasında değişir. Yüksek helisli (fast – spiral) matkaplarda helis açısı $35 - 40^\circ$ arasındadır. Düşük helis (slow – spiral) matkaplar için helis açısı $15 - 20^\circ$ arasındadır. Aynı zamanda belirli malzemeler, özel uygulamalar ve çeşitli matkap konstrüksiyonları için değişik helis açıları seçilebilir.

Matkap üreticileri tarafından helis açısı için $\sigma = 26^\circ - 32^\circ$ arasında değişik açılar seçilmektedir. Bu sayede polar atalet momenti artar, öz konikleşir ve zırh genişliği azalır. Yapılan istatistiksel deneyler endüstriyel uygulamalarla doğrulanmadığından, bu değişkenlerin delme performansına olan etkisi görülemediği.

Helis açısı çoğu kez matkap dizaynında önemsenmeyen geometrik parametrelerdir. Helis açısının önemi iş parçası malzemesine göre değişmektedir. Galloway, Boston ve Wiriyacasol tarafından yapılan araştırmalar sonucunda helis açısındaki artışın aksel kuvvet ve momenti azalttığı bulunmuştur. Fakat bu çalışmalarda helis açısının matkap ömrüne olan etkisine çok az değinilmiştir.

Lorenz G. (1978) yaptığı araştırma sonucunda beklenildiği gibi HSS spiral matkap malzemesi ile delme performansı arasında büyük bir ilişki olmadığı bulunmuştur. Matkap uç geometrisinde ve matkap dizayn geometrilerindeki değişimler ise delme performansını etkilemektedir. Budan başka Spur G. (1961) tarafından yapılan araştırmada simetrik kesit ve değişik dizayn parametreleri kullanılarak 6.35 mm çaplı matkabın delme sayısı olarak ömrü H üç katına çıkarılmıştır. Bu sayede delme performansı artmıştır. Bu test şekli takım ömür kriterlerini oluşturabilir, çünkü takım ömrünün aşınma miktarıyla orantılı olarak belirlenmesi büyük masraflar gerektirir. Yine de Lenz 1978 yılında yaptığı yeni bir araştırmada bu iki çeşit takım ömür belirleme kriterlerini ve sonuçlarını karşılaştırmıştır.

Kronenberg tarafından yapılan çalışmalarda ise spiral matkabın helis açısının etkisi araştırılmıştır. Araştırma sonucunda, spiral matkap geometrisinin yük ve etkilere karşı dayanma gücünün aynı çapta spiral olmayan çubuktan %85 daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. Burada oluşan moment, profili bozarak spirali azaltmak isterken, spiralin bozulmasını artan aksenal kuvvet azaltmaktadır. Buradan anlaşılacağı gibi helis açısının büyük olması uygulanan ilerleme değerinde yetersiz aksenal kuvvet oluşturacağından uygun değildir. Bunun yanı sıra, spiral matkap geometrisinin teorik hesaplanması zordur, birçok sadeleştirme ve işlem gerektirmektedir. İstatiksel deneylerle gerçek oranlar arasında zıtlık vardır. İstatiksel deneyler, etkileri nicel olarak tespit etmektedir.

Yukarıda sayılan nedenlerden dolayı, helis açısının etkisi matkap ömrü deneyleriyle araştırılmıştır.

G. Lorenz tarafından yapılan çalışmada üç grup matkabın helis açısına göre ömür değişimleri belirlenmiştir. Yaptığı deney helis açısı $\sigma = 32^\circ, 40^\circ$ ve 45° için yapılmıştır. Sonuç $\sigma = 27 \frac{1}{2}^\circ$ enterpole edilmiş ve helis açısının performans gelişimine etkisi bulunmuştur. İlk deney matkaplar üzerinde yapıp σ ile ilgili açık tren elde edilse de, istatiksel deney sonuçları olumlu olmamıştır. Bunun yanında, testlerin tekrarlanmasıyla yüzey davranışı önemli değişken halini almıştır.

Deneyde kullanılan matkaplar dikkatlice ölçülmüştür. Kaçıklık R_o (run-out) μm cinsinden, radyal ağız boyu (WC) mm cinsinden, dairesel sırtın genişliği (WL) ve yüksekliği HL (en dış köşede) μm cinsinden, öz çapı (CD) mm cinsinden, boşluk açısı α° , radyal ağız açısı Ψ° , öz konikliği (TC) ve ağız boyu (L) μm cinsinden ölçülmüştür.

Deneyde 3.7 kW gücünde matkap tezgahı kullanılmıştır. İş parçası malzemesi olarak P 20 çeliği kullanılmıştır. Bunun sebebi ise deneysel yöntemin daha önceki çalışmalarda kullanılan malzemelerin ve şartların aynısı oluşturularak istatiksel analizle karşılaştırılmıştır. Çizelge 3.1'de helis açısına ve yüzey işlemlerine bağlı gruplar görülmektedir. Test koşulları ve delinen delik sayısına (H) bağlı takım ömrü Çizelge 3.2'de görülmektedir. H için geometrik tanım ve diğer değişkenlerin özellikleri Çizelge 3.3'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1 Grup kodları ve ana parametreler (Lorenz,1979)

Helis açısı σ°	32°	40°	45°
Isıl işlem	Grup kodları		
Isıl işlemsiz	P	Q	R
Buhar menevişi	T	U	W

Tabloda belirtilen gruplar dışında X grubu $\sigma^\circ = 40^\circ$ için test edilmiştir. Bu matkabın malzemesi M2 HSS olup on iki yıl önce alüminyum alaşımının delinmesinde kullanılmıştır.

1970 yılında üç İtalyan araştırmacı tarafından yapılan deneyler sonucunda Taylor eşitliğinin spiral matkap için geçerli olmadığı bulunmuştur. Fakat bu sonuç günümüzde halen tartışılmaktadır. Az sayıda deneyle takım ömrü hesabında çıkan hataların belirlenmesi çok zordur. Bunun nedeni, birçok değişkenlerin olması ve küçük artışların bile önemli etkiler oluşturmasıdır.

Çizelge 3.2 6.35 mm çaplı matkap için elde edilen deney sonuçları (Lorenz, 1979)

dönme devri N r.p.m	ilerleme f mm/dev.	Gruplar						
		P	Q	R	T	U	W	X
H delinen delik sayısı								
1500	0,129	79	41	41	61	55	49	7
1500	0,155	25	106	106	54	67	85	7
1500	0,183	41	46	46	39	68	84	13
1280	0,155	50	103	103	165	74	99	5
1280	0,218	79	75	75	91	140	119	10
1140	0,219	185	74	74	133	139	148	33
1140	0,183	39	101	101	159	152	158	8
1140	0,264	57	83	83	82	213	172	2
965	0,155	198	158	158	199	194	192	90
965	0,218	157	221	221	115	199	177	23
820	0,183	319	376	376	432	297	512	32
820	0,218	166	212	212	238	202	230	38
820	0,264	40	146	146	133	209	285	47

Çizelge 3.4'de regrasyon kriterleri gösterilmiştir. Bu on grup için önemli farklılıklar yoktur, fakat değişim heterojendir. $\sigma_r^2_{\max}/\sigma_r^2_{\min} = 11,48$ değeri, istatistiksel yöntem (Pearson ve Hartley) için bulunan 9.81 değerini geçmektedir. Bu deney $k = 10$ grup ve $v = 90^\circ$ için yapılmıştır. Analizde kullanılan değişkenler $z = \log H$, $x = \log v - 1.3479$ ve $y = \log f + 0.7355$, x ve y 'nin ikinci dereceden dönüşümü ve yüksek etkileşimi kullanılmıştır.

Çizelge 3.3 Gruplara göre ölçülen parametreler (Lorenz, 1979)

Değerler/grup	M	N	O	P	Q	R	T	U	W	X
Ort. delinen delik sayısı	40,46	52,41	24,26	82,85	111	119,7	107,9	136,4	149,6	15,02
R _o kaçıklık μm	132	142	102	33	39	52	56	41	45	66
WC radyal ağız genişliği	1,15	1,15	1,28	1,27	1,35	1,37	1,28	1,37	1,34	1,36
CD uç çapı mm	1,02	1,05	1,12	1,10	1,17	1,19	1,09	1,19	1,18	1,19
Boşluk açısı °	12,35	12,65	14,73	11,78	13,03	12,42	13,15	13,06	12,7	14,14
Radyal ağız açısı °	127	130	124	130,29	126,7	125,2	126,9	127,7	124,9	125,6
TC uç konikliği ‰	2,04	1,97	2,04	2,48	1,83	1,88	2,30	1,81	1,85	1,28
WL sırt genişliği μm	541	508	696	672	584	691	531	601	677	687
HL sırt yüksekliği μm	---	---	---	---	---	---	116,81	170,6	167,3	---
RL ağız yüksekliği μm	---	---	---	---	---	---	25,81	35,51	55,31	---
Uç açısı °	117	116	119	118	116	116	117	115	115	132
I polar at. Momenti mm ⁴	58,3	58,6	60,7	71,4	59,5	58,1	69,6	59	57,3	58

Log $k_H = \log \bar{H}$ olduğundan regregasyon \bar{H} değerini içine alır. İkinci derece ilerleme dönüşümü büyük önem arz eder. Buna göre Taylor eşitliği biraz değişir, f fonksiyonu sabit olup b_f değeri sabit değildir. Şu şekilde gösterilir:

$$H = k_H \cdot v^{b_v} \cdot f^{b_f} \quad (3.1)$$

$$b_f = b_f * +2 * 0.7355b_{f_2} + b_{f_2} + 2 \log f \quad (3.2)$$

$$b_f = -10.98 - 5.43 \log f$$

sonuçta, herhangi bir sabit hızda $f=0.141$ m/dev için maksimum takım ömrü elde edilir. Bu tahmin tabii ki, heterojenlikten dolayı artan esneklik payı ile bulunmuştur. Kullanılan M1 HSS ve M2 HSS tüm matkaplardan elde edilen sonuç farklı olabilir, fakat daha çok kanıt olmadığından aynı kabul edilmektedir.

Yalnızca Çizelge 3.1 içindeki gruplar analiz edilirse, iki değişik malzemenin testi önemli farklılık oluşturmaz. Sonuçta, aynı regregasyon iki çeşit malzeme için kullanılabilir. Enterpolasyon yapıldığında farklılıklar bulunabilir. Bu yüzden altı veya daha fazla regregasyon karşılaştırılmalı ve son eğrinin o şekilde çizilmesi gerekir. Çizelge 3.4'deki değerler kullanılırsa şu ortak eşitlik bulunur:

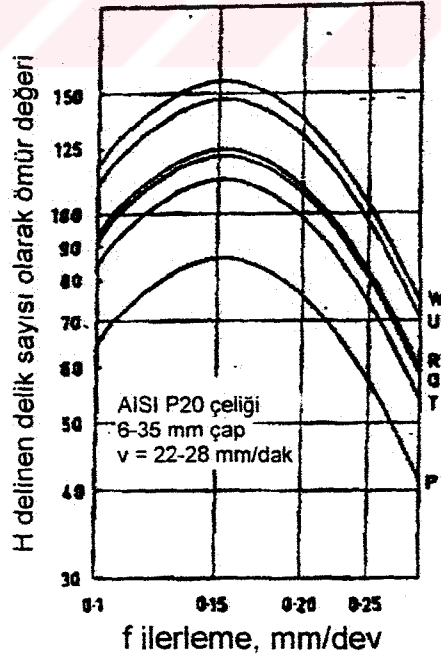
$$z = -2.46 * -0.59y - 3.85y^2 + \log \bar{H} \quad (3.3)$$

maksimum matkap ömrü $f = 0.154$ mm/dev için sağlanır altıncı grup için bu eşitlik Şekil 3.10'da grafike edilmiştir.

Çizelge 3.4 Regrasyon kriterleri (Lorenz,1979)

Grup	b_v	b_{f^*}	b_{f_2}	$\sigma_r^{2*} \cdot 10^4$	\bar{H}_{GEO}
M*	-3.05	-2.12 [#]	-8.74 [#]	1360	40.5
N*	-4.55	-3.43	-5.67 [#]	770	52.4
O	-3.40	-1.80	-12.04	274	24.3
P	-2.96	-1.81	-1.55 [#]	662	82.8
Q	-2.42	-0.20 [#]	-9.39	161	111
R	-2.88	-1.09	-5.81 [#]	178	108
T	-2.38	-0.90	-5.35 [#]	141	119.8
U	-1.79	0.26 [#]	2.22 [#]	118	141.7
W	-2.32	0.19 [#]	-3.24 [#]	120	149.6
X*	-4.16	-2.13 [#]	-4.71 [#]	1096	15
Ortalama	-2.99	-1.24	-5.43	535	67.4

* M2 HSS Malzemeli # İhmal edilebilir değerler



Şekil 3.10 İlerleme değerinin fonksiyonu olarak kesme performansı (Lorenz, 1979)

Her matkap için logaritmik olarak v , f ve diğer değişkenler altı grupta araştırılmıştır. Basit ilişki matrisi oluşturularak değişkenlerin ilişkisi analiz edilmiştir. Sonuçta bazı değişkenlerin aralarında önemli bağıllık olduğu bulunmuştur. Şöyle ki; radyal ağız genişliği (WC) doğal olarak öz çapı (CD) ile birlikte artmaktadır. Yine öz çapı, radyal ağız açısı ve boşluk açısı uç sivrililiğine bağlıdır. Sırt genişliği WL, sırt yüksekliğinin artmasıyla azalmaktadır. Bu karşılıklı ilişki gövde boşluğunun bilinmesine bağlıdır, çünkü; bileme ekipmanları kullanılırken önlem alınmazsa derine dalınarak sırt genişliği azalır.

Altı grupta bazı regrasyonlarda bir veya daha çok değişkenin etkileri önemli olabilir, fakat bu analizde diğer değişkenler önem arz etmemektedir. Ağız boşluk açısı α ve zırh genişliği kayda değer etki meydana getirmektedir. Kesme parametreleri v ve f matkap ömrü ve matkap şekline etkileri olmadığından hesaba katılmazlar.

Analiz sonuçlarında şu eşitlik elde edilir:

$$Z = 6.316 - 2.47 X - 8.27 Y - 5.15 Y^2 - 3.77 \log \alpha \quad (3.4)$$

Yukarıdaki eşitlikten x ve y değişkenlerinin düzeltilmeden kullanıldığı görülmektedir.

Sonuçta, boşluk açısının dördüncü kuvveti mertebesinde matkap ömrü azalır. Buradan kesici ağız boyunca boşluk açısı büyüklüğünün ve boşluk yüzeyi şeklinin dikkatli seçilmesi gerekliliği belirlenir. Bundan başka, önceki çalışmalarda (Pearson ve Hartley) elle bilemeden kaçınılması gerektiği vurgulanmıştır.

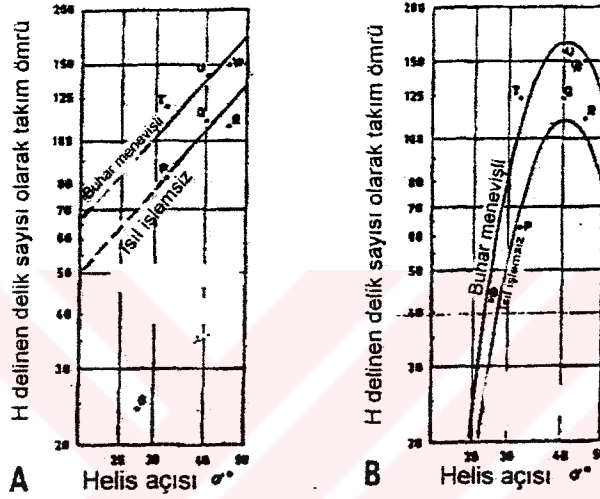
Eşitlik (3.3)'de $\sigma_r = 0.145$ için standart hata bulunmuştur. Bulunan bu değişkenlik oranı önceki deneylerden daha küçüktür. Isıl işlem görmemiş T, U ve W grupları analiz edildiğinde $VR = 2.6$ ($\sigma_r = 0.105$) bulunmuştur. Burada boşluk açısının değişimi çok küçük olduğundan etkisi kaybolmuştur. Dairesel zırhın yüksekliği HL ve genişliği WL çok etkilidir, fakat ağız boyunca oluşan küçük değişiklikler takım ömrüne önemli etki yapmamıştır. HL yüksekliği takım ömrünü üçüncü dereceden azaltırken, WL genişliği takım ömrünü altıncı dereceden azaltmaktadır. Bu sonuçlar belirtilen üç regregasyondan dogmatik biçimde alınmamalı, üreticiler tarafından zırhın sürtünmesi ve elastik deformasyonu test edilmelidir.

Uygulanan analizde düzeltme yapılmaktadır. Fakat $\log \bar{\alpha}$ değeri bir regrasyondan diğerine değiştiği için ortalama $\bar{\alpha} = 12.68$ alınmış ve arzu edilen düzeltme yapılmıştır. Çizelge 3.5'de ana değişkenlerin gruplarda düzeltilen değişkenlerle analizi görülmektedir. Çizelge 3.4'de ise düzeltilmeyen değerler görülmektedir.

Çizelge 3.5 Boşluk açısına (α) göre düzeltilmiş \bar{H} değeri (Lorenz, 1979)

Helis açısı	32°	40°	45°
Isıl işlem	\bar{H} düzeltilen		
Isıl işlemsiz	62.81	123.10	110.59
Buhar menevişi	123.84	158.46	150.70

Düzeltilen değerler, σ 'nın ikinci dereceden fonksiyonu olarak Şekil 3.11'de çizilmiştir. Yaklaşık $\sigma = 40^\circ$ için maksimum değer elde edilmektedir, fakat bu sonuç lineer fonksiyon olup boşluk açısında önemli miktarda düzeltme yapılmamışsa geçerlidir.



Şekil 3.11 Helis açısına göre kesme performansı değişimi
a) ölçülen b) düzeltilen (Lorenz, 1979)

Çizelge 3.5'de verilen logaritmik H değerinin yanılma analizi yapılırsa, karelerinin toplamı $N = 13$ ile çarpılmalıdır; çünkü her biri bu miktarda gözlem içermektedir. Sonra kareler toplamı ile ilgili regregasyon analizi eşitlik (3.4) için $\sigma_r = 0.0211$ değerinde yapılmalıdır. Çizelge 3.5'deki ana değerler yüksek önemdedir ve k_H sabit σ fonksiyonu olarak elde edilir.

$$\log k_H = \log k + 59.32 \log \sigma - 18.43 \log^2 \sigma \quad (3.5)$$

Burada $\log k = -41.26$ ve -41.44 değerlerindedir. -41.26 değeri buhar menevişli matkap için, -41.44 değeri ise ısıl işlem görmemiş matkap içindir. Bu da buhar menevişli matkabin ısıl işlem görmemiş matkaba göre takım ömrünü ortalama %51 oranında arttırdığını gösterir.

Kartezyen sistemde takım ömrü eşitliği şu şekildedir:

$$H = \text{anti log } k \cdot \sigma^{(59.32 - 18.43 \log \sigma)_v - 2.47 f - (8.27 + 3.15 \log f)_\alpha - 3.77} \quad (3.6)$$

bu işlemler modern hesap makinesi ile yapılabilir. Eşitlik (3.6) deliğin delme zamanı T ile çarpılmalıdır. Burada $t = \pi \cdot d \cdot \ell / 100 \cdot v \cdot f$ ve $\ell = 3d$ olarak alınır.

$$T = 0.38 \cdot H / v \cdot f \quad \text{olur.} \quad (3.7)$$

X grubu bu analize dahil edilmemiştir. Optimum helis açısına sahip olmasına rağmen en düşük performans elde edilmiştir. Düzeltilmeyen değerler (Çizelge 3.4) bütün geometrik değişkenleri için büyük ölçüm farklılıkları meydana getirir.

Araştırmalar sonucunda, matkap ömrünün sağlıklı şekilde belirlenmesi için altı seri testten fazla test yapılması gerekliliği belirlenmiştir. Kesme koşullarıyla ilerleme değeri üstsel olarak değişir. Buradan hızın da kesme koşullarıyla üstsel olarak değişeceği bulunabilir.

Isıl işlem görmemiş matkaplar (P, Q ve R grupları) ilk olarak yapılan regregasyon analizinde regregasyonlar arasında önemli farklılıklar bulunamadı, fakat basit deneylerde %34 artış sağlanmıştır. Takım ömründeki artışlar endüstriyi gerçek anlamla geliştirecektir. İki gruptaki on iki matkap için yapılan kesin performans ifadeleri genellikle %30 oranında yanlış olabilmektedir.

Buhar menevişli* aynı gruptaki matkaplar için deneyler tekrarlanmış ve helis açısının takım ömrüne yaptığı etki bulunmuştur. Bu istatistiksel çalışmaların önemini belirtmektedir, çünkü bu yöntemle daha çok değişkenin hesabı yapılabilmektedir.

Buhar menevişli (steam temper) matkap ile matkap yüzeyinde oluşabilecek bileme gerilmesi azaltılabilir. Matkap üreticileri için, ısıl işlem başka methodlar için yararlıdır. Çünkü ısıl işlemle sürtünme karakteristiklerini artırıcı oksit yüzey oluşur. Bu uygulama da ısıl işlemin daha yararlı olduğunu kanıtlamıştır.

Boşluk açısındaki değişime rağmen, helis açısı optimum $\sigma = 40^\circ$ için kararlıdır. Eğer gruplar arası değişim genişse, Şekil 3.11'de görülen iki trend oluşur. Eşitlik (3.4) M, N ve O grupları için geçerlidir. Çizelge 3.2'ye göre M ve N grupları $\bar{\alpha} = 12.68^\circ$ 'den sapar. N grubu için $\bar{H} =$

* Buhar menevişi korozyondan koruyucu etkisi olan, mekanik sürtünmeye karşı direnci artırırken yüzeyden talaş akışını kolaylaştırmaktadır. Buhar menevişi esnasında kimyasal olaylar 300°C ocak sıcaklığında $3\text{Fe} + 8\text{H}_2\text{O} \Leftrightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 + 4\text{H}_2\text{O} + 4\text{H}_2$ kimyasal formül doğrultusunda gerçekleşir. Buhar içindeki max. Oksijen miktarı %0,1'i geçmemelidir. Buhar ile temizleme işleminden sonra, ocak sızdırmazlık durumunda olmalıdır. Zira bu durumda ocak içerisinde oluşan H_2 'nin korunması sağlanabilmektedir. Buhar ventili buhar açıldığında tamamen açık pozisyonda olmalıdır.

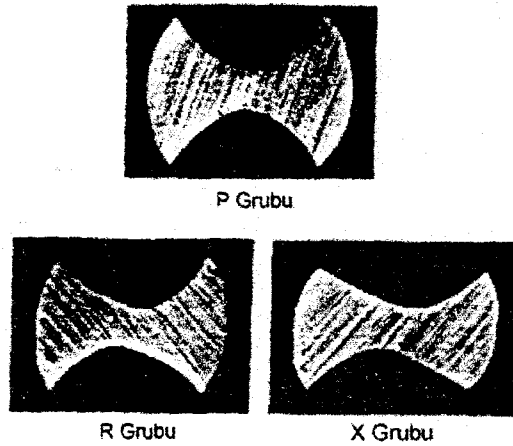
36.37 olarak düzeltilir. N grubunda α için herhangi bir düzeltmeye ihtiyaç duyulmaz. O grubu için $\bar{\alpha} = 14.73^\circ$ olarak düzeltilir. Bu da H değerinin $\bar{H} = 42.75$ olarak düzeltilmesi demektir. Bu düzeltilen dokuz değerle Şekil 3.11'de bulunan parabol değişir.

$$\log k_H = -32.15 + 49.25 \log \sigma - 13.49 \log^2 \sigma \quad (3.8)$$

Eşitlik (3.4) ve (3.6) kombine edilip, $\alpha = 26^\circ - 32^\circ$ arasında değiştirilerek matkap ömründe %67 oranında artış sağlanabilir.

Araştırmalar sonucunda $\sigma = 32^\circ$ 'den 42° 'ye çıkartılması ile takım ömründe %58 oranında artış sağlamıştır. Radyal ağız etrafında uygun boşluk yüzeyi oluşturularak boşluk açısı $\alpha = 10.5^\circ$ 'ye düşürülürse endüstriyel uygulamalarda altı kat performans artışı sağlanır. Çevresel boşluk açısını azaltabilmek için ortalama radyal ağız boyu 1.28 mm yapılmalı, optimum ilerleme değerinde, radyal ağız köşeleri 2.5° olmalıdır. Bu şartlar oluşursa çevresel boşluk açısı azalır ve istenilen üstün performans yakalanabilir.

Eşitlik (3.5), (3.6) ve (3.7) kombine edilerek uygun hız değeri; $V_{60} \approx 15$ mm/dak, $f = 0.125$ mm/dev bulunur. Buna rağmen $f = 0.157$ mm/dev için maksimum delme sayısı $H = 320$ bulunmuştur. Çizelge 3.2'den görüleceği gibi $N = 750$ rpm için helis açısı $\sigma = 40^\circ$ 'dir. AISI P20 çeliği için 250 HB sertliğin altında $v = 16.8$ mm/dak ve $f = 0.076$ mm/dev kullanılmalıdır. Belirlenen eşitlikler kullanıldığında $H = 83$ delik için $T = 24.6$ dakika olarak bulunur. Bunun sonucunda, sert malzemelerde yüksek delme performansı sağlamak için düşük hız ve ağır ilerleme değerleri kullanılmalıdır. Şekil 3.12'de P, R ve X grupları görülmektedir. P grubu daha simetrik ve daha çok kesit alanına sahiptir. Aynı zamanda I_p (polar atlet momenti) yüksektir.



Şekil 3.12 P, R ve X gruplarının kesit görünüşü (Lorenz, 1979)

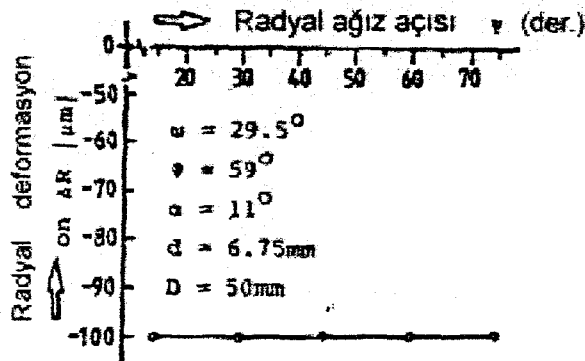
Eğer uç inceltmesi ekstra operasyon olarak uygulanmazsa araştırma sonucunda σ ve α açıları önemli değişkenlerdir.

Elde edilen deney sonuçlarına göre: buhar menevişli matkapların ömürleri ısı işlem uygulanmamış matkaplara göre %50 daha uzundur. Helis açısının $\sigma = 26^\circ$ den 32° ye yükseltilmesi takım ömrünü %60 oranında arttırır. Helis açısının $\sigma = 40^\circ$ ye yükseltilmesi takım ömrünü üç kat arttırır. Takım ömrü değişkenleri dış boşluk açısının 3.77. kuvveti kadar terstir (eşitlik 3.6). Uygun kesici ağız yanı boşluk yüzeyi sağlanırsa bu oran elde edilir. Sırt genişliği ve gövde boşluğundaki azalmalar takım ömründe önemli artışlar sağlayabilir.

Helis açısının kesme performansına ve takım ömrüne etkisi araştırmacılar tarafından 1985 yılında sonlu elemanlar yöntemiyle bulunmuştur. 1979 yılında ise Lorenz tarafından istatistiksel deneysel yöntem kullanılarak optimal helis açısının 37° – 40° arasında olduğu bulunmuştur. Bu araştırmadan dolayı hala niye endüstriyel uygulamalarda helis açısının 24° – 32° arasında kullanıldığı anlaşılamamıştır.

Singh, P. ve Miller, P. tarafından 3-D Sonlu Elemanlar yöntemi kullanılarak spiral matkabın deformasyonu bulunmuştur. Bu model hem matkabın gövde boşluğunu hem de matkap üst yüzeyindeki yana doğru hareketleri açıklamaktadır. Helis açısı ile radyal ağız açısının matkap eksenel kuvvetine ve radyal deformasyona etkisi, delinen deliğin hassasiyeti ve matkap ömrü ile ilgili parametreler analiz edilmiştir.

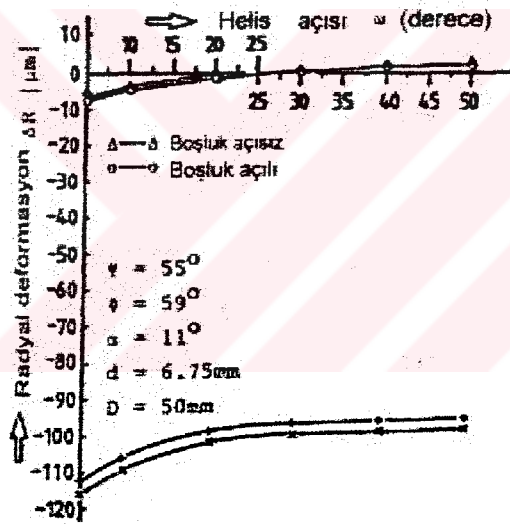
Matkap için helis açısı değişiminin radyal, açısal ve eksenel deformasyona etkisi sınır değişkenleri ve direnç koşullarıyla yapılmıştır. Yine geliştirilen sonlu elemanlar yönteminin geçerliliği radyal ağız açısının etkisi araştırılarak kontrol edilmiştir.



Şekil 3.13 Radyal ağız açısına göre radyal deformasyon (Singh ve Miller,1988)

Eğer delme işlemi merkezlemeli olarak yapılırsa, delme işleminde radyal ağız aktivitesiz kalır, sonuçta radyal ağız açısı değişiminden matkap deformasyonu etkilenmez. Şekil 3.13’de elde edilen sonuçlar bu gerçeği desteklemekte olup modelin geçerliliğini doğrulamaktadır.

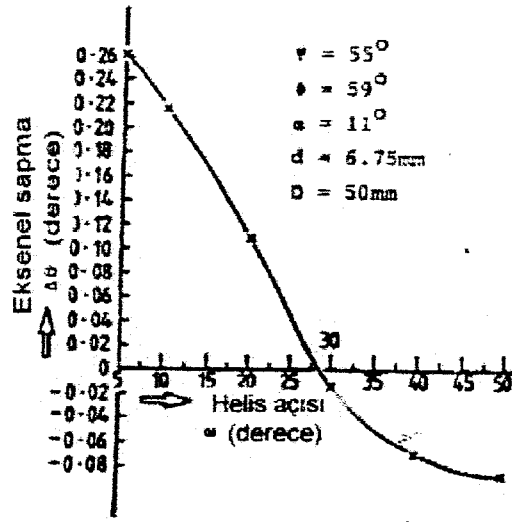
Matkabin gövde boşluklu ve gövde boşluksuz radyal deformasyonları, matkap üst yüzeyinde radyal hareketli ve hareketsiz olarak radyal deformasyonları Şekil 3.14’de gösterilmiştir. Gövde boşluklu olarak radyal deformasyonların minimum olduğu optimal helis açısı $\omega = 32^\circ$ bulunmuştur. Bu değer gövde boşluksuz delme işleminde ise 35° ’dir. Chandrupatla tarafından buluna helis açısı değeri ise 37° ’dir. Chandrupatla 3-D Sonlu elemanlar yöntemi kullanmıştır ve gövde boşluğunu yok saymış, matkabin üst yüzeyini sabit almıştır. Bu çalışmada ki sonuçlarda ise gövde boşluklu ve boşluksuz olarak hesaba katılmış, matkap üst yüzeyinde yansal hareketler olduğu belirlenmiştir. Optimal helis açısı olan $\omega = 30^\circ$ ’de radyal deformasyonda kayda değer bir azalma olmamıştır. Bu da endüstrideki uygulamalarda helis açısı olarak $24^\circ - 32^\circ$ arasında bir değer seçilmesini açıklamaktadır.



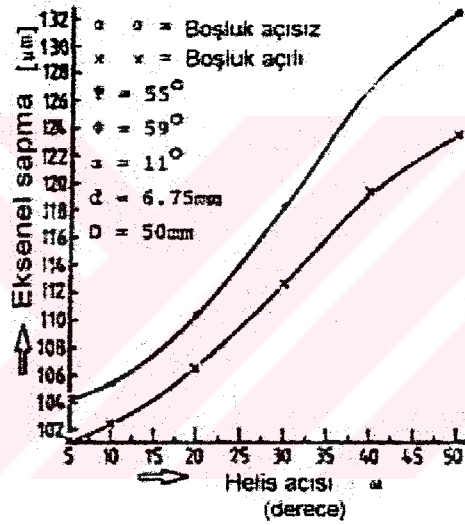
Şekil 3.14 Helis açısına göre radyal deformasyonlar (Singh ve Miller, 1988)

Şekil 3.15’de gövde boşluklu ve üst yüzeyi yansal hareketli matkap için radyal deformasyon sonuçları grafikleştirilmiştir. Analiz sonucunda 30° ’lik optimal helis açısı için burulma rijitliği en büyük değerdedir, bu da Şekil 3.14’deki sonuçları desteklemektedir.

Gövde boşluklu ve gövde boşluksuz üst yüzeyi yansal hareketli olarak aksenal deformasyon sonuçları Şekil 3.16’da görülmektedir. Helis açısı arttıkça aksenal rijitlikte kötüleşme görülmektedir. Boşluk açılı veya boşluk açısının olmaması durumunda çok az bir değişim olmuştur.



Şekil 3.15 Helis açısına göre açısal deformasyonlar (Singh ve Miller,1988)



Şekil 3.16 Helis açısına göre eksenel deformasyonlar (Singh ve Miller,1988)

3-D Sonlu Elemanlar modeliyle spiral matkabın analizi yapılmıştır. dizayn parametrelerinin değişim oranlarıyla oluşan problemlerin çözümünde bu modelin kullanışlı olduğu kanıtlanmıştır.

Helis açısı ω arttıkça boşluk açılı ve boşluk açısız delme işlemi için radyal deformasyonlar azalmaktadır. $\omega = 30^\circ$ için deformasyonda bir değişme gözlenmemiş, helis açısının optimal değerinin yaklaşık 30° olması tavsiye edilmiştir. Bu sonuç Şekil 3.15'de elde edilen sonuçlarla da doğrulanmaktadır.

Yukarıda belirtilen iki araştırma sonucunda, Lorenz'e göre helis açısı için optimal değer 40° iken Singh ve Miller'a göre optimal helis açısı değeri 30° 'dir. Bu farkın sebebi Miller ve

Singh'in yaptığı araştırmada kullandığı 3-D sonlu elemanlar yöntemidir. 1988 yılında yapılan çalışmada bu gelişmiş yöntem kullanılarak helis açısı için optimal olan değer bulunmuştur. Bulunan optimal helis açısı değeri bugünkü endüstriyel uygulamalarda kullanılan değere çok yakındır.

3.1.2.4 Radyal Ağzın Talaş Kaldırmaya Etkisi

Radyal ağız, kesici ağızları birleştiren özün en uç noktasıdır. Genel olarak radyal ağız doğru şeklindedir. Radyal ağzın kesme performansına direkt etkisi vardır. Bu yüzden birçok araştırmacı tarafından çeşitli geometrilere sahip radyal ağızlı matkaplar hakkında bir çok deney yapılmıştır.

Radyal ağızlı matkaplarda delme işleminde meydana gelebilen yüksek aksenal kuvveti azaltmak için iki tane konik dış yan yüzeyin birleştiği "konik yüzeyli" matkap uç geometrileri kullanılmıştır. Daha öncede üç kesici kenarlı ve spiral uçlu matkap geometrileri tasarlanmıştı. Bir araştırmacı olan T.H Osoi tarafından yeni uç geometrisine sahip ve "dairese merkez kenarlı" adı verilen , S- Şekil kesme kenarına sahip uç taşlamalarıyla üretilen ve radyal ağza sahip olmayan matkap tasarlanmıştır. Bu yeni tip matkap daha çok düzgün ve dar çekirdek kalınlığına sahip sistemlerde kullanılabilir. Son zamanlarda üretilen HSS (yüksek hız çeliği) matkap malzemeleri TiN kaplamaya ticari olarak sağlamaktadır. Bununla birlikte Hoshi ve Zhao tarafından yapılan araştırmada kuvvet, aşınma, ömür ve talaş kontrol performansları test edilmiştir. Klasik matkap alternatiflerle karşılaştırılmış, üstün nitelikli kesme performansı olarak kazandırdıkları irdelenmiştir. Araştırmada TiN kaplı matkapların kesme esnasındaki performanslarının değerlendirilmesini de içermektedir.

En çok kullanılan matkap uç geometrisi Şekil 3.17a'da gösterilen "konik taşlanmış" matkap türüdür. Bu tip geometride kesme kenarında dış yan yüz açısı merkeze yaklaştıkça büyür. İki yüzeyin kesiştiği bölge, kesitin ortasındaki çekirdek radyal ağız olarak da adlandırılır. Negatif talaş açısına sahip olduğundan uç körelir ve büyük aksenal kuvvetler meydana gelir.

Delme esnasında meydana gelen aksenal kuvveti azaltmanın tercih edilen bir yolu da iki taraftan yivleri taşlama yoluyla radyal ağzı kısmen veya tamamen ortadan kaldırmaktır. Bu method uygulanarak yapılan üç talaş açılı geometriye sahip matkap Şekil 3.17b 'de gösterilmektedir. Taşlama ve oyuk kenarının alınmasıyla düzgün dairese kesme ağzı oluşturulmuştur. Uç geometrisinin dış yan yüzeyleri iki değişik boşluk açısıyla birlikte taşlamayla oluşmuştur.

Eksenel kuvveti azaltmanın diğeri bir yolu ise S şekli oluşturmaktır. Bu tür dizaynın tipik örneği 1958 yılında J.W.Haggerty tarafından bulunmuş olan Şekil 3.17c 'de gösterilen helisel kenar geometrisidir. Bu dizayn klasik matkaplara göre daha az eksenel kuvvet ve daha iyi merkezleme performansı oluşturmaktadır.



Şekil 3.17 Matkap uç geometrileri (Hoshi ve Zhao, 1989)

Bu araştırmada belirtilen yeni uç geometrisi S- Şekilde kesme kenarına sahip “yuvarlak merkezli kenar” geliştirilmiştir. Bu iki dairesel kesme kenarı Şekil 17d’de görüldüğü gibi matkabın merkezinde birleşmektedir. American Machinist & Automated Manufacturing’ in yeni araştırma konusu; hem taşlama methodu hem de S- Şekilli ucu birleştirerek yeni tip matkap oluşturmaktır. Düzgün ve geniş çekirdeğe sahip olan bu yeni tip dairesel merkez kenarlı matkap deneylerde çeliklerin delinmesinde kullanılmıştır. Sonuç olarak klasik matkaba göre daha yüksek performans, uzun takım ömrü, daha iyi kontrol, tasarruf ve daha az eksenel kuvvet sağlanmıştır.

İlk dairesel merkezli kesici kenar geometrisi 1976 yılında çelik model ve kalıpların işlenmesi için frezelemede kullanılan karbür takımlarda geliştirilmiştir. 1980 yılında ise bu geometri geniş çekirdeğe sahip spiral matkaplar için uygulanmış ve güzel sonuçlar elde edilmiştir. 1984 yılında aynı kenar geometrisi geniş çekirdeğe sahip TiN ile kaplı HSS takımlar için kullanılmıştır. 1985 yılında ise aynı tip matkap TiN kaplamasız kullanılmıştır.

Ticari olarak pirinç karbür, merkez ucun sağ tarafında kesme kenarsız ve dairesel merkez kenarlı şekle yakın matkaplar kullanılabilir. Teorikte deliğin altında tel şeklinde çapak oluşabilir, fakat bu şekillendirmeye alınmakta ve gözden kaybolmaktadır. Son zamanlarda yapılan araştırmalarda merkez uçtaki kayıp kenar sayesinde aksenal kuvvet gerekliliği azalmıştır.

Araştırmalarda düzgün uçlu ve kalın çekirdek uçlu yeni tip dairesel merkez kenar uçlu geometriye sahip HSS matkap, klasik matkaplarla karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda dairesel merkez kenara sahip matkapların kesme performansları daha üstün bulunmuştur. Bu araştırmanın bir parçası olarak TiN kaplamanın kesme performansına olan etkisini de içermektedir.

Dört değişik uç geometrisine sahip 10 mm çaplı HSS matkaplar test edilmiştir. Test edilen dört matkap konik taşlamalı, spiral uçlu, üç talaş yüzeyli ve dairesel merkez kenarlı matkaplardır. Ayrıca TiN kaplı 20 mm çaplı matkaplar da test edilmiştir.

İki çeşit deneyle talaş kırma mekanizması geliştirildi. Birincisi, 20 mm çaplı matkabın değişik test koşulları için talaş ağırlığının karşılaştırılması, ikincisi ise 20 mm çaplı geniş çekirdekli dairesel merkez kenarlı matkabın talaş oluşumunu araştıran quick- stop testidir.

Çizelge 3.6'da test edilen matkabın geometrisi, sertliği, ve malzemesi özetlenmiştir. Dört çeşit uç geometrisine sahip matkaplar arasında dairesel merkez kenar uca sahip matkap 130° uç açısına sahiptir. Diğerleri ise 118° uç açısına sahiptir. Yeni tip uç geometrisi geniş çekirdekli matkap olarak geliştirilmiştir. Geniş çekirdek dizaynı daha büyük kesit alan sağlar, bu yüzden radyal kesme kuvvetleriyle eğilmeye karşı daha yüksek rijitlik elde edilir. Ölçümler sonucunda geniş çekirdekli matkabın eğilmeye karşı dayanıklılığı düzgün matkaba göre iki kat daha fazla bulunmuştur.

İş parçası malzemesi olarak, % 0.45 C'ye sahip alaşımsız çelik kullanılmıştır. İş parçasının kalınlığı 28 mm olup sertliği 170 Bhn'dir. Kesme sıvısı olarak su ile karışabilen HOSOI tip kesme sıvısı kullanılmıştır. Kesme sıvısı matkap dışındaki memeden uygulanmıştır.

Çizelge 3.6 Deneyle kullanılan matkaplar (Hoshi ve Zhao, 1989)

Çap	10 mm				20 mm				
Uç dizaynı	Klasik matkap				Klasik matkap		Geniş özlü matkap		
Uç geometrisi	Konik taşlanmış	üç talaş yüzeyli	spiral uç	Dair. mer. Kenar	Konik taşlanmış	Dair. mer. Kenar	Dairesel merkez kenar		
Kaplama (TiN)	Yok				Yok		Talaş ve serbest yüzey	sadece talaş yüz.	Yok
Helis açısı	32°				33°		30°		
Uç açısı	118°		130°		118°		130°		
Boşluk açısı	10°								
Öz kalınlığı	1,5 mm				2,7 mm		6 mm		
Malzeme	JIS SKH51				JIS SKH51		JIS SKH56		
Sertlik HRC	66,3				65,4		67,6	67,2	
Mat.kav.ay.aıt. uzunluk	87-92 mm				164-174 mm		138-148 mm		

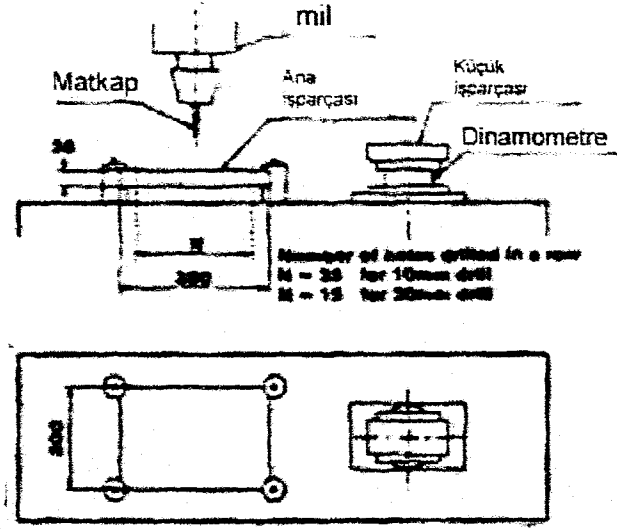
Deneyle kullanılan takım tezgahı Nümerik kontrollü HCN 450 (HOSOI Machine Works Co. Ltd.) marka kopya freze tezgahıdır. Maksimum devir = 2000 rpm, mil kafa no = 50, mil güç kaynağı 7.5 kw'lık hidrolik pompa, tabla boyu 2000*450 mm.

İki çeşit dinamometre kullanılmıştır. Bunlar; 9271 A (Kistler) marka iki – komponentli matkap dinamometresi ile dört komponentli strain gauge'li matkap dinamometreleridir.

Delme testi Şekil 3.18'de gösterilen düzenele yapılmıştır. Ana iş parçası freze tezgahının tablasında iken küçük iş parçası iki komponentli matkap dinamometresinin üstüne yerleştirilir. Ana iş parçasında elli tane delik delindikten sonra moment ve eksenel kuvvetin ölçülmesi için küçük iş parçasında delik açılmıştır. Daha sonra matkap, matkap kavrama aynasından çıkartılıp yan yüzeylerdeki aşınma genişlikleri ölçülmüştür. Bu ölçümden sonra matkap kavrama aynasına takılmıştır. Burada matkapın kullanma ömrünün sonucunu belirten büyük titreşim gürültüsüne dikkat edilmelidir.

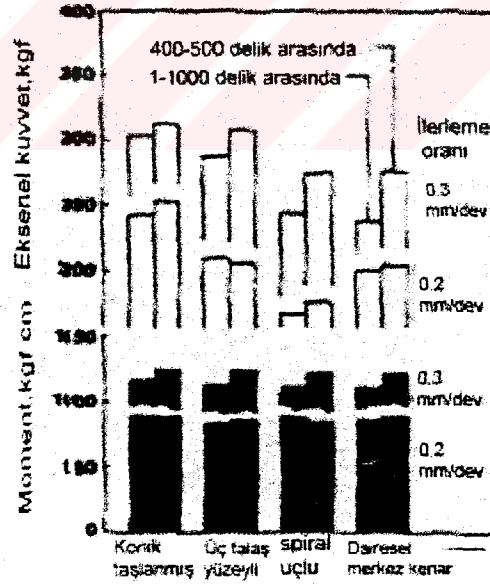
Deneyle dört çeşit uç geometrisi kullanılmıştır. Bunlar konik taşlamalı, üç talaş yüzeyli, spiral uçlu ve dairesel merkez kenarlı matkap uçlarına sahip 10 mm çaplı HSS malzemeli matkaplardır. Tek grup halinde delme işlemi yapılmıştır. delme işlemi 600 rpm devirde, 0.2

ve 0.3 mm/dev ilerleme oranında % 0.65 C'lu alaşımsız çelikle, kesme sıvısıyla gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.18 Delme testi düzeneği (Hoshi ve Zhao, 1989)

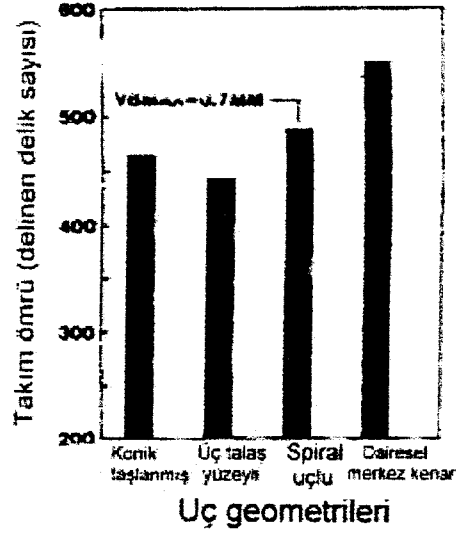
Şekil 3.19'da kesme datalarının karşılaştırılması görülmektedir. Buna göre matkap uç geometrisiyle moment arasında değişim yoktur. Fakat spiral uçlu ve dairesel merkez kenarlı matkap için aksenal kuvvet diğer iki matkap şeklinden daha küçük bulunmuştur.



Şekil 3.19 Çeşitli uç geometrileri için oluşan moment ve aksenal kuvvet değerleri (Hoshi ve Zhao, 1989)

Matkapların takım ömürleri karşılaştırıldığında iki sonuç elde etmek mümkündür. Bunların birincisi; elli delik delinmesi için hazırlanan düzeneğe, yirmibeşinci delikten sonra maksimum kenar aşınma genişliği V_{Bmax} 0.7 mm'ye ulaştığında delikten gürültü işitilir.

İkincisi ise; Şekil 3.20’de görüldüğü gibi dairesel merkez kenarlı uç geometrisine sahip matkabın ömür değerleri diğerlerinden daha yüksek olmasıdır.



Şekil 3.20 Takım ömrüne göre deney sonuçları (Hoshi ve Zhao, 1989)

1984 yılından beri geniş çekirdeğe sahip dairesel merkezli uç geometrisi ve TiN kaplamalı matkaplar ticari olarak kullanılmaktadır. TiN kaplamanın kesme performansına etkisini belirlemek için kaplamalı ve kaplamasız aynı malzemedeki (HSS) geniş çekirdekli matkaplar hazırlanmıştır. Üç çeşit matkapla deneyler yapılmıştır. Bunlar:

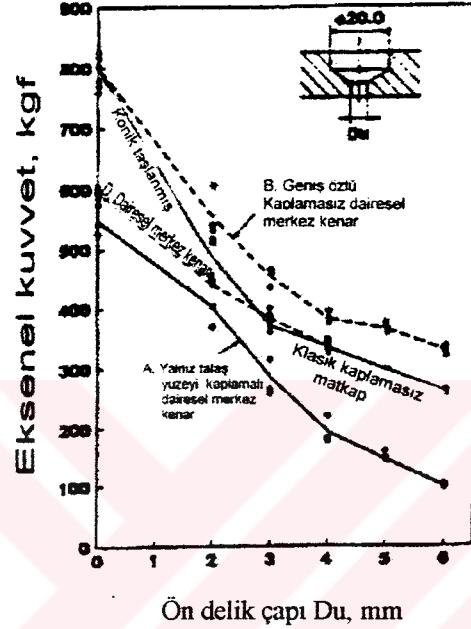
- 6 mm genişlikte çekirdeğe sahip, 20 mm çaplı, dairesel merkez kenar uç geometrilili, talaş ve serbest yüzeyinde TiN kaplı matkap.
- Yukarıdaki matkabın aynı özelliklerine sahip ancak serbest yüzeyi TiN kaplamasız, talaş yüzeyi TiN kaplamalı matkap.
- Yukarıdaki matkabın aynı özelliklerine sahip fakat kaplamasız matkap.

Yine çekirdek genişliğinin etkisini belirlemek için başka HSS malzemesinden iki tane daha test matkabı hazırlanmıştır. Bunlar:

- 2.7 mm düzgün çekirdek genişliğine sahip, dairesel merkez kenar uç geometrisine sahip kaplamasız matkap.
- Yukarıdaki matkabın aynı özelliklerine sahip fakat konik taşlamalı uç geometrisine sahip matkap.

Radyal ağız ve kesici kenarın talaş kaldırma mekaniğini anlamak için deneyden önce 6 mm çapında merkezleme puntası açılmıştır.

Şekil 3.21'de iş parçasının merkezlemeli olarak delinmesinde aksenal kuvvet ölçümleri yapıp grafik oluşturulmuştur. Bu grafikten görüleceği gibi geniş çekirdekli kaplamalı A matkabının aksenal kuvveti, kaplamasız olan B matkabından daha küçüktür. Aksenal kuvvetlerdeki fark 550 – 800 kgf arasındadır. Değişim miktarı %30'dur. Açılan ön delik, dairesel merkez kenarlı uç geometriye sahip matkapta kısımları birbirine tutturduğundan aksenal kuvveti azaltmaktadır.



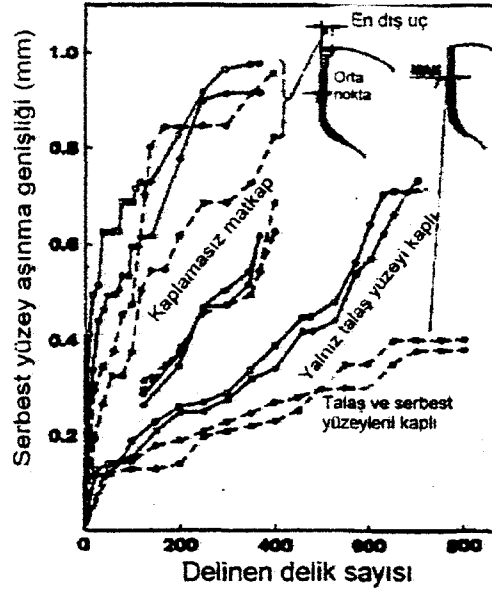
Şekil 3.21 Farklı uç geometrisine sahip A, B, C ve D matkaplarının aksenal kuvvetlerinin ön delik çapı değişkenine göre karşılaştırılması (Hoshi ve Zhao, 1989)

Konik taşlanmış C matkabı ile dairesel merkez kenar uçlu D kaplamasız düzgün matkaplardır. Ön delik çapı D_u çekirdek genişliğinden küçük olduğundan daha büyük aksenal kuvvetler gerekmektedir. Eğer D_u çekirdek genişliğinden büyük olursa sadece kesme bölgesinin bazı bölümleri aktif olmakta, radyal ağız ve dairesel merkez kenar tarafından talaş kalmamaktadır.

Eğer kaplamasız olan B, C ve D matkapları karşılaştırılsa; geniş çekirdekli B matkabı C ve D matkabından daha çok aksenal kuvvet gerektirir. Çünkü geniş çekirdekli kesici kenar, dairesel merkez kenar kesici kenarına göre birim uzunluk için daha büyük aksenal kuvvet gerektirir. Bundan dolayı matkap geniş çekirdekli matkap dairesel merkez kenara sahip olsa bile daha büyük aksenal kuvvet oluşabilmektedir.

Moment ölçümlerinin karşılaştırılması sonucunda; kaplamalı matkapların kaplamasız matkaplara göre % 20 daha az moment oluşturduğu bulunmuştur. Kaplamasız olan konik taşlanmış ve dairesel merkez kenar uçlu matkaplar karşılaştırıldığında aralarında moment

değerleri bakımından önemli farklılıklar bulunmadı. Fakat geniş çekirdekli matkap daha uzun dairesel merkez kenara sahip olduğundan daha yüksek moment gerektirir.



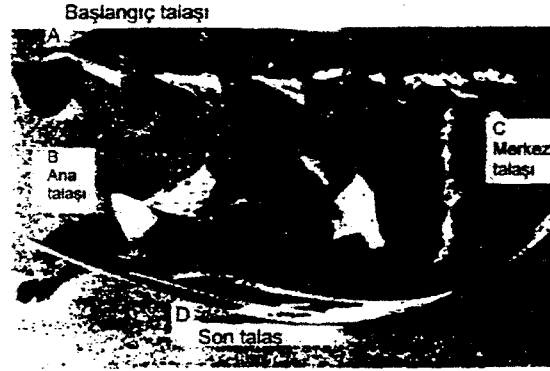
Şekil 3.22 Kaplamanın takım aşınmasına etkisi (Hoshi ve Zhao, 1989)

Şekil 3.22'de geniş çekirdekli dairesel merkez kenarlı matkapta serbest yüzeyde meydana gelen aşınma miktarı delme sayısına değişkenine göre grafikleştirilmiştir. Bu grafikten de anlaşılacağı gibi TiN kaplamalı matkabın serbest ve talaş yüzeyinde aşınma hızı düşüktür. Sadece talaş yüzeyi kaplanmış matkabın aşınması hızlıdır. Kaplanmamış matkapta ise aşınma hızı yüksektir. Kaplanmamış matkapta normal olarak dıştaki kesici kenarın sonunda daha büyük aşınma olur. 0.7 mm serbest yüzey aşınma genişliği kriter olarak alınırsa, tamamı TiN kaplanmış matkapla sadece talaş yüzeyi TiN kaplanmış matkap arasında beş kat fark vardır.

Yukarıdaki grafikten, matkabın serbest yüzeyinin TiN ile kaplanmasının oluşacak olan aksenal kuvveti, kesme momentini ve takım aşınmasını azalttığı sonucuna varılır. Bu sayede daha iyi kesme kabiliyeti ve daha uzun takım ömrü sağlar.

Şekil 3.23'de dairesel merkez kenar ucu geometrisine sahip matkap kullanarak normal çeliğin delinmesinde oluşan talaş görülmektedir. Baştaki safha matkabın iş parçasına girişini göstermekte ve kesiksiz A spiral talaşı oluşmaktadır. Bu talaş oluşumu konik taşlanmış uç geometrisine sahip olup yaklaşık 0.2 mm/dev için doğru kabul edilir. Bununla birlikte, dairesel merkez kenar uçlu matkap kullanılarak normal çelik daha yüksek ilerleme oranlarında (0.3 – 0.6 mm/dev) delinirse, sadece giriş safhasında kesiksiz A talaşı oluşur. Diğer safhalarda ise ana kesici kenar tarafından daha küçük parçalara bölünmüş kesikli B talaşı oluşur. Daha detaylı incelemeyle kesici kenarın dairesel merkeziyle daha küçük C talaşı

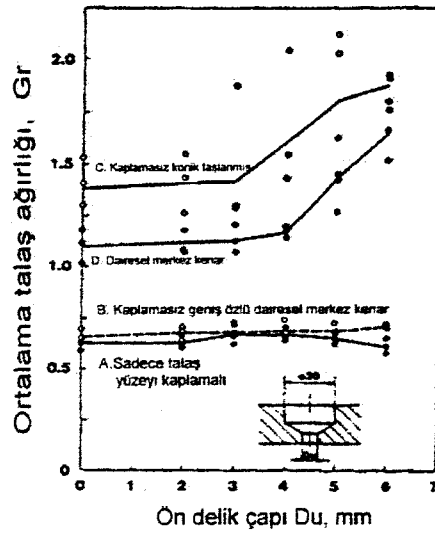
oluştugu bulunur. Bu yüzden bu talaşa merkez talaşı denir. Son çıkış safhasında yani takım ucunun iş parçasını terk ettiği yerde düzgün olmayan şekilli D talaşı oluşur.



Şekil 3.23 Dairesel merkez kenar uç için talaş oluşumu (Hoshi ve Zhao, 1989)

Spiral uçlu, geniş çekirdekli konik taşlanmış uçlu matkapla ön delikli yapılan delme işlemlerinde talaş ağırlıkları ve ortalama ağırlıklar hesaplanmıştır.

Şekil 3.24'de görüldüğü gibi, geniş çekirdeğe sahip dairesel merkez kenar uçlu kaplamalı A matkabı veya kaplamasız B matkaplarında en az talaş ağırlığı bulunmuştur. Buradan kaplamanın talaş boyutuna etki etmediği görülmüştür. Konik taşlanmış uçlu matkap en geniş talaşa sahiptir. Dairesel merkez kenar uçlu D matkabının kullanılması talaşın daha iyi parçalara bölünmesini sağlar. Normal 2.7 mm çekirdek genişliğine sahip C ve D matkabı kullanılırsa, talaş parçacıklarının boyutları genişler. Bu yüzden radyal ağız ve dairesel merkez kenar delme işleminde birbirini tutmaz.



Şekil 3.24 Farklı ön delik çaplarında oluşan ortalama talaş ağırlıkları (Hoshi ve Zhao, 1989)

Yukarıdaki bilgilerden, delme işleminde dairesel merkez kenar ucun, talaşların küçük parçalara ayrılmasında olumlu etkisi olduğu belirlenir.

Hoshi ve Zhao tarafından farklı radyal ağız geometrileri için yapılmış olan deneyler incelendiğinde aşağıdaki sonuçlar elde edilir:

- Dairesel merkez kenarlı uç geometrisi kullanıldığında klasik matkaba göre daha iyi delme performansı, daha az aksenal kuvvet, aşınmada azalma ve daha uzun takım ömrü sağlanır.
- Aynı uç geometrisine ve malzemeye sahip TiN kaplanmış ve TiN kaplanmamış matkaplar karşılaştırıldığında, kaplanmış matkabin % 30 daha az aksenal kuvvet, %20 daha az moment ve beş kat daha fazla takım ömrü sağladığı belirlenmiştir. Kaplama sadece talaş yüzeyine yapılıp yan yüzeylerde yapılmamıştır.
- Radyal ağız formuyla klasik matkap karşılaştırıldığında dairesel merkez kenar ucun aksenal kuvveti azaltma etkisi yaptığı bulunmuştur. Ancak geniş çekirdekli uç şekli kullanıldığında bu kuvveti karşılamak için ana kesici ağzın uzunluğu arttırılmıştır.
- Dairesel merkez kenarlı uç geometrisinin talaşları daha küçük parçaya bölmek gibi uygun etkisi olmuştur. Ayrıca geniş çekirdeğin dar helis alanı oluşturması ve dairesel merkez kenar geometrisinin uç açısını arttırması kısa talaş oluşumuna etki etmiştir.

3.1.2.5 Delme İşleminde Girdaplı Titreşim ve Etkileri

Delme işleminde birçok neden ve değişkenlerden dolayı çeşitli bozukluklar oluşabilir. Bu bozuklukların en büyüğü girdaplı titreşimin meydana getirdiği poligon şekline sahip delik geometrisidir.

Matkap, matkap-tezgah sistemleri için birçok titreşim araştırmaları yapılmıştır. Örnek olarak, Galloway'e göre moment ve aksenal kuvvetin delme işleminin son safhasında matkap ucuna etki etmesiyle, matkapta aksenal yer değiştirmeler oluşur. Tobias'ın yaptığı araştırmaya göre belli hızlarda düzensiz titreşimler oluşmaktadır. Bunların ana sebebi girdaplı titreşimlerdir. Delme işlemlerinde çoğunlukla girdaplı titreşim (whirling vibration) ve düzensiz titreşim gözlemlenmektedir. Girdaplı titreşim delme işleminin başında başlar ve iş parçası yüzeyinde dairesel delik geometrisinden sapmış çok kenarlı şekiller oluşturur. Tobias ve Galloway tarafından bu konuda araştırmalar yapılmıştır. Deliğin geometrisinin niye dairesel şekilde değil de poligon şeklinde oluştuğuna cevap bulunamamıştır. Ayrıca doğal delme frekansının girdaplı titreşim frekansından düşük olmasının sebebine de açıklık getirilememiştir.

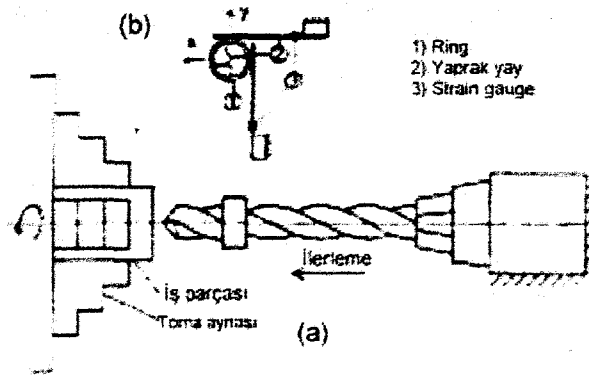
Üç araştırmacı (S. Ema, H. Fujii ve E. Marui) tarafından yapılan araştırmada, girdaplı titreşimin kesici kenar serbest yüzeyi ve iş parçası yüzeyiyle sürtünme kuvveti oluşturarak düzensiz titreşimi oluşturduğu belirlenmiştir. Yine girdaplı titreşim esnasında oluşan farklı titreşim dalga formları ve dik sürtünme kuvvetleri titreşim genişliğini ve hızını sınırlamaktadır. Delme sisteminde oluşan doğal titreşimin frekansı, girdaplı titreşim frekansından yüksektir. İstenmeyen kuvvetlerden dolayı çok kenarlı dairesel olmayan delik geometrisi oluşur.

3.1.2.5.1 Radyal Ağzın Girdaplı Titreşime Etkisi

Girdaplı titreşimin yapısı, oluşumu, özellikleri ve sakıncaları hakkında birçok araştırma yapılmıştır. Araştırmacılar (Ema vd., 1986) tarafından radyal ağzın girdaplı titreşime olan etkisi araştırılmıştır. Bu araştırmada değişik uç geometrisine sahip matkaplar için oluşan eliptik yörünge ölçülmüş ve uç şekillerinin girdaplı titreşimin başlaması ve gelişmesine olan etkisi tartişılmıştır. Burada üç değişik öz kalınlığına sahip matkaplar için radyal ağzın etkisi araştırılmıştır.

Delme işlemi başında oluşan whirling vibration (girdaplı titreşim) araştırılmıştır. Bu deney için üç değişik öz kalınlığına sahip matkap kullanılmıştır. Matkapların karakteristikleri ve titreşime etkileri tartişılmıştır. Girdaplı titreşim ana kesici kenarda oluşur. Ancak radyal ağzın titreşimi azaltma etkisi vardır.

Bu deney için iş parçası torna üzerine yerleştirilip, belli ilerleme değerinde delme işlemi yapılacaktır. şekil 3.25'de görüldüğu gibi yatay yer değiştirmeler x yönünde, dik yer değiştirmeler y yönünde ölçülecektir. Yaprak yayların doğal frekansı 180 Hz dir, bu methodla 30 Hz'den daha küçük frekanslar ölçülebilmektedir. Ölçümlerin hassasiyeti ise 0.01 mm'dir.



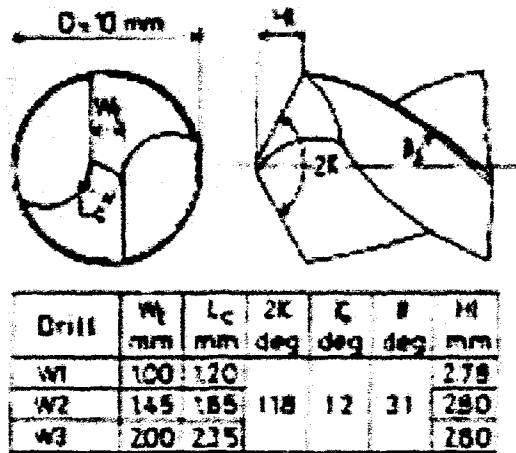
şekil 3.25 Deney aparatları a) Delme metodu b) Matkap uç deplasmanının ölçülmesi (Ema vd., 1986a)

Deneyde kullanılan, üç çeşit matkabın W_1 , W_2 , W_3 geometrileri Şekil 3.26'da görülmektedir. Bu matkapların öz kalınlıkları sırasıyla 1mm, 1,45mm ve 2mm'dir. Öz kalınlığındaki artış L_c radyal ağız uzunluğunu arttırır. Diğer değişkenler ise $D=10$ mm, uç açısı $2K$, dış köşedeki serbest açısı γ_0 , $L=90$ mm ve $L/D=9$ 'dur. Deneyler sırasında matkapların geometri ve boyutları üniversal ölçüm mikroskobu (Curl Zeiss Jena) ile yapılmıştır. Kesici ağız yüksekliği, radyal ağızdaki sapmalar ve radyal ağız açıları arasındaki farklar sırasıyla 0,01 mm, 0.03 mm ve $1,5^\circ$ den daha azdır.

W_1 , W_2 , W_3 matkaplarında sırasıyla 48,5 N/mm, 57,8 N/mm ve 63,8 N/mm gerilme oluşmaktadır. Bütün matkaplar için doğal frekans yaklaşık 250 Hz'dir. Torna mili – iş parçası sisteminin eğilme gerilmesi 10 KN/mm olup, matkapların eğilme gerilmesi değerlerinden oldukça büyüktür. Matkap malzemeleri HSS (yüksek hız çeliği)'dir. İş parçası malzemesi ise AISI 2345 karbon çeliğidir.

Şekil 3.27'de titreşimin, matkabın iş parçasına temasından itibaren nasıl geliştiği görülmektedir. gönderilen dalgalar merkezlemenin olmadığı durumda geçerlidir.

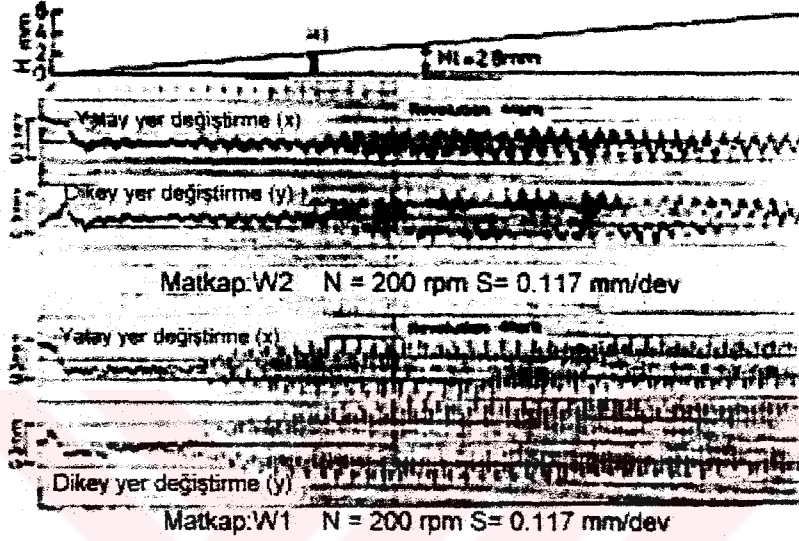
Şekil 3.27'deki diğer bölümde radyal ağız boyu 1,85 mm olan (W_2) ve radyal ağız boyu 1,20 mm olan (W_1) matkapların titreşim grafiği görülmektedir. Diğer kesme koşulları şekilde belirtilmiştir. Birçok nedenden dolayı yatay ve dikey yer değiştirmeler (x ve y yönünde), delik derinliğinde artmakta ve sert değişimler göstermektedir. Titreşim matkabın deliğe girişinden matkap ağız yüksekliği $H_1=2,8$ değerine ulaşıncaya aynı düzeyde olmakta, sonra ise azalmaktadır.



Şekil 3.26 Matkap uç geometrileri (Ema vd., 1986a)

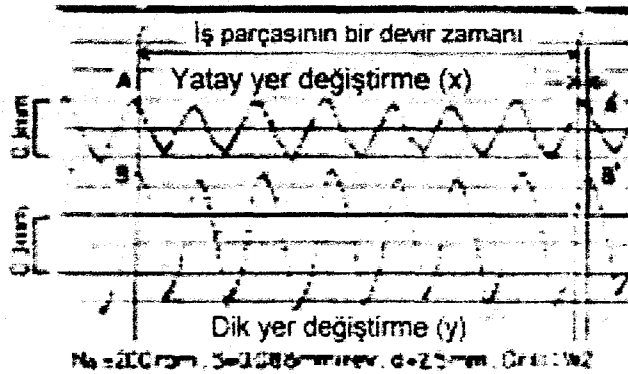
Kısaca radyal ağızlı (W_1) matkabıyla daha uzun radyal ağızlı olan (W_2) matkabi karşılaştırıldığında; aynı delme derinliğinde W_1 matkabi için oluşan titreşim dalgalarının daha kısa olduğu görülür.

Aynı şekle dikkatlice bakılırsa bir dönme esnasında üstteki grafikte beş dalga olduğu, alttaki grafikte ise üç tane olduğu görülür. Bir iş parçası dönüşünde oluşan titreşim sayısı "whirling number, N_w " olarak tanımlanır.

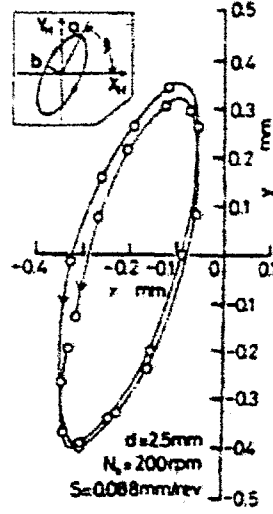


Şekil 3.27 Matkaplar için ölçülen titreşimler (Ema vd., 1986a)

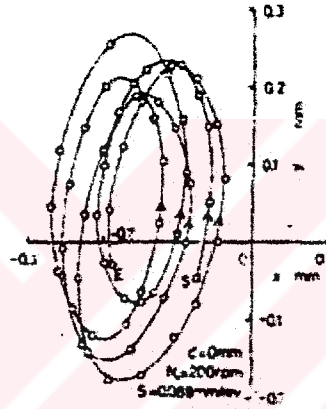
Şekil 3.28'de delik derinliği H_1 için yatay yer değiştirme x , dikey yer değiştirme y görülmektedir. Burada iş parçası $d=2,5$ mm merkezleme çapına sahiptir. Resmin yukarısında iki puls arası bir iş parçası dönmesi esnasındaki süre belirtilmiştir. Bu dönme esnasında $N_w=7$ (7 tane dalga 'cycle') vardır.



Şekil 3.28 Delik derinliği için yatay ve dikey yer değiştirmeler (Ema vd., 1986a)



Şekil 3.29 Merkezleme çapı 2.5 mm için matkap uç deplasmanı (Ema vd., 1996a)



Şekil 3.30 Merkezleme çapı 0 mm için matkap uç deplasmanı (Ema vd., 1986a)

Şekil 3.29 – 3.30’da girdaplı titreşimle matkap ucunun x – y koordinat sisteminde yer değiştirmesi görülmektedir. Bu görüntü, matkaba sap kısmından bakıldığında oluşur. Şekil 3.29’da, Şekil 3.30’daki datalar alınarak $d=2,5$ mm ve 7 titreşim dalgası için, Şekil 3.30’da ise $d=0$ mm için matkap uç yer değiştirmesi çizilmiştir. Bu iki şekil karşılaştırılırsa, merkezlemeli matkabin delinmesin de oluşan şekil, merkezlemesiz matkabin şeklinden iki kat daha geniştir. Yine şeklin elipse yakın bir şekil olduğu ve matkap ucu yer değiştirmesinin saat yelkovanının tersi yönünde olduğu belirlenir. Şekil 3.29’da görüldüğü gibi elipsin ana eksenini a, yardımcı eksenini b, açısı ζ ’dir (ana eksenle x eksenini arasındaki eğim).

Önceki bölümdeki Şekil 3.27 incelenirse radyal ağzın titreşimin başlangıcında, gelişiminde ve sonunda önemli etkiye sahip olduğu görülür. Radyal ağzın etkisinin anlaşılabilmesi için Şekil 3.26’da belirtilen değişik öz kalınlıklarına sahip matkapların girdaplı titreşime olan etkileri araştırılmalıdır. Merkezlemesiz delme işleminde, iş parçasının delik merkezi ve

Şekil 3.33'de ise öz kalınlığı, ilerleme ve dönme hızı değişimine göre başlangıç titreşim sınırları, H_i arasındaki değişim grafike edilmiştir. Şekil incelendiğinde düşük ilerleme değerlerinde her matkap için girdaplı titreşimin başladığı açıkça görülür.

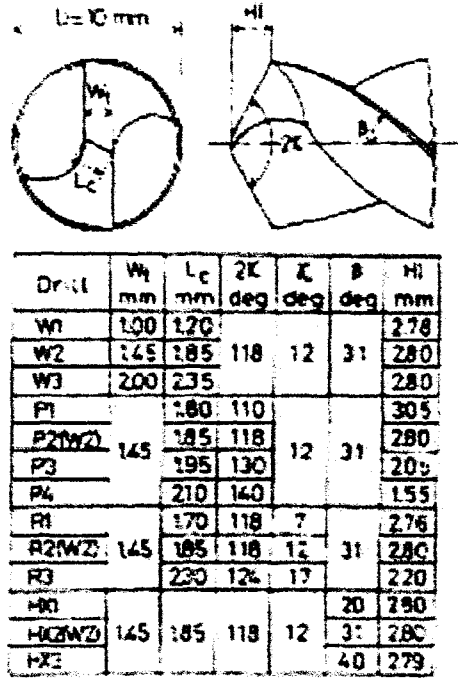
Başlangıç sınır delik derinliği, ince öz kalınlığından kalın öz kalınlığına doğru artmaktadır. İnce çekirdekli matkapta delme işlemi sonucunda istenmeyen delik hassasiyeti oluşmuş ve dairesel olmayan delikler meydana gelmiştir. Yine W2 ve W3 matkapları için, ilerleme oranı $S = 0.176$ mm/dev ve daha üstündeki değerlerde titreşim oluşmadığı belirlenmiştir.

Deney sonuçlarında radyal ağızın girdaplı titreşime açıkça etkisinin olduğu gözlemlenmiştir. Daha kısa radyal ağız ve ince özlü matkaplarda titreşimin etkisi daha fazla, titreşim aralığı daha geniştir.

3.1.2.5.2 Serbest Yüzey ve Matkap Geometrisinin Titreşime Etkisi

Serbest yüzey ve matkap geometrisinin girdaplı titreşime etkisi olduğu araştırmacılar tarafından belirlenmiştir. Ema, Marui ve Fujii tarafından yapılan araştırmada önceki çalışmadaki gibi sadece öz kalınlığının etkisi araştırılmayıp bunun yanında matkap uç geometrisinin diğer parametreleri olan uç açısı, serbest açı ve helis açısının girdaplı titreşime (whirling vibration) olan etkisi araştırılmıştır. Aynı ayrı serbest yüzey özelliklerinin etkisi de araştırılmıştır. Serbest yüzey geometrisinin oluşacak girdaplı titreşime etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca bu üç araştırmacının düzensiz titreşimin etkileri hakkında çalışmaları da olmuştur. Düzensiz titreşimin delme işlemine etkileri ayrı bir bölüm olarak incelenecektir.

Şekil 3.34'de deneyde kullanılan matkapların geometri ve ölçüleri görülmektedir. W – serisi matkaplar, çeşitli öz kalınlıklara sahiptir. P – serisi matkaplar $110^\circ - 140^\circ$ arasında uç açısına sahiptir. R – serisi matkapların serbest açıları $7^\circ - 17^\circ$ arasında değişmektedir. HX – serisinde helis açısı $20^\circ - 40^\circ$ arasında değişir. Matkap çapı 10 mm, tüm boyu ise 90 mm alınmıştır. P – serisi, R – serisi ve HX – serilerinin öz kalınlıkları aynı olup $W_t=1,45$ mm'dir. Matkapların L_c boyları farklıdır. W-serisi matkaplarda L_c boyu 120, 185 ve 235 mm olarak değişiklik göstermektedir. P-serisinde ise sırasıyla 180, 185, 195 ve 210 mm olarak değişmektedir. H- serisi matkaplarda radyal ağız boyu sabit olup 185 mm'dir. W3 matkabının radyal ağız boyu en büyüktür. R-serisi matkaplarda radyal ağız boyu R_1 için 170 mm, R_2 için 185 mm, R_3 matkabı için 230 mm'dir. Diğer geometrik özellikler şekilde belirtilmiştir.



Şekil 3.34 Matkap uç geometrileri (Ema vd., 1986b)

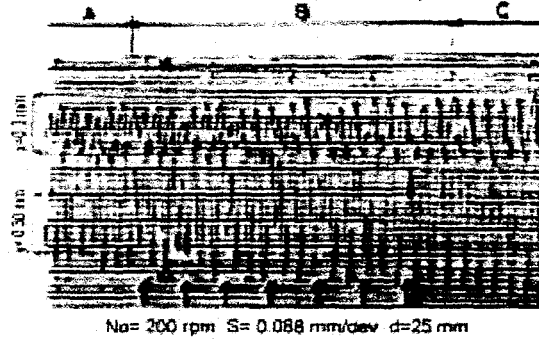
Matkapların imalatı sırasında konik bileme işlemi uygulanmıştır. Bu sayede ana kesici kenar doğru şekilde olmuştur. Bileme esnasında W_t , $2K$, γ_0 ve β parametreleri istenilen şekilde oluşturulmuştur. Yine radyal ağız boyu L_c , ağız yüksekliği H_1 diğer parametrelere bağlı olarak oluşur. Bu iki parametre diğer dört parametrelerinin belirlenmesiyle otomatik olarak oluşur. W2, P2, R2 ve HX2 matkapları aynı olup standart matkap olarak adlandırılacaktır.

Merkezleme çapı 2,5 mm olan iş parçası deneye tabi tutulmuştur. Kesici kenarın girdaplı titreşime etkisi radyal ağızdan ayrı olarak incelenmiştir. Bu sayede radyal ağızın girdaplı titreşime olan etkisi sınırlandırılmıştır.

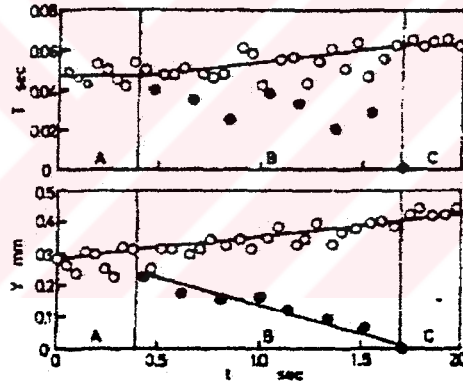
Şekil 3.35'de W2 standart matkabı ile elde edilen yatay yer değiştirme x ve dikey yer değiştirme y görülmektedir. Şekil dikkatle incelenirse; iş parçasının altıncı dönüşünden sonra titreşimde artış kaydedilmiş ve dalga aralığı artmıştır. A periyodu, iş parçasının yedinci dönüşünde matkap ucunda oluşan titreşimi belirtir. Delme işleminde daha derine inildiğinde B periyodunda görülen titreşim dalgaları oluşur. Okla gösterilen dalgaların genişliğinde azalma oluşmaktadır. Son bölüm ise delme işleminin bittiği bölüm olup burada sadece beş dalga oluşumu mevcuttur.

Dik titreşim genişliği Y ve titreşim periyodu T Şekil 3.35'den okunarak Şekil 3.36'da grafike edilmiştir. İçi dolu daire (\bullet) işareti Şekil 3.35'de oklarla gösterilen dalga

genişliklerinin azaldığı değerleri temsil etmektedir. Boş daire (o) işareti büyüyen dalga genişliklerini belirtmektedir. Bu dalga genişlikleri, delinen delik derinliği büyüdükçe artmaktadır. Periyot T değeri ise B süresi boyunca artmaktadır. Bu artışın tersi olarak N_w A süresinin sonunda 7 iken, C süresinin başında 5'e düşmüştür. Buradan da N_w 'nin B süreci boyunca azaldığı gözlemlenmiştir. B süresince her iş parçasının devrinde dalga genişliği iki defa azalma eğilimi göstermiştir. Bu azalma eğilimi B süresi bitiminde son bulmuştur.

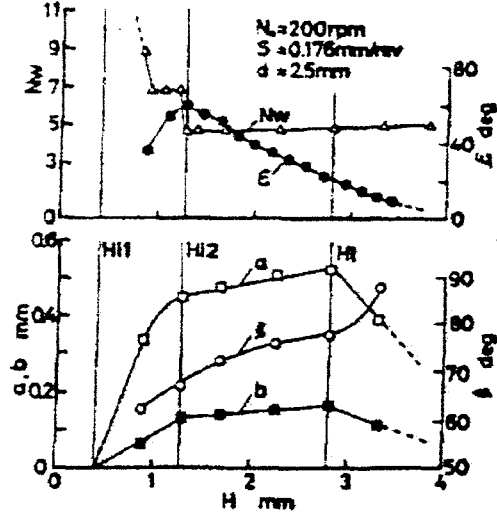


Şekil 3.35 Matkap ucunun yer değiştirmesi (Ema vd., 1986b)



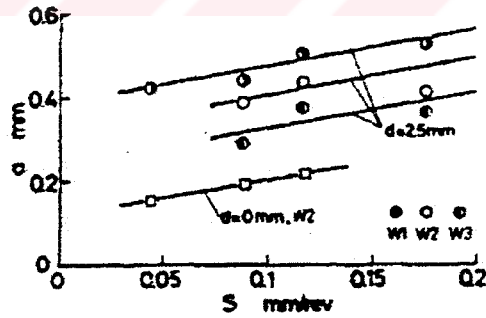
Şekil 3.36 Genlik ve periyotların değişimi (Ema vd., 1986b)

N_w değerindeki azalma eğilimi merkezleme çapına sahip iş parçası için geçerlidir. Radyal ağzın etkisi olmadığı ve sadece ana kesici kenarın titreşime olan etkisi belirlendiğinden, titreşimin karakteristiği daha iyi anlaşılmaktadır. W2 standart matkabı için N_w , ϵ , a , b ve ζ değişkenlerinin titreşime etkisi Şekil 3.37'de grafike edilmiştir. Şekil 3.37'deki grafikler incelendiğinde eliptik yörüngenin ana eksenini b , delme derinliği H_{11} 'den H_{12} 'ye gelinceye kadar artış eğilimi gösterir. Yine H_{12} 'den H_1 delme derinliğine kadar eliptik yörüngenin ana eksenini a ve küçük eksenini b yavaş artış eğilimi gösterir. Burada H_{11} noktası ana kesici kenarın delme işlemine başladığı derinlik, H_1 ise kesici ağzın dış köşesinin deliği delerek içine daldığı derinliktir. Diğer yandan N_w değeri ilk başta yüksek 9 değeriyle başlayıp sonunda 5 değerine kadar düşer.



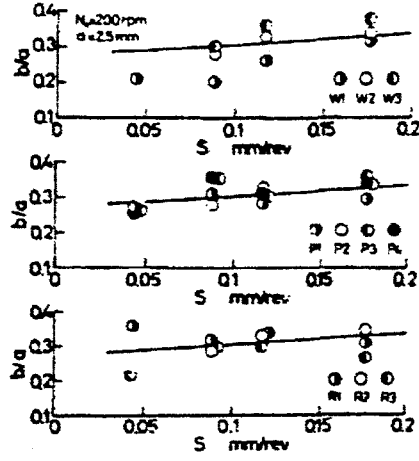
Şekil 3.37 Girdaplı titreşimin eliptik yörüngesini belirten parametreler (Ema vd., 1986b)

H_{11} ile H_{12} arasındaki Nw değişimi, radyal ağız etkisi katılmadığında olacağını ispat etmektedir. Şekil 3.38'de ana eksen a ile delme ilerleme oranı S arasındaki ilişki ilk olarak W - serisi matkaplar için gösterilmiştir. Yine merkezlemesiz delinen delik ile merkezlemeli delinen delik arasındaki değerler de karşılaştırılmıştır. Şekil incelendiğinde en kısa ağıza sahip $W1$ matkabının a değeri çok büyük olmaktadır. Yine delik merkezlemesiz olarak delindiğinde a değerinin büyüklüğü yarıya inmiştir. Bunun nedeni radyal ağızdan dolayı oluşan sınırlamaların etkisi olabilir. Ana eksen a değerindeki artış, S değerinde artış meydana getirir.

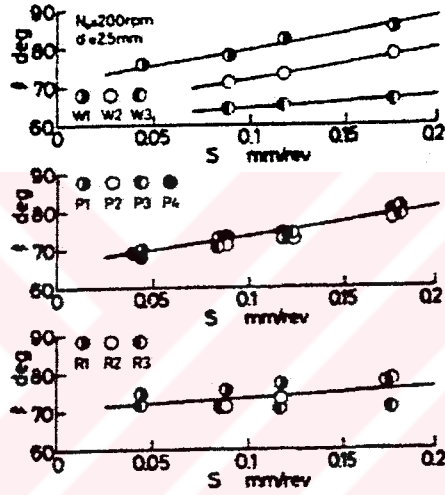


Şekil 3.38 W -serisi matkaplar için eliptik yörüngesinin ana eksenini (Ema vd., 1986b)

Şekil 3.39 ve 3.40'da ise ana eksenin küçük eksene oranı b/a ve elipsin doğrultusu ξ değerlerinin W , P ve R - serisi matkaplar için değişimi grafike edilmiştir. Şekil 3.39'dan görüleceği gibi oranların artışı veya azalması matkap uç geometrileriyle ilerleme oranlarına bağlıdır. İlerleme oranındaki artış s , ξ değerinde artış meydana getirir (Şekil 3.40). Bu artış eğiliminin sebebi ne $2K$ ne de γ_0 değeridir. Artışın sebebi öz kalınlığındaki (W_t) azalmadır.

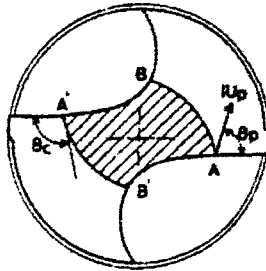


Şekil 3.39 Eliptik yörüngede küçük eksenin ana eksene oranı (Ema vd., 1986b)



Şekil 3.40 Eliptik yörüngede ana eksen ile x-ekseni arasındaki ξ açısı (Ema vd., 1986b)

Şekil 3.41'de ana kesici kenar üzerinde alınan keyfi noktadaki matkap eksenine dik olarak kesilerek oluşan kesit görülmektedir. Bu şekilde A - B ve A' - B' iki yay mevcut olup, bu yaylar matkap eksenine geçiş doğrusudur. Buradan A' - B' yayındaki A' noktasına teğet doğru ile ana kesici kenar arasındaki açiya θ_c , değişim indeksi (collision index) denilmektedir. Bu indeks serbest yüzey konfigürasyonunu belirtmektedir.

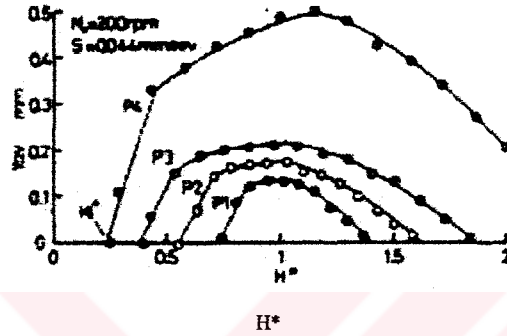


Şekil 3.41 Ana kesici kenardaki hız vektörü ve değişim indeksi tanımı (Ema vd., 1986b)

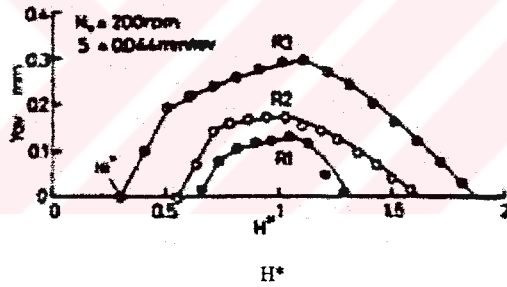
Yapılan araştırmalardan titreşimin sınır değerinin radyal ağız uzunluğu ve değişim indeksi yardımıyla önceden belirlenebileceği sonucuna varılmıştır.

3.1.2.5.3 Girdaplı Titreşimin Davranışı

şekil 3.42 ve 3.43'de ortalama dik genişlik Y_{av} ile H^* ($H^*=H/H_c$ olup H_c =kesici ağız yüksekliği) arasındaki ilişki grafike edilmiştir. Buradaki değişkenler ise uç açısı $2K$ ve serbest açı γ_0 'dır. şekiller incelendiğinde titreşim başlangıç sınır derinliği H_i^* , $2K$ ve γ_0 değerleri arttıka azalmaktadır. R – serisi ve P – serisi matkaplar için Y_{av} değeri yine de yüksektir.



şekil 3.42 P- serisi matkaplar için girdaplı titreşim gelişimi (Ema vd., 1986b)

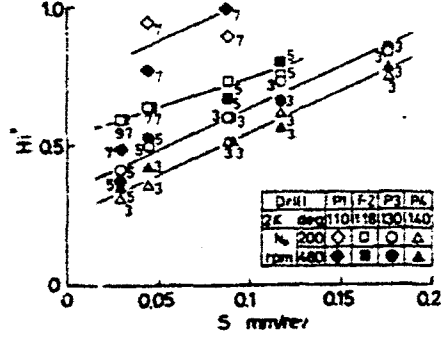


şekil 3.43 R- serisi matkaplar için girdaplı titreşim gelişimi (Ema vd., 1986b)

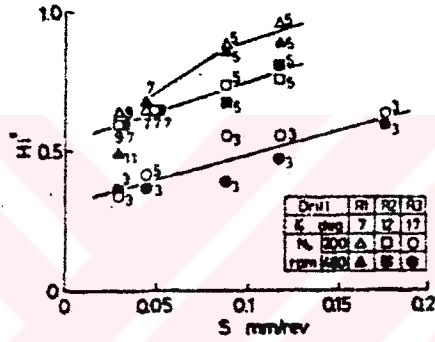
şekil 3.42 ve 3.43'de ise P – serisi ve R – serisi matkaplar için ilerleme oranı s ile titreşim başlangıç sınır derinliği H_i^* arasındaki değişiklik grafike edilmiştir. Yararlanılan değişkenler ise kesme hızı ve ilerleme oranıdır. Bu grafikten de açıkça görülüyor ki ilerleme oranı arttıka titreşim başlangıcı gecikmektedir. Bunun iki nedeni vardır; birincisi artan S değeriyle serbest yüzey etkisinin sınırlanması, ikincisi ise S değeri arttıka radyal ağız sınırlama etkisi artmaktadır.

şekil 3.44 ve 3.45'de belirtilen tamsayılar delme sonucunda oluşan dairesel olmayan delik şeklinin kenar sayısını belirtmektedir. Bu kenar sayıları whirling number N_w 'ye eşittir. Bu grafiklerden yüksek değişim indeksi θ_c içeren matkaplarda titreşimin daha kolay oluştuğu sonucuna varılmıştır. θ_c değeri büyüdükçe bozulan delik şekli 3 veya 5 kenarlı çokgen şeklini

almaktadır. Tabii ki bu sonuç delik hassasiyeti açısından istenmeyen bir durumdur. Kesme hızının girdaplı titreşime herhangi bir etkisi olmadığı belirlenmiştir.



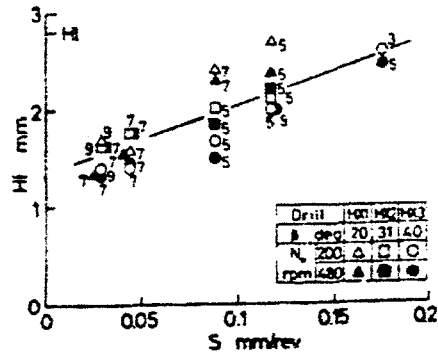
Şekil 3.44 P- serisi matkaplarda titreşim başlangıç sınır değerinin delik derinliği (Ema vd., 1986b)



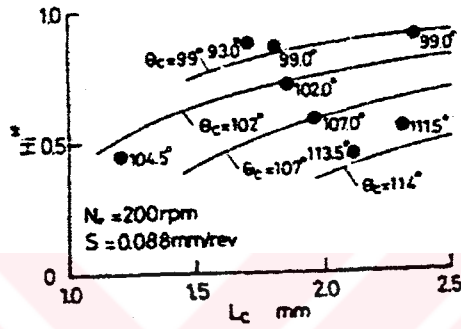
Şekil 3.45 R- serisi matkaplarda titreşim başlangıç sınır değerinin delik derinliği (Ema vd., 1986b)

Şekil 3.46'da HX – serisi matkaplar için ilerleme değerine göre titreşim başlangıç sınırı için delik delindiğinde ki değişim grafike edilmiştir. Bu grafikten H_i değeri arttıkça S değerinin arttığı açıkça görülmektedir. helis açısının titreşim başlangıcına etkisinin çok küçük olmasına rağmen helis açısı talaş yüzeyinin karakteristiğini değiştirdiğinden bu değişim büyüktür.

H_i^{*} parametresinin sadece radyal ağız boyu L_c ve serbest yüzey değişim indeksi θ_c'ye göre değişimi Şekil 3.47'de grafike edilmiştir. Buradaki amaç; girdaplı titreşim başlangıç sınırının iki karakter değerine göre önceden belirlenebilmesidir. Her matkap için θ_c değeri belirtilmiştir. Grafik incelendiğinde sabit L_c değerinde, θ_c değeri büyüdükçe titreşim daha erken başlar. Yine sabit θ_c değerinde, L_c değeri kısaltıldıkça titreşim daha erken başlar. Bir başka değişle serbest yüzey alanı azalır veya radyal ağız etkisi sınırlandırılrsa girdaplı titreşim daha kolay başlar.

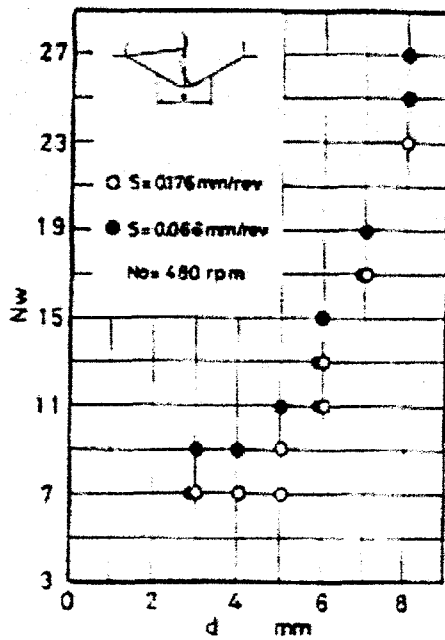


Şekil 3.46 HX- serisi matkaplarda titreşim başlangıç sınır değerinin delik derinliği (Ema vd., 1986b)



Şekil 3.47 Titreşim başlangıç sınırındaki delik derinliği (Ema vd., 1986b)

Yukarıdaki grafik ve araştırmalar sonucunda matkap geometrisinin ana parametreleri radyal ağız boyu ve serbest yüzey indeksi olup bu parametreler girdaplı titreşim başlangıç sınırını etkilemektedir.



Şekil 3.48 N_w ile merkezleme çapı arasındaki ilişki (Ema vd., 1998b)

Merkezlemeli olarak iş parçasının delinmesinde girdaplı titreşim dalga genişliği merkezlemesize göre daha geniş olur. Nw değerinin titreşim başlangıcında aniden düştüğü belirtilmişti. Araştırmacılar (Ema, Fujii ve Marui, 1998) tarafından yapılan deneyler sonucunda merkezleme çapının titreşime etkisi belirlenmiştir. Farklı S değerleri için merkezleme çapı ile Nw arasındaki ilişki bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar grafike edilerek Şekil 3.48'deki şekil elde edilmiştir. Sonuçta merkezleme çapı arttıkça Nw değerinin arttığı belirlenmiştir.

3.1.2.6 Delme İşleminde Düzensiz Titreşim ve Etkileri

Düzensiz titreşim oluştuğunda, takım ömrü azalmakta ve delme işlemini sınırlamaktadır. Düzensiz titreşim (chatter vibration) ve matkap-tezgah sistemleri hakkında birçok araştırma yapılmıştır. Galloway araştırmasında matkaptaki eksenel yer değiştirmelerden dolayı, delme işleminin son safhasında matkap ucunda moment ve eksenel kuvvetin etki ettiğini bulmuştur. Tobias ise bazı hız değerlerinde matkap tezgahı tablasında oluşan relatif yer değiştirmelerin düzensiz titreşimin ana nedeni olduğunu belirlemiştir. Buna rağmen henüz uzun matkaplarda oluşan düzensiz titreşimin mekanik ve karakteristik özellikleri araştırılmamış ve bir sonuca varılamamıştır.

Üç araştırmacı (Ema, Fujii ve Marui) tarafından yapılan çalışmada bazı uzun ve değişik ağırlıklarla matkaplar kullanılarak düzensiz titreşim araştırılmıştır. Değişken kesme parametreleri için düzensiz titreşimin frekans, genişlik ve stabil olmayan oranları ölçülmüştür. Titreşimi önlemek için deneysel sonuçlar, titreşimin mekaniği ve sitabilitesi tartışılmıştır.

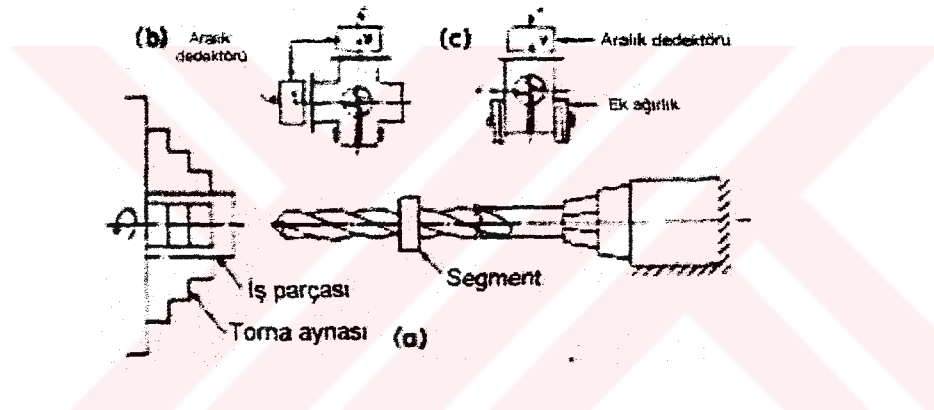
Düzensiz titreşimi araştırmak için yapılan çalışmada (Ema vd., 1988) kullanılan deney düzeneği Şekil 3.49(a)'da görülmektedir. Matkap klasik torna tezgahına sabit olarak yerleştirilip iş parçasına doğru hareket ettirilmektedir. İş parçası torna kafasına sabitlenmiştir. Bu düzenek düzensiz titreşim esnasında matkapta oluşan yer değiştirmeleri ölçmek için geliştirilmiştir. Matkapta oluşan deplasmanlar, matkap üzerine yerleştirilen segment ile matkap uç kısmından itibaren 1/3 uzunluğunda ölçülmüştür.

Şekil 3.49b'de görüldüğü gibi matkabin yatay deplasmanı x ve dikey deplasmanı y iki aralık detektörü kullanılarak ölçülmüştür. Yatay deplasman x ana kesici kenara paralel yönde ölçülmüştür. Bu ölçüm metodu frekans, dalga genliği ve başlangıç sınırını içermektedir. Delme testi için değişken kesme parametreleri kullanılmıştır.

Düzensiz titreşimin kararlılığı araştırılmış, bazı ağırlıklar (w) segmente eklenerek (Şekil 3.49c) ölçümler yapılmıştır. Bu deneyde dikey deplasman y ölçülmüştür.

Deneyde iki çeşit matkap kullanılmıştır. Bu matkapların geometrileri ve titreşim karakteristikleri Çizelge 3.7'de belirtilmiştir. Matkap uç geometrisi için eğilmede doğal frekans fn_1 ve eğilmede rijitlik k_1 değerleri ölçülmüştür. Bu ölçülen fn_1 ve k_1 değerleri Birinci Mod olarak adlanmıştır. Eğilmede doğal frekans fn_2 ise deneysel sonuçlardan bulunmuştur.

Çizelge 3.7'de belirtilen matkaplardan birincisi 10 mm çapında, 260 mm boyunda olup DL matkabı olarak kodlanmıştır. Matkaplardan ikincisi ise 9 mm çapta, 210 mm uzunlukta olup DS matkabı olarak kodlanmıştır. İki matkabında malzemesi yüksek hız çeliğidir. İş parçası malzemesi ise AISI 2345 çeliğidir. İş parçasının çekme mukavemeti $\sigma_B = 604$ MPa ve sertliği $H_B = 167$ 'dir.



Şekil 3.49 Deney düzeneği ve metod a) Deney düzeneği b) Matkap deplasmanını ölçme metodu c) Ağırlık ekleme metodu (Ema vd., 1988a)

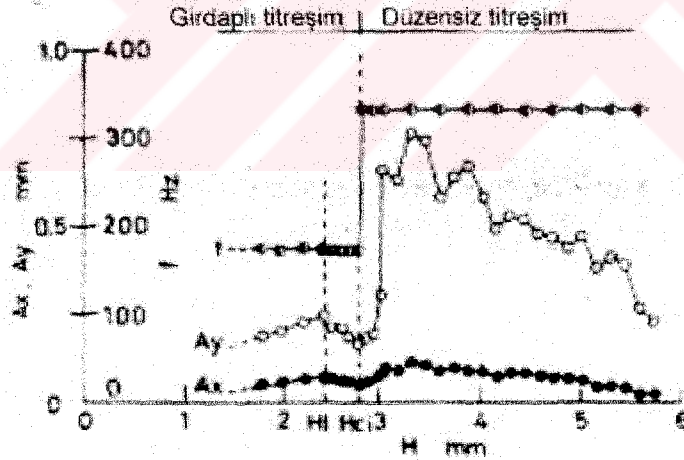
Şekil 3.50'de düzensiz titreşime örnek verilmiştir. Yatay genlik A_x , dikey genlik A_y ve düzensiz frekansı f , delik derinliği H artışına göre grafike edilmiştir. Kullanılan matkap türü DS olup, devir 1200 rpm, ilerleme oranı 0.044 mm/dev ve merkezleme çapı 2.5 mm'dir. Şekil incelendiğinde girdaplı titreşimin (whirling vibration) delme işleminin başında başladığı ve kesici ağzın iş parçasının H_1 kadar derinliğine ulaştığında titreşimde sönümlenme başladığı görülmüştür. Buna rağmen H_{ci} delme derinliğine varıldığında girdaplı titreşim artar ve düzensiz titreşim başlar. Düzensiz titreşim esnasında titreşim frekansı sabit kalır. Dikey genlik A_y yatay genlik A_x 'den çok daha geniştir. Delik derinlik değeri H_{ci} , düzensiz titreşim için başlangıç sınırı olarak tanımlanır ve bu derinlikte titreşim artar.

Çizelge 3.7 Matkap geometrileri ve titreşim karakteristikleri (Ema vd., 1988a)

Matkap türü	Çap	Tüm boy	Eğilmede natürel frekans		Eğilmede rijitlik
	D	L	fn1	fn2	k1
DL matkabı	10 mm	260 mm	100 Hz	260 Hz	9,1 N/mm
DS matkabı	9 mm	210 mm	140 Hz	335 Hz	14 N/mm

Şekil 3.50'de belirtilen düzensiz titreşim esnasındaki zaman sıklası üzerinde, 3.3 mm delme derinliği için yatay ve dikey deplasmanlar Şekil 3.51'de belirtilmiştir. Bu değerler iş parçasının bir devri için alınmıştır. İki dalga pulsu arasındaki mesafe iş parçasını yarım devri için tanımlanabilmektedir. Buradan iş parçasının bir devri için on yedi tane dalga oluştuğu belirlenir. İş parçasının bir devri için oluşan düzensiz titreşimin frekansı, düzensiz sayısı N_c olarak tanımlanır. Bu deneydeki düzensiz titreşim için $N_c = 17$ 'dir.

Delme testi değişken dönme hızlarında, ilerleme değerlerinde, merkezlemeli ve merkezlemesiz olarak oluşturulmuştur. Deney sonucu olarak düzensiz frekansı f , dikey genlik A_y , düzensiz sayısı N_c ve başlangıç sınırı H_{ci} ölçülmüştür. DS matkabı 2.5 mm, DL matkabı ise 3 mm merkezleme çapı ile test edilmiştir.



Şekil 3.50 Delme derinliği artışıyla düzensiz titreşimi f , dikey genlik A_y ve yatay genlik A_x değerlerindeki değişim (Ema vd., 1988a)

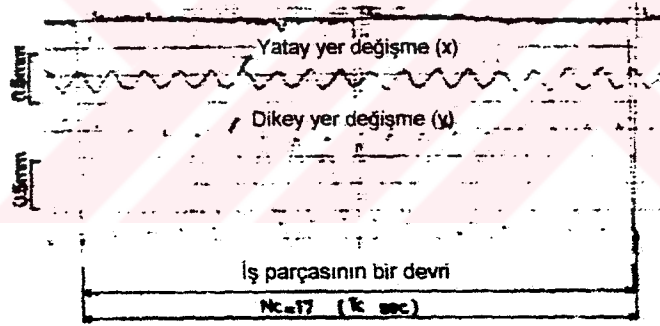
Düzensiz frekansı f her matkap için sabittir. Buna rağmen kesme hızı N_o , ilerleme değeri S ve merkezleme çapı d değişkendir (Şekil 3.52). Bundan dolayı eğilme natürel frekansı fn_2 şekilde doğrusal çizgi olarak belirtilir. Matkap deliğe girdiğinde matkaba dış aksenal kuvvetler etkir. Bu delme durumunda, başlangıç matkap yön değişimi $A_y = 0.1$ mm olur. DS matkabı için fn_2 frekans değeri 335 Hz iken DL matkabı için fn_2 değeri 260 Hz 'dir. Her iki

matkap için, düzensiz frekansı f ile eğilme natürel frekansı fn_2 'nin kesiştiği şekilden görülmektedir. Yukarıda belirtilen matkap deplasmanları İkinci Mod olarak tanımlanır.

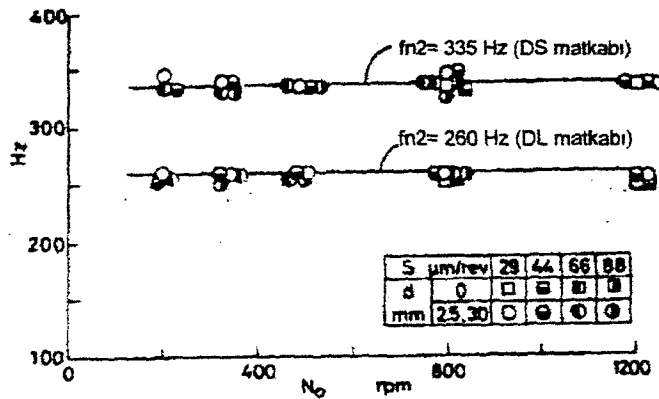
Şekil 3.50'den görüleceği gibi, dikey genlik A_y delinen delik derinliği arttıkça değişir. Şekil 3.53'de en büyük dikey genlik bir delme işlemi için çizilmiştir. Merkezleme ile delme işleminde, kesme hızı N_0 ile dikey genlik A_y artmaktadır. Merkezlemesiz delme işleminde oluşan dikey genlik, merkezleme ile yapılmış delme işleminde oluşan dikey genlikten küçüktür. 480 rpm devir ve altında düzensiz titreşim oluşmamaktadır.

Şekil 3.54'de N_c düzensiz titreşim sayısı tek sayı olup, kesme hızı N_0 arttığında azalmaktadır. Şekilde görülen eğri, düzensiz sayısını temsil etmekte olup $N_c = fn_2 / N$ eşitliği ile hesaplanmaktadır. Bu eşitlikten anlaşılacağı gibi N_c değeri iki değişkene bağlıdır, bunlar fn_2 değeri ile N değeridir.

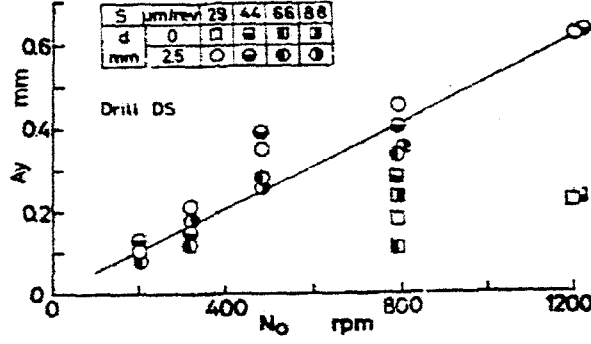
DS matkabı için, dönme hızı N_0 arttıkça başlangıç sınırı H_{ci} azalmakta ve H_l için delik derinliğine yanaşmaktadır (Şekil 3.55). Şekil 3.53 ve Şekil 3.55'den radyal ağzın titreşim önleyici fonksiyonu olabileceği sonucuna varılır.



Şekil 3.51 Belirlenen zaman aralığında matkap deplasmanları (Ema vd., 1988a)

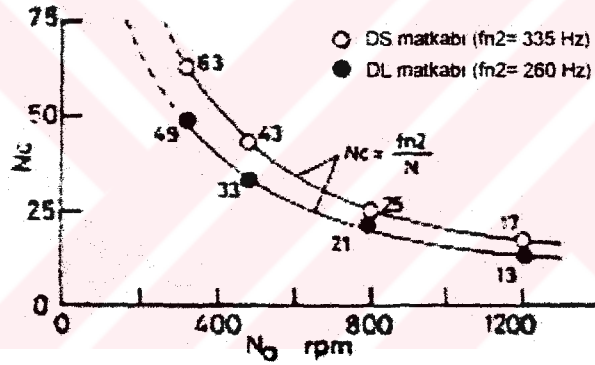


Şekil 3.52 Farklı delme parametreleri için düzensiz frekansı f (Ema vd., 1988a)

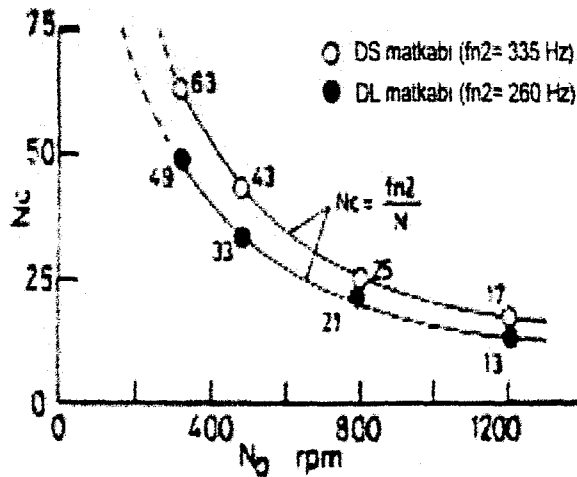


Şekil 3.53 Farklı delme parametreleri için dikey genlik Ay (Ema vd., 1988a)

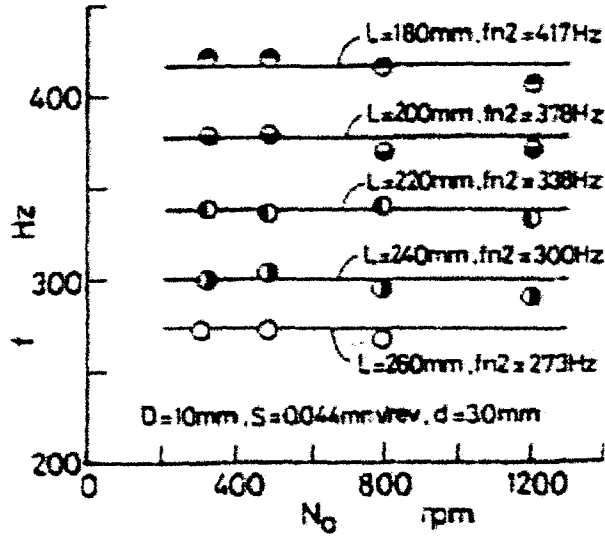
DL matkabı olarak beş ayrı boya sahip matkaplar hazırlanmıştır. Delme testleri değişik delme hızlarında gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.56 ve 3.57'de her matkap için düzensiz titreşim frekansı f ve düzensiz titreşim sayısı N_c verilmiştir. İkinci mod için düzensiz frekansı eğilme natürel frekansı fn_2 'ye eşittir (Şekil 3.56). Düzensiz frekansı yüksek devirlerde küçük azalma eğilimi göstermesine rağmen Şekil 3.57'de görüleceği gibi düzensiz titreşim sayıları tektir.



Şekil 3.54 Farklı delme parametreleri için N_c düzensiz sayısı (Ema vd., 1988a)

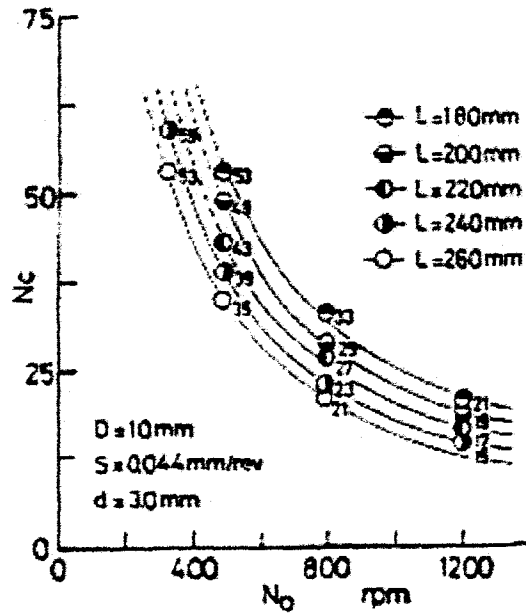


Şekil 3.55 Farklı delme parametreleri için düzensiz titreşim başlangıç sınırı H_{ci} (Ema vd., 1988a)

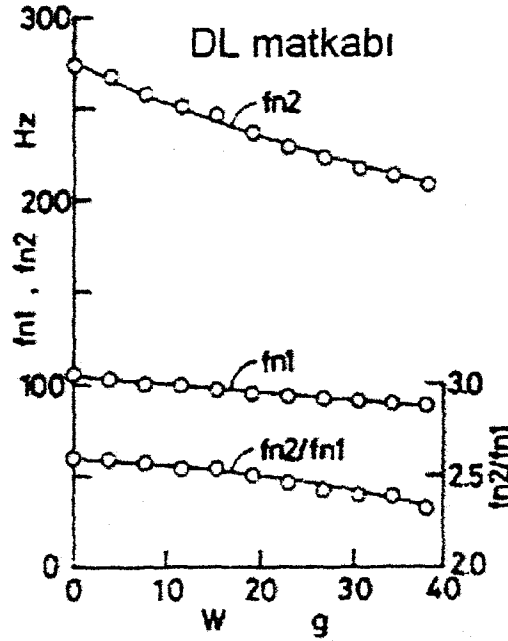


Şekil 3.56 Farklı matkap boyları için f düzensiz titreşim frekansı (Ema vd., 1988a)

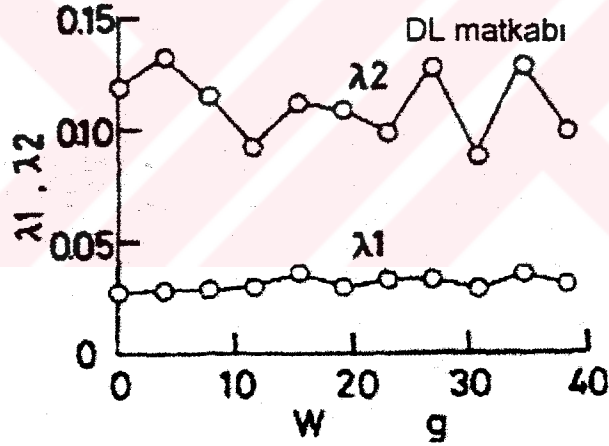
Yukarıda belirtilen deney sonuçlarından, ikinci mod için eğilme natürel frekansı ve dönme hızının düzensiz titreşime önemli etkisi olduğu belirlenmiştir. Şekil 3.58'de eğilme natürel frekansı f_{n1} ve f_{n2} ile f_{n1}/f_{n2} oranı görülmektedir. Şekil 3.59'de ise on ölçüm sonucunda logaritmik azalmalar λ_1 ve λ_2 belirtilmektedir. İki şekilde de W ek kütesinin artışıyla f_{n1} ve f_{n2} değerlerinde artış olur. Bunun yanında λ_1 ve λ_2 değerlerinde değişme olmaz. Buradan çıkarılacak sonuç, ek küle artmasına rağmen birinci mod için eğilme rijitliği çok az değişir. Düzensiz titreşim frekansı f , eğilmeye natürel frekans f_{n2} 'den düşüktür ve N/f_{n2} oranı arttıkça artmaktadır.



Şekil 3.57 Farklı matkap boyları için N_c düzensiz titreşim sayısı (Ema vd., 1988a)



Şekil 3.58 Farklı ek kütleler için eğilmeye natürel frekanslar f_{n1} ve f_{n2} (Ema vd., 1988a)



Şekil 3.59 Farklı ek kütleler için λ_1 ve λ_2 logaritmik azalmalar (Ema vd., 1988a)

Yapılan deneylerde farklı uzunlukta ve ek kütleli özel matkaplar test edilip değişken kesme parametrelerinde frekans, genlik ve düzensiz sayısı ölçülmüştür. Deneysel çalışmalardan şu sonuçlar elde edilmiştir:

Uzun matkaplarda matkap uç eğiminden dolayı iş parçası yüzeyinde dalgalanma oluşmuştur. Matkap ucu iş parçası üzerinde ilerlerken düzensiz frekansı ile eğilme natürel frekansı kesişmiştir. Düzensiz titreşimin genliğine kesme hızının etkisi büyüktür. Düzensiz sayısı her zaman tek sayıdır ve kesme hızındaki artışla azalır. Eğer N/f_{n2} oranına göre düzensiz titreşim genlikleri çizilirse, sabit olmayan düzensiz titreşim oranları bulunur.

3.2 Değişik Uç Geometrilili Matkaplar

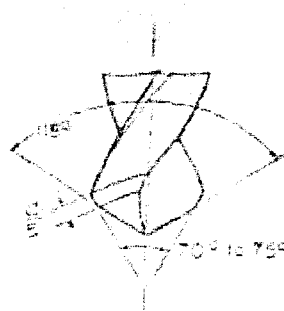
Klasik spiral matkap, talaş kaldırma işlemlerinde çok yaygın kullanım alanı bulan ve birçok makine parçasının üretimi için kesinlikle zorunlu takımlardır. Bunun yanında, birçok zorluğu ve istenmeyen durumları mevcuttur. Delme işlemi için geçen uzun zaman ve matkapta olabilecek kırımlar yüksek produktiviteyi ve delme işleminin otomasyonunu engellemektedir.

Günümüzde, delme performansını arttırmak için matkap uç geometrileri hakkında birçok yeni fikirler geliştirilmiştir. Ancak, bunların çoğu yaygın uygulama alanı bulamamıştır. Yüzyıl önce kullanılan klasik spiral matkap geometrisi günümüzde hala yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sorunun ana nedeni ise yeni geliştirilen matkap uç geometrilerinin komplike olması ve bileme işlemlerinin gelişmiş ekipman gerektirmesidir. Pratik uygulamalar için basitlik her zaman önemlidir.

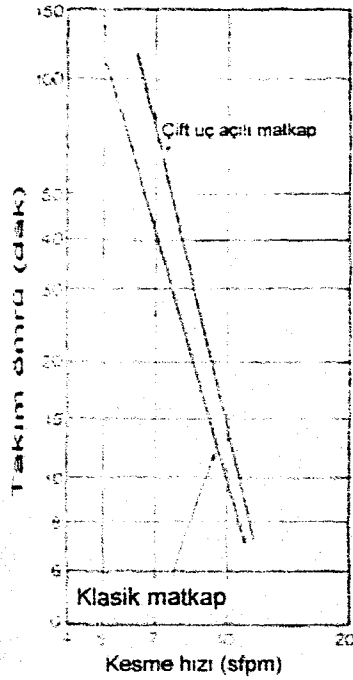
Matkabın kesme performansını, boyutsal hassasiyetini, üretim kapasitesini arttırmak için birçok method kullanılabilir. Delme işleminde kesme performansının artırılması ve yüksek produktivite sağlanması için birçok değişik uç geometrisine sahip spiral matkap geliştirilmiştir. Aşağıdaki bölümlerde birçok yüksek verimliliğe sahip matkap dizayn şekli incelenmiştir.

3.2.1 Çift Konili Matkap

Bu forma sahip matkap Şekil 3.60'da gösterilmiştir. İlk uç kısa ve $70^\circ - 75^\circ$ açığa sahiptir. Bunun yanında ikinci veya uzun olan uç standart $116^\circ - 118^\circ$ uç açısına sahiptir. Bu tip uç geniş talaş meydana getirir. Fakat kesici ağzın uç köşesinde ince talaş oluşur. Bu şekilde aşınma azalır ve matkap ömrü artar (Şekil 3.61).



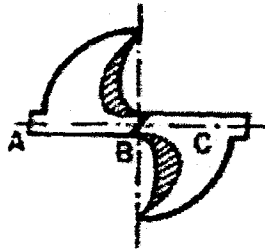
Şekil 3.60 Çift konili matkap (Bhattacharyya, 1984)



Şekil 3.61 Çift konili matkap ile klasik matkabın takım ömrü karşılaştırılması (Bhattacharyya, 1984)

3.2.2 İnce Çekirdekli Matkaplar

İnce çekirdekli matkaplar (thinned web drills) matkap ucunda bulunan çekirdeğin inceltmesiyle oluşturulur. Şekil 3.62'de BC kesitindeki çekirdeğin inceltmesiyle Eksenel kuvvet P_y (etki kuvveti) hissedilir şekilde azalabilir. AB aktif kesme ağız uzunluğundaki artışla kesme ağızındaki belli uzunluğa göre spesifik basınç azalır. Çekirdek inceltmesi aynı zamanda çekirdekteki radyal ağız boyunu ve kesme ağızı açısını azaltır. Bu sayılan faktörler P_y basınç kuvvetini azaltır ve matkap ömrünü arttırır.

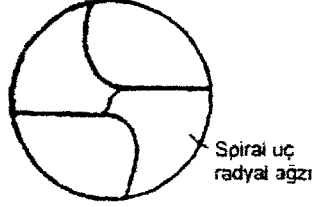


Şekil 3.62 İnce çekirdekli matkap (Bhattacharyya, 1984)

3.2.3 Ernst ve Haggerty Spiral Uçlu Matkap

Ernst ve Haggerty Şekil 3.63'de görülen üç boyutlu spiral matkap tasarlamışlardır. Yapılan deneyler sonucunda silindirik radyal ağızın çok geniş negatif talaş açısına sahip olduğu

görülmüştür. Radyal ağzın başındaki yüzeyden dolayı sınırlama olduğu ve talaşın güzel şekilde akmadığı belirlendi. Bunun sonucunda düşük hızlarda radyal ağzda ekstrüzyon etkisi oluşmuştur. Radyal ağzın spiral uç şeklinde değiştirilmesi normal talaş açısını azaltmış ve düşük hız bölgesinde kesme işlemini geliştirmiştir. Bundan başka, bu dizaynla delme prosesi daha merkezli ve daha ölçülü yapılmış. Delinen deliğin hassasiyeti daha iyi olmuştur.

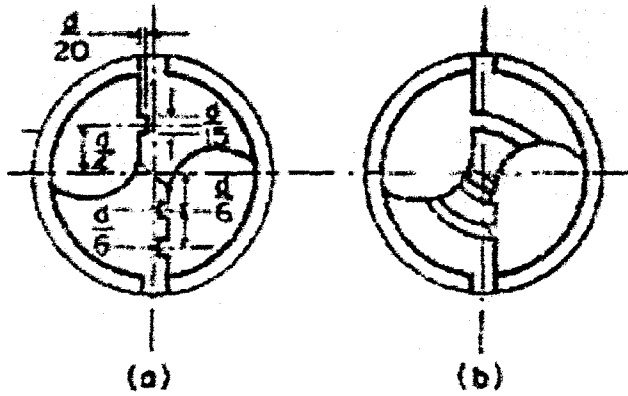


Şekil 3.63 Spiral-Uç radyal ağız (Bhattacharyya, 1984)

3.2.4 Talaş Kırıcı Matkaplar

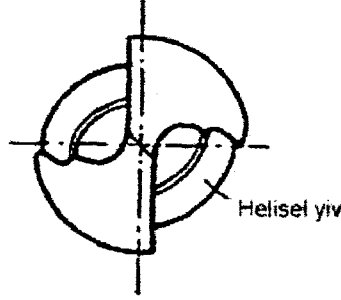
Spiral matkabın kesici kenarlarına yeterli miktarda talaş kırma yivleri dizaynı yapılmıştır. Bu tür matkaplarla yapılan delme işleminde talaş daha küçük parçalara ayrılır ve talaş kanalından kolaylıkla akar. Bu özellik delme performansını artırır. Daha düşük moment oluşturur. Deliğin yüzey hassasiyeti daha yüksek olur. Deliğin dışında daha küçük pürüzler oluşur. Takım ömrü artar. Bu üstün özellikler HSS spiral matkapla yapılan deneyler sonucunda bulunmuştur (Ogawa ve Nakayama,1985).

Geniş talaş oluşumu, geniş çaplı matkaplar için istenmeyen durumlar oluşturabilir. Kesme kenarının arasında bulunan yivler sayesinde (Şekil 3.64) talaşlar uygun şekilde kırılır. Bu yivler iki kesici ağza da rast gelmemelidir. Sonuç olarak delme işlemi belirlenen delik çapına göre yapılmalıdır.

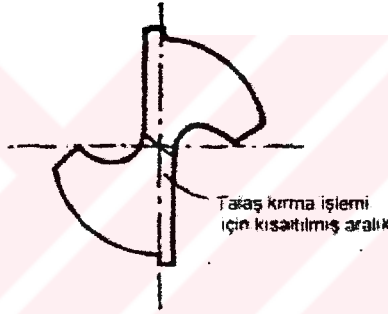


Şekil 3.64 Talaş kırma yivleri (Drozda ve Wick,1983)

Diğer bir çeşit talaş kırıcı ise, kırılğan talaş kırıcı olarak bilinen talaş kırıcıdır (Şekil 3.65). Bunu sağlayan matkabın talaş kanalı boyunca dahil edilen ökçe tarafında bulunan helisel yivdir. Bu yiv talaşı kırıp normal talaş akışını engeller. Sıkışmış talaş kıvrımına kuvvet ve gerinim uygulanarak talaş kırılır. Bir başka dizayn ise ökçe tarafı dış radyustan içteki uca doğru kanal üzerinde ötelenmesidir. Bu tipte talaş kırıcı dizayn Şekil 3.66'da görülmektedir.



Şekil 3.65 Kırılğan talaş için dizayn edilmiş talaş kırıcı matkap (Bhattacharyya, 1984)



Şekil 3.66 Genel endüstriyel uygulamalar için kullanılan talaş kırıcı matkap (Bhattacharyya, 1984)

3.2.4.1 Talaş Kırma Yivlerinin Talaş Kaldırmaya Etkisi

Klasik matkapla yapılan delme işleminde karşılaşılan bir önemli sorun da talaş sıkışmasıdır (chip clogging). Delme esnasında oluşan talaşın dar talaş kanalından dışarı atılması gereklidir. Fakat, yüksek ilerleme oranlarında ve derin deliklerin delinmesinde, talaş akışı sürtünmeyle bozulur. Bu talaş sıkışması yüksek delme momenti, yüksek kesme sıcaklığı, düşük delik kalitesi, hızlı aşınma ve matkabın kırılması gibi birçok problem oluşturur. Bundan dolayı delme işleminde performans artışı talaş sıkışmasını engellemekle sağlanabilir.

Araştırmacılar (Ogawa ve Nakayama, 1985), talaş kırma yivlerini kesici ağızlarına açmış ve bu yivler talaş sıkışmasını önleyici yönde olumlu etki yapmıştır. Talaş kırma yivleriyle talaş küçük boyutlara bölünür, bu sayede talaş akışı kolay olur. Araştırmalar ve deneyler sonucunda talaş kırma yivlerinin şu olumlu etkileri yaptığı bulunmuştur. Bunlar:

- Düşük delme momenti,
- Delik yüzeyindeki kazınlarda azalma,
- Delik dışındaki pürüzlerde azalma ve
- Uzun takım ömrüdür.

Talaş kırma yivleri daha çok sert metal malzemeli ve geniş çaplı(200 mm ve üstü) matkaplar için kullanılmaktadır. Fakat bu araştırmada talaş kırma yivlerinin klasik HSS malzemeli küçük çaplı (çoğunlukla 6mm) matkaplara olan etkisi incelenmiştir.

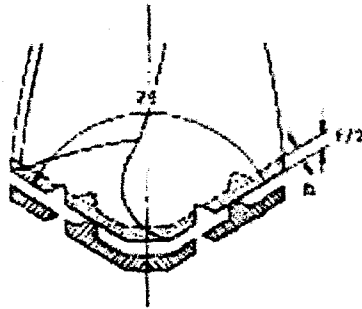
Talaş kırma yivlerinin açılması için şu geometrik koşullar gereklidir:

- Şekil 3.67'de görülen yiv derinliği h_n , deformasyona uğramamış talaş kalınlığı h 'den geniş olmalı ($h=f*\sin \theta/2$). Buna göre $h_n > h$ olur.
- Yiv açma esnasında kesici ağzın yivleri üst üste gelmemeli.

%0.45 C çelik için yapılan deneyler sonucunda $h_n > 0.8h$ bulunmuştur. Buradan $h_n > h$ eşitliğinin emniyetli oluşumu sağladığı belirlenir.

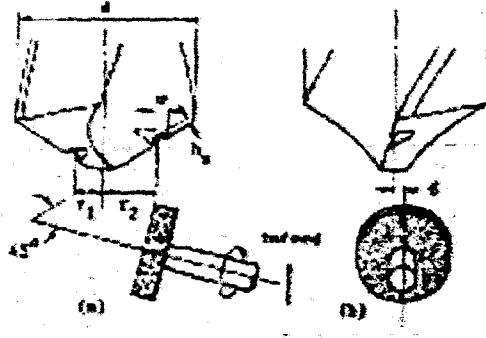
Yivlerin oluşturulması:

Ogawa ve Nakayama tarafından yapılan deneylerde yivlerin oyulması küçük elmas uçlu bileme taşlarıyla yapılmıştır. Bu yivlerin açılması ECM ve EDM yöntemleriyle de yapılabilir. Bileme yöntemi oyuklarda keskin kenar elde edilmesi için en iyi yoldur. Şekil 3.68'de görüldüğü gibi yiv oyulması elmas bileme taşının kösesiyle yapılmaktadır. Bileme taşı 5 mm çap, 1.3 mm kalınlığa sahip olup radyal pozisyonda tutularak oyuk derinliği oluşana kadar yavaşça ilerletilmiştir. Şekil 3.68b'de görülen dengeleme değeri δ 7°'lik boşluk açısı oluşturabilmesi için 6 mm alınmıştır. Bu işlem için üç boyutlu ilerleme sağlayan cihazlar kullanılabilir.

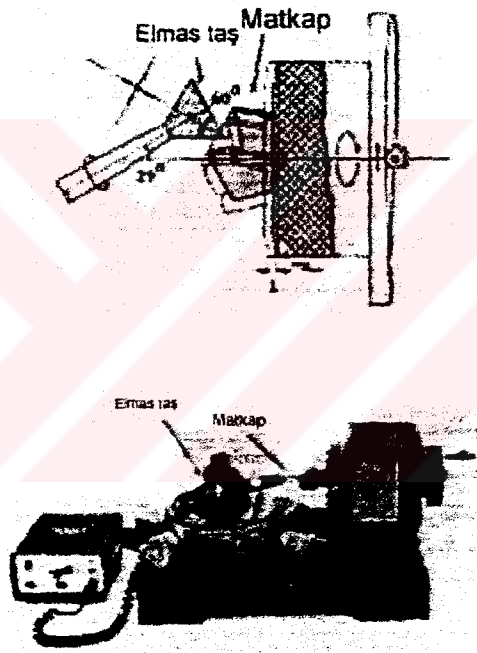


Şekil 3.67 Talaş kırma yivli uç geometrisi (Ogawa ve Nakayama, 1985)

Yivlerin sağladığı yararlar belirtildikten sonra, Şekil 3.69'da yiv açılması için kullanılan düzenek gösterilmiştir. Burada matkapla birlikte dönen ve aksel dönme ile belirtilen boşluk açısı kullanılır.



Şekil 3.68 Bileme yöntemiyle talaş kırma yivlerinin açılması (Ogawa ve Nakayama, 1985)



Şekil 3.69 Yivlerin açılması için düzenek (Ogawa ve Nakayama, 1985)

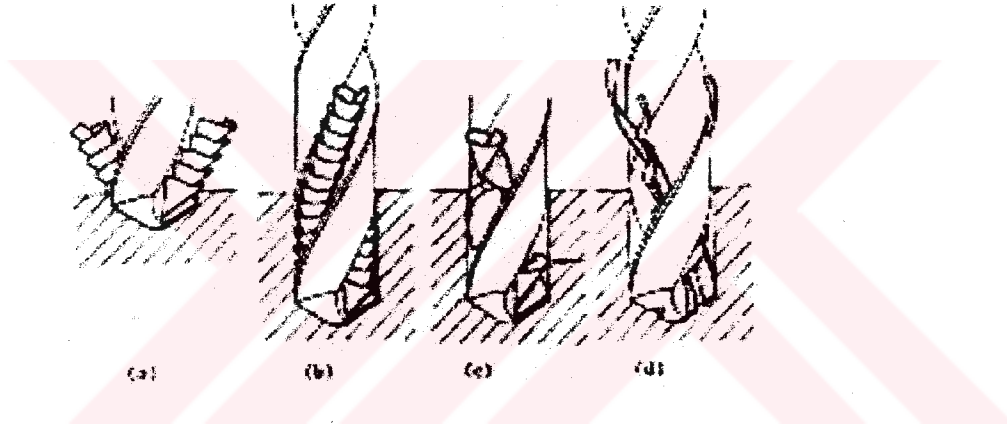
Tutarlı sonuçların alınabilmesi için yeni satın alınmış matkap kullanılmıştır. Deneyden önce matkap dikkatlice yerleştirilmiştir.

Talaş kırma yivleri talaş yüzeyinde veya talaş kanalı içinde açılmamıştır. Bu yivler serbest yüzeyde veya uçta açılmıştır. Çünkü ancak bu sayede gerekli h_n derinliği sağlanmış ve hiç bir engel olmadan oluklar oluşturulmuştur. Matkabın bilenmesiyle serbest yüzeydeki talaş kırma yivleri hareket eder. Fakat Şekil 3.69'daki gibi basit ekipman kullanılarak bu problem giderilir.

Talaş formu ve delme kuvvetleri:

Klasik spiral matkapla yapılan delme işleminde başlangıçta helisel talaş formu oluşur. Bu oluşan talaş formu Şekil 3.70a'da gösterilmiştir. Eğer ilerleme hızı düşük ve yumuşak malzeme delinirse Şekil 3.70b'da gösterilen talaş kanalı boyunca kolaylıkla deforme olan ince ve elastik talaş oluşur. Bunun yanında pratik delme işlemlerinde Şekil 3.70c'da görüldüğü gibi yüksek verim alabilmek için yüksek hızlarda delme işlemi yapılır. Plastik deformasyonlarla periyodik olarak deforme olan bu tip talaş sakıncalıdır. Çünkü;

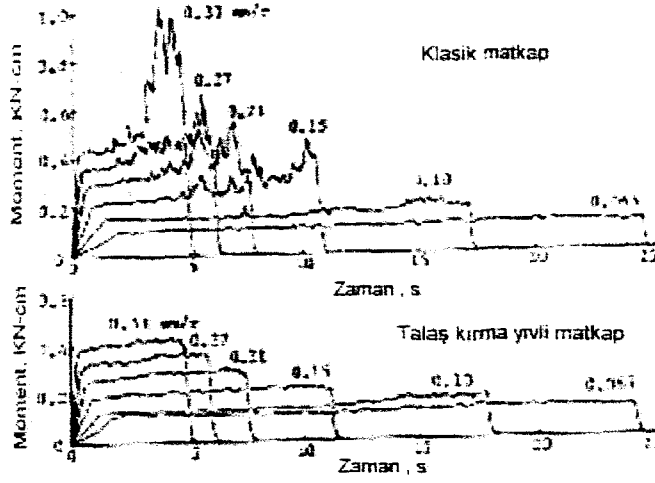
- Kesme kuvvetleri ve değişim aralıkları artar
- Kesme sıcaklığı artar
- Delik dışındaki çapak büyür
- Talaş sıkışması kolay olur
- Takım ömrü kısalmır.



Şekil 3.70 Delme işleminde oluşan talaş formları (Ogawa ve Nakayama, 1985)

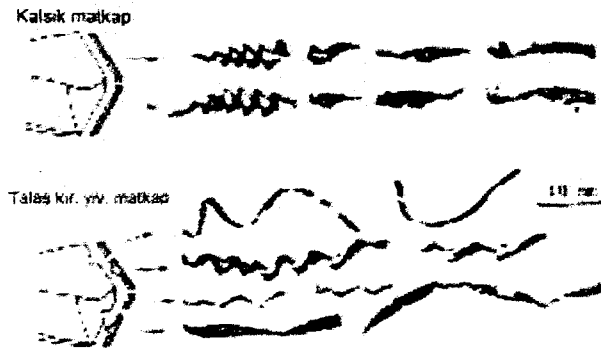
Yukarıda belirtilen sakıncalar Şekil 3.70d'de görülen talaş kırma yivleri kullanıldığında önlenmiş olur.

Deneyde 6 mm çapında matkap kullanılmıştır. İş parçası malzemesi olarak % 0.45 C içeren çelik kullanıldı. Kullanılan matkaplar ise klasik HSS spiral matkap ile talaş kırma yivlerine sahip HSS spiral matkaplardır. İş parçası matkap tezgahı üzerindeki dinamometrenin mengenesine sıkıştırılmıştır. Şekil 3.71'de görülen delme momentleri altı değişik ilerleme değerinde ölçülmüştür. Şeklin üst tarafına bakıldığında görüleceği gibi talaş kırma yivi olmayan matkapla delme işlemlerinde 6 mm delme derinliğine kadar moment değeri artmakta daha sonra ise dalgalanmaktadır. Elde edilen yüksek moment değeri pek de yüksek olmayan 0.10 mm/dev ilerleme değerinde oluşmuştur. Talaş kırma yivlerine sahip matkapta ise çok yüksek sayılabilecek 0.33 mm/dev ilerleme değeri hariç moment değeri stabile yakındır.



Şekil 3.71 Farklı ilerlemede oluşan moment değerleri (Ogawa ve Nakayama, 1985)

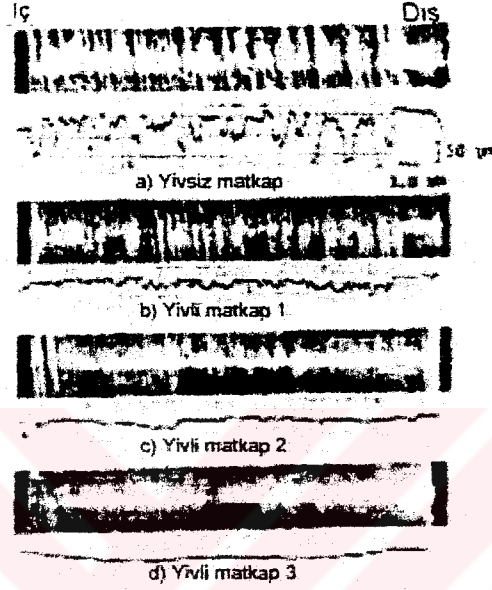
Yapılan deneyde ortaya çıkan talaş biçimleri oluşan moment değerlerini yansıtmaktadır. Örnek olarak; Şekil 3.72'de 0.27 mm/dev ilerleme değerinde oluşan talaşların biçimleri görülmektedir. Şekilde, klasik talaş kırma yivsiz spiral matkabın oluşturduğu talaşların ilk baştaki periyotta stabil helisel formda olduğu, daha sonra değişken kalınlık ve uzunluğa sahip olduğu görülmektedir. Talaş kırma yivlerine sahip matkabın oluşturduğu talaş, klasik matkabın oluşturduğu talaşa göre daha uzun ve nispeten daha stabildir. Talaş kırma yivli matkapla çeliğin delinmesinde oluşan talaş kırılması hali, alüminyum ve bakır gibi yumuşak malzemelerin delinmesinde oluşan dar talaşın sebebi değildir. Yumuşak malzemelerin delinmesinde dar talaşlar oluşur, oluşan talaş zor kırılır ve sonuçta sorun meydana getirir. Bu sorunun çözümü ilerleme değerini düşürmek ve kontrol altında tutmakla olur.



Şekil 3.72 Talaş formundaki değişiklikler (Ogawa ve Nakayama, 1985)

Spiral matkap geometrisinin hareketinden dolayı delinen deliğin temel olarak pürüzsüz olması gerekir. Birçok nedenden dolayı yüzey pürüzsüz olmaz. Matkabın kesici kenar ve köşesinde oluşan aşınmadan dolayı yüzeyin pürüzlü olduğu bilinmektedir.

Yüzey pürüzlülüğünün bir diğer nedeni ise sert talaşlar tarafından oluşturulan kazıntılardır. Bu kazıntı deliğin üst kısmına etki eder, derin kısmında etkili olmaz. Bunun nedeni Şekil 70c'de görülmektedir. Matkap ucundan matkap çapının yarısı kadar yukarıda, kesici kenarın delik yüzeyiyle teması başlar ve talaş oluşur. Kazıntı, kesici kenarlarda talaş kırma yivleri oluşturularak engellenebilir. Oluşan dar talaşlar kolaylıkla yönünü değiştirebilir ve kazıntı yapmadan delik yüzeyinden dışarı akar.



Şekil 3.73 Delme işlemlerinde oluşan yüzey kalitesi (Ogawa ve Nakayama, 1985)

Şekil 3.73'de talaş kırma yivli matkapla alüminyum malzemenin delinmesinde oluşan yüzey kalitesi görülmektedir. Çizelge 3.8'da belirtilen talaş kırma yivleri farklı yerde olan üç matkabin birlikte ve klasik spiral matkapla oluşturulan testlerin sonuçları görülmektedir. En alttaki şekilde, şeklin üstünde oluşan kazıntıların azaldığı görülmektedir. Üç çeşit talaş kırma yivli matkap arasında en iyi sonucu üçüncü matkap (nicked drill) verilmiştir. Bu sonuçtan da anlaşılacağı gibi talaş kırma yivleri matkabin dışında açılmalıdır.

Çizelge 3.8 Üç matkap için kullanılan yivler

	r_1 mm	r_2 mm
1. Matkap	0.80	1.50
2. Matkap	1.20	2.00
3. Matkap	1.70	2.50

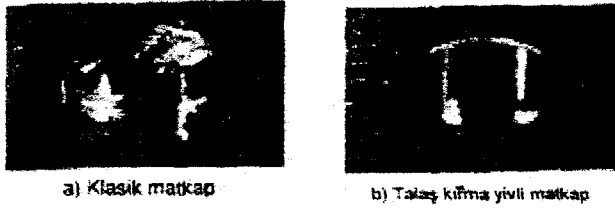
genişlik, $w = 0,40 \sim 0,45$ mm

derinlik, $h_0 = 0,19 \sim 0,21$ mm

Yine bu şekilden görüleceği gibi, deliğin dış tarafına yakın yerde, her delik neredeyse pürüzsüz yüzeye sahiptir. Doğal olarak, yukarıda belirtilen talaş kırma yivlin etkisi delik çapının yarısı kadar olan delik derinliğinde görünür.

Pürüzün önlenmesi:

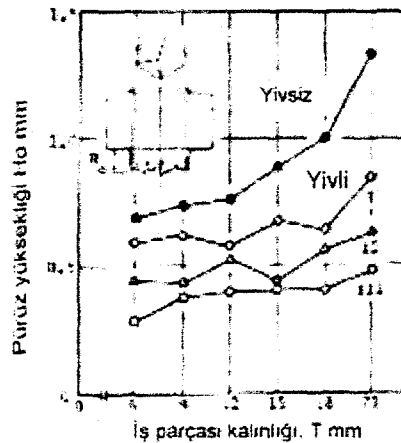
Özellikle yumuşak malzemelerin derin delme işlemlerinde, delik dışında geniş pürüzler oluşur. Sivri uçlu yeni matkap kullanılsa bile pürüz oluşur ve pürüzün giderilmesi ek maliyet gerektirir. Bu da talaş sıkışması meydana getirir ve sonuçta eksenel kuvvet ve moment artar. Talaş kırma yivli matkap kullanıldığında Şekil 3.74'de görüldüğü gibi pürüz boyu azalır.



Şekil 3.74 Delme işleminde oluşan pürüz yükseklikleri (Ogawa ve Nakayama, 1985)

Şekil 3.75'de talaş kırma yivleri kullanılarak pürüz boyundaki azalma görülmektedir. Bu deneyde değişen kalınlıklarda alüminyum alaşımli bloklar kullanılmıştır. Çizelge 3.8'de belirtilen matkaplar kullanılmıştır. Bu şekil incelendiğinde şu sonuçlar elde edilir: delik derinleştikçe pürüz boyunda azalma olur ve kesici kenarın dışında açılan talaş kırma yivleri pürüz boyunu indirmekte daha etkilidir.

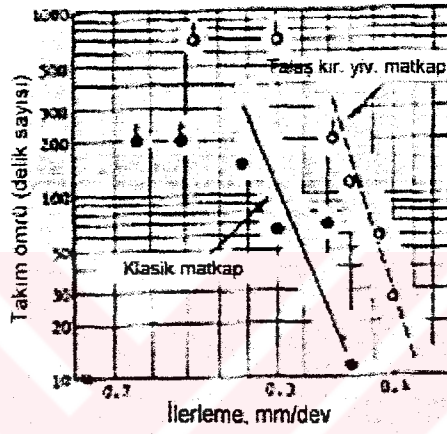
Yukarıda belirtilen deneylerle, yüksek ilerleme oranlarındaki delme işlemlerinde, matkaptaki talaş kırma yivleri yüksek performanslarını kanıtlamıştır. En önemli ve son test edilecek şey matkaptaki talaş kırma yivlerinin takım ömrüne etkisidir.



Şekil 3.75 Talaş kırma yivi ve iş parçası kalınlığına göre pürüzlülük kalınlığındaki değişim (Ogawa ve Nakayama, 1985)

Klasik talaş kırma yivi olmayan matkapta, bazı derin deliklerin delinmesinde moment değeri artar (Şekil 3.71), bu da kesme sıcaklığını arttırır ve HSS spiral matkabın ömrü kısalmır. Matkaptaki talaş kırma yivlerinin bu problemi çözmesi beklenir.

Takım ömrünü karşılaştırmak için iki çeşit matkap kullanılmıştır. Bunlardan biri klasik spiral matkap , diğeri ise aynı çapta talaş kırma yivli HSS spiral matkaptır. Deneyde kullanılan malzeme % 0.45 C çeliktir. Matkap aşınıncaya kadar 18 mm derinliğinde delikler delinmiştir. Devir sürekli olarak 700 rpm olarak uygulanmıştır. Bu ölçümler değişen ilerleme değerlerinde yapılmış ve Şekil 3.76'de gösterilmiştir.



Şekil 3.76 Klasik matkap ve talaş kırma yivli matkabın takım ömürleri (Ogawa ve Nakayama, 1985)

Şekil 3.76'da açık renkli daireler talaş kırma yivli matkabın delik delme sayısını belirtmekte, koyu renkli daireler ise klasik spiral matkabın delik delme sayısını belirtmektedir. Bu grafikten görüleceği gibi aynı ilerleme değerlerinde talaş kırma yivli matkabın ömrü büyük oranda daha fazladır. Örnek olarak: 0.24 mm/dev için klasik spiral matkabın takım ömrü 200 delik iken, bu ömür değeri talaş kırma yivli matkapta ise 700 deliktir. Yine grafikten anlaşılacağı gibi aynı ömür değeri için talaş kırma yivli matkabın ilerleme oranı klasik spiral matkabın ilerleme oranından yaklaşık % 30 daha yüksektir. Deneylerden önce talaş kırma yivi köşelerinin büyük zararlar verebileceğinden korkuluyordu. Fakat, 0.30 mm/dev ilerleme değerinde 700 delik delinmesi sonrası talaş kırma yivli matkabın ucunda oluşan hasarın, klasik spiral matkapta oluşan hasardan daha az olduğu görülmüştür. Aynı hasar klasik spiral matkapta 635 delik delinmesi sonrası oluşmuştur.

Sonuç olarak talaş kırma yivli matkap düşük delme momenti, daha iyi yüzey kalitesi, delik dışında daha az pürüzlülük ve daha uzun takım ömrü sağlar.

Tipik MFD'nin geometrik parametreleri aşağıdaki gibi açıklanabilir:

- Radyal ağız boyu = b , uç yüksekliği = h ve iç kesici uç açısı $2\rho'$, radyal ağız boyu b sadece $0,03D$ 'dir ve basınç kuvvetini azaltmak için kullanılır. Büyük $2\rho'$ açısı aynı zamanda azalan radyal ağız boyu ve ısı transferiyle takımı yüksek sıcaklıktan sakındırmaktadır.
- Kesici ağız boyu ℓ ve kavis kenar radyüsü R : Klasik matkapta talaş açısı dıştan matkap merkezine doğru azalır. Matkap ekseninden $0,2D$ noktasında talaş açısı sıfıra yakındır. Bu yüzden düz kesme ağız boyu ℓ $0,2 - 0,3 D$ arasında dizayn edilir. Kavisli kesme ağız kenarı $R=0,1D$ olup talaş açısını azaltmaktadır. Kavisli kesme ağız talaş bölünmesine ve matkabın merkezlemesine yardım eder.
- İç kesme ağız eğimi Ψ , talaş açısı Y_τ , serbest açısı α , α_R ile gösterilir. Eğim açısı $20^\circ - 30^\circ$ arasında, iç kesici ağız boyuna göre değişir. CD , radyal ağız boyu ve iç kesme kenarının talaş açısına göre değişir. Dış serbest açısı α klasik matkaba göre daha büyüktür. Bunun nedeni ilerleme değerinin MFD'de daha büyük olmasıdır. α açısı $10^\circ - 15^\circ$ 'dir. Kavisli kenar serbest açısı α_R ise $2^\circ - 3^\circ$ 'den daha büyüktür.
- Uç açısı $2\rho'$: Uç açısı talaş açısına, kesme kuvvetine, talaş akışına ve ısı transferine bağlıdır. Uç açısı arttıkça talaş açısı baskı kuvveti artar. Aynı zamanda moment azalırken talaş kırılır ve daha kolay transfer edilir. Fakat dış bölgedeki sıcaklık artar. MFD'nin uç açısı klasik matkabın uç açısı değeri olan 118° 'ye yakın bir değer olan 125° 'dir.
- MFD'nin önemli özellikleri: Eğer matkap çapı 15 mm 'den büyükse, bir veya iki yiv talaş bölmesi birinci yüzeye yerleştirilir. Bu sayede talaş akışı kolay olur. Yivin toplam genişliği $\ell_2 = \frac{1}{2} \frac{\ell}{Z}$ 'dir.

3.2.5.1 Çok Yüzeysel Matkapların Fonksiyonel Dizaynı

Bu bölümde önce tipik çok yüzeysel matkabın özellikleri özetlenmiştir. Daha sonra özelliklerine ve güç azalmasını içeren analizler için çok yüzeysel matkabın dizaynları, matkap ömrü, ısı transferi, talaş transferi, delik kalitesi analiz edilmiştir. Birkaç tipik çok yüzeysel matkap kısaca belirtilmiş ve alüminyum alaşımları için dizayn edilmiş çok yüzeysel matkabın daha detaylı analizi yapılmıştır.

MFD'nin dizaynı, kesme kuvvetini azaltmak, matkabın merkezini kuvvetlendirmek, ısı transferini hızlandırmak, merkez eğilimini geliştirmek, talaş transferine kolaylık sağlamak için yapılır.

Kesme Kuvveti:

Klasik spiral matkapta merkeze doğru talaş açısı azalır ve büyük negatif değerlere yaklaşır. Bunun için dış yüzeylerdeki kenar pürüzsüz talaş üretirken içteki kenar bunu yapamaz. Radyal ağız altındaki materyal deformasyona neden olur. Bu nedenle radyal ağız büyük baskı kuvveti meydana getirir.

MFD kesme kuvvetini azaltmak için şu şekilde dizayn edilir:

- Kesme ağzının ortasındaki kavisli kesme ağzı, talaş açısını artırır.
- Radyal ağzın boyu b azaltılarak, aksenal kuvvet azaltılır.
- Büyük uç açısı $120^\circ - 125^\circ$ olduğundan, dıştaki talaş açısını artırır.

Matkap Merkezinin Kuvveti:

MFD'nin radyal ağzındaki kuvvetini azaltmak için radyal ağız boyu b , $0,02D$ 'de tutulur. $2\rho'$ açısı 135° 'ye genişletilir. Örnek olarak, üst yükseklik h $0,02 - 0,03 D$ değerleri arasında sınırlandırılır.

Isı Transferi:

Dökme demir gibi bazı malzemelerin iletkenliği düşüktür. Örnek olarak dış kesme ağzında aşınmayı ve ısı birikintisini azaltmak için, çift uç açısı elde etmek için dış uç açısı $Z=70^\circ$ alınır. Bir de sürtünme kuvvetini ve ısı jenerasyonunu azaltmak için MFD'nin temizleme açısı klasik matkaplara göre seçilir.

Talaş Akışı:

Çok yüzeyli matkaplar dizayn edilirken talaş formu ve talaş akışı her zaman göz önünde tutulur. Bunun sonucunda bütün MFD dizaynlarında kavisli kesme ağzı her zaman talaş kırmak için kullanılır.

Ömür uzunluğu ve dayanıklılık iş parçası için önem taşıdığı zaman uç açısı talaş akışını kolaylaştırmak için daha büyük seçilir. Örnek olarak, alüminyum için MFD uç açısı $140^\circ - 170^\circ$, paslanmaz çelik için $135^\circ - 150^\circ$, titanyum alaşımları için $125^\circ - 140^\circ$ 'dir. Bundan başka, geniş matkaplarda talaş kırmak için dış yan yüze bir veya iki kanal açılır.

Merkezleme Eğilimi:

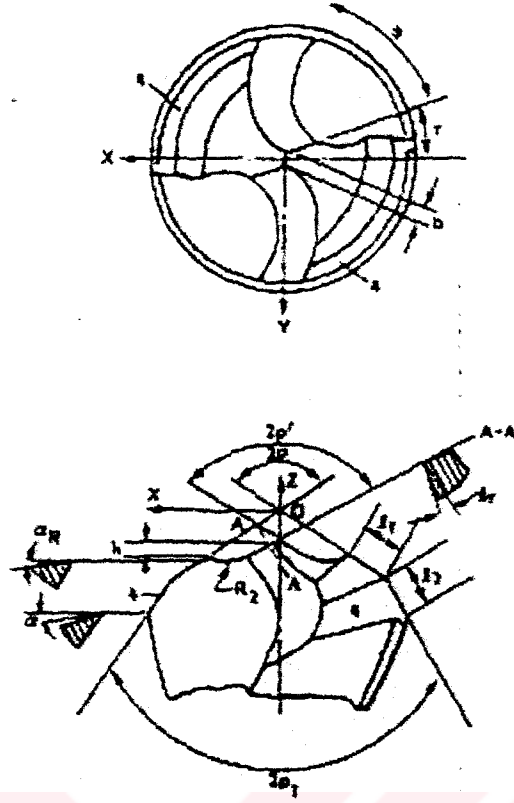
Radyal ağız b'deki azalma matkap merkezi için önemli rol oynar. Alüminyum ve bakırın sertlikleri az ve uzama miktarları fazladır, merkez eğilimini sağlamak için MFD'nin uç yüksekliği h 0,05 – 0,06D'ye çıkartılır. $2\rho'$ açısı 110°'ye indirilir. Paslanmaz çelik ve titanyum alaşımları için uç yüksekliği h 0,06 – 0,08D, radyal ağız b 0,04 – 0,05D'ye yükseltilir. Bu sayede matkabin merkezi de kuvvetlenir. Ayrıca kavisli kesici kenar, küçük rayüs sayesinde merkezlemeyi artırır.

3.2.5.2 Çeşitli Malzemeler İçin Geliştirilmiş Özel Çok Yüzeyle Matkaplar

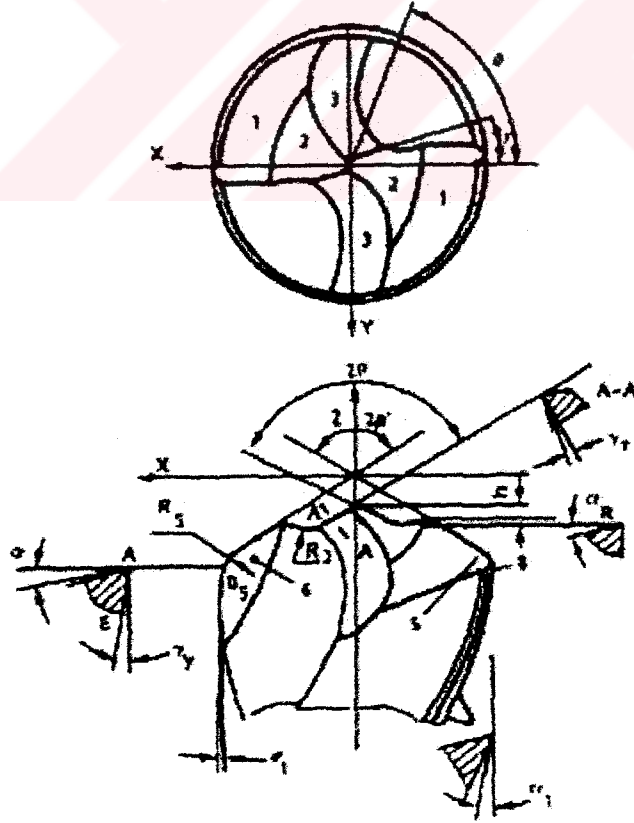
Tipik Çok yüzeyle matkap MFD değişik çalışma koşullarında optimum performans sağlayamaz. Bu yüzden özel ihtiyaçlara göre değişiklik yapılmalıdır. Örnek vermek gerekirse:

- Dökme demirin delinmesi için çalışma esnasında çevre sıcaklığını düşürecek ikinci konik yüzey oluşturulur, küçük $2\rho'$ (70°) açısı seçilir. Şekil 3.78'de dökme demirin delinmesi için geliştirilmiş çift uç açılı çok yüzeyle matkap görülmektedir. Dördüncü yüzeyde dizayn edilen ikinci koniğin uç açısı yaklaşık 70° 'dir. Bu durum kesici ağzın dış kenarındaki ısı transferini arttırmaktadır. Matkabin merkezi tipik MFD ile aynı geometriye sahip olup parametreleri değişiktir. Dökme demir için geliştirilmiş çok yüzeyle matkabin radyal ağız boyu tipik çok yüzeyle matkabin radyal ağzından daha kısadır. Dökme demir için geliştirilen MFD'nin ucu tipik MFD'nin ucundan daha kısadır.

- Şekil 3.79'da görülen plesiglas malzeme için geliştirilmiş MFD'de ayırt edici iki özellik:
 - Düzgün dış köşeler ve yeni eğri kesici ağız şekli delik yüzey kalitesini artırır.
 - Altıncı yüzey, dış kesici kenar talaş açısını artırır. Sekizinci yüzey matkap zırhı ile matkap arasındaki sürtünmeyi azaltır. Yüzeyler dış kesici kenardaki talaş açısını arttırmak ve kesme kuvvetlerini azaltmak için dizayn edilmiştir. θ açısı matkap ile delik yüzeyi arasındaki sürtünmeyi azaltmaktadır. Bu ölçüler son derece önemlidir, çünkü plesiglas çok düşük ısı transferine ve yüksek sıcaklığa eğilimli malzemedir. 5. yüzeydeki gibi kesici kenarın ucu oval silindir gibi yuvarlatılmıştır. Eğri kesici ağza sahiptir. Bu özellikler deliğin yüzey kalitesini arttırmaktadır
- İnce parçalar için (Şekil 3.80) merkezdeki keskin uç, iş parçası üzerinde iyi merkezleme verir ve iki keskin köşe deliği oluşturmak için tabakayı keser. İnce malzemeler klasik matkaplarla delindiğinde, matkabin merkezi iş parçasına etki ettiğinde titreşimler oluşur. Çok yüzeyle matkap ise ince malzemeler için pürüzsüz yüzey sağlar.

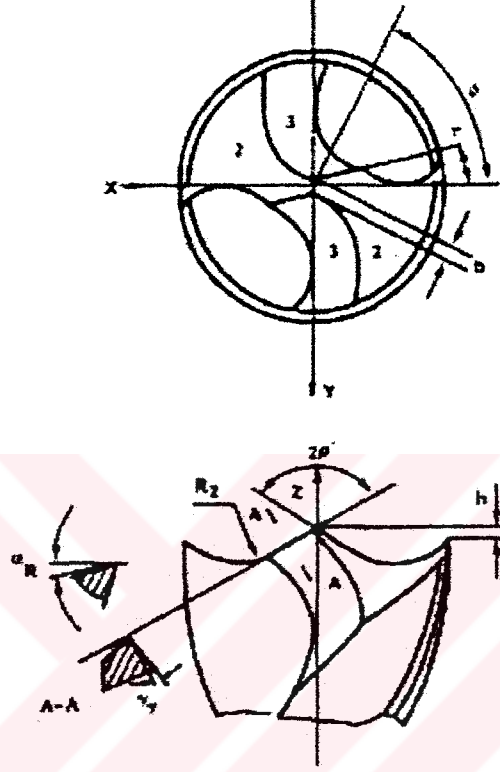


Şekil 3.78 Dökme demir için çok yüzeyli matkap (Wu, 1985)



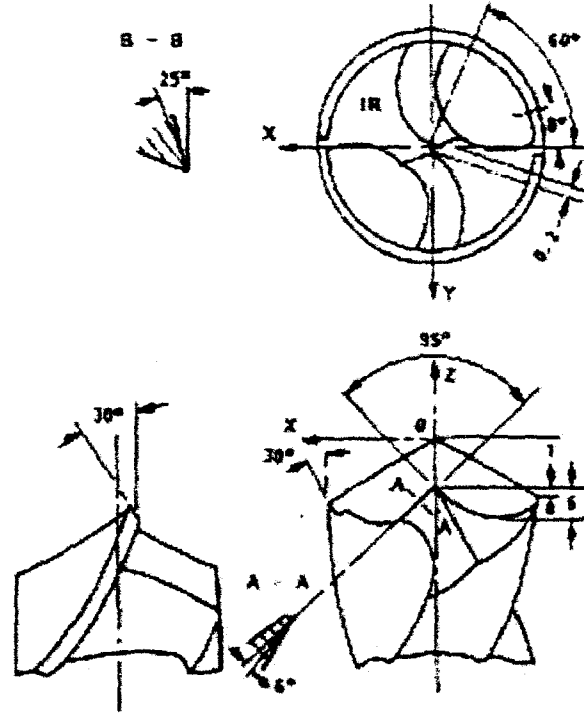
Şekil 3.79 Plesiglas için çok yüzeyli matkap (Wu, 1985)

- Kauçuk için (Şekil 3.81) çevrede iki keskin kesici kenar oluşturulmuştur. Tipik çok yüzeyli matkaptaki gibi dış kesici kenara sahip değildir. Bu çeşit matkabin üç sivri ucu vardır. Bu uçlardan biri merkezde, diğer ikisi ise kenarlardadır. Merkezdeki uç iyi merkezleme sağlamaktadır. Diğer matkap ağzındaki iki sivri uç bıçak gibi etkir. Bu özellik de kauçuk gibi yumuşak malzemelerde yüksek kalite sağlar.

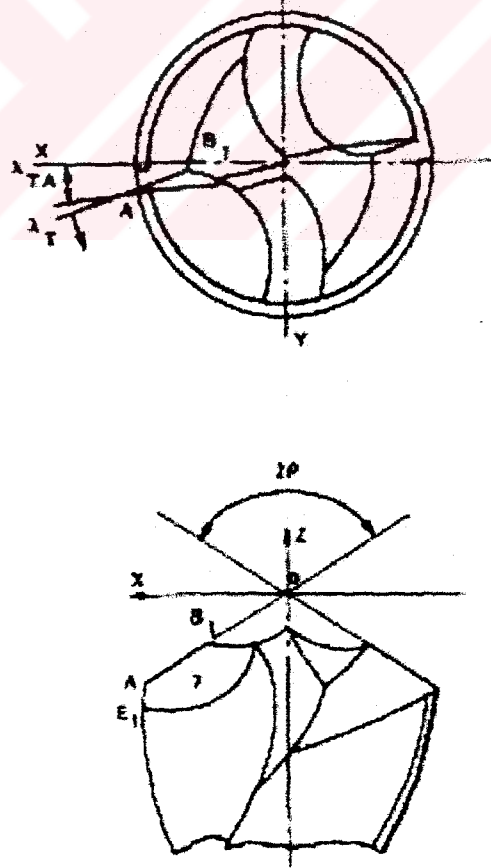


Şekil 3.80 İnce malzemeler için çok yüzeyli matkap MFD (Wu, 1984)

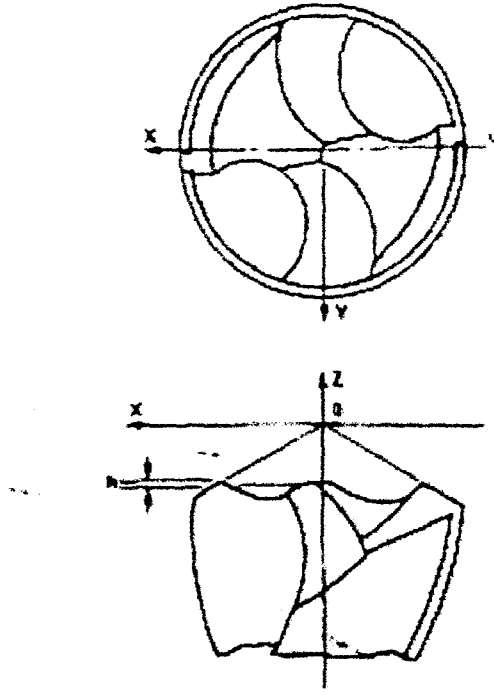
- Son delme işlemi için geliştirilen matkabin kesme ağzının eğim açısı pozitifdir. Bu nedenle talaş, delinen deliğe değmeyebilir ve daha kaliteli yüzey elde edilir (Şekil 3.82).
- Delik genişletmek için geliştirilen matkabin dış kesme kenarı yeteri kadar kısa olmalıdır. Merkezleme için iki dış kesme ucu, iş parçasının yüzeyine değer. Merkez ağzı, iki dış kesme ağzından daha düşüktür, bu nedenle merkezlemeye etkisi yoktur (Şekil 3.83). İki uç arasındaki uzaklık iş parçasındaki iç deliğin çapından geniş ve iç deliğin merkez çizgisi ile matkap eksenini arasındaki uzaklığın iki katına eşittir. Bu modifikasyonda iş parçasının ilk deliği uygunsuz olsa bile, bu matkap sayesinde delikte bozukluk oluşmaz.
- Eğik yüzeyler için geliştirilen matkapta iş parçası, matkap eksenine dik değildir. Uç açısı 180° dir, bu yüzden matkap ekseninin sürüklenme eğilimi yoktur (Şekil 3.84).



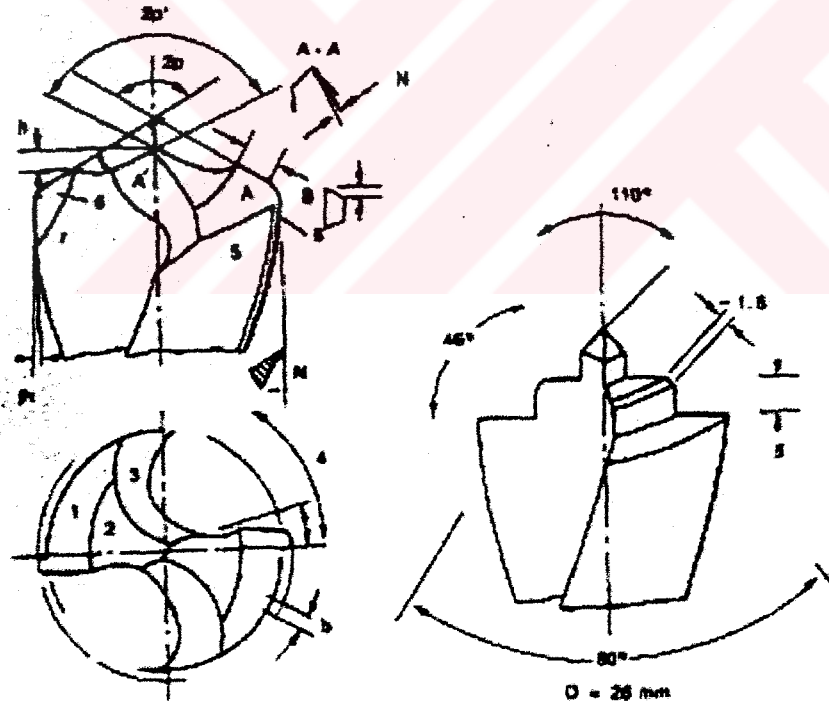
Şekil 3.81 Kauçuk için çok yüzeyli matkap (Wu, 1985)



Şekil 3.82 Son delme işlemi için çok yüzeyli matkap (Wu, 1985)



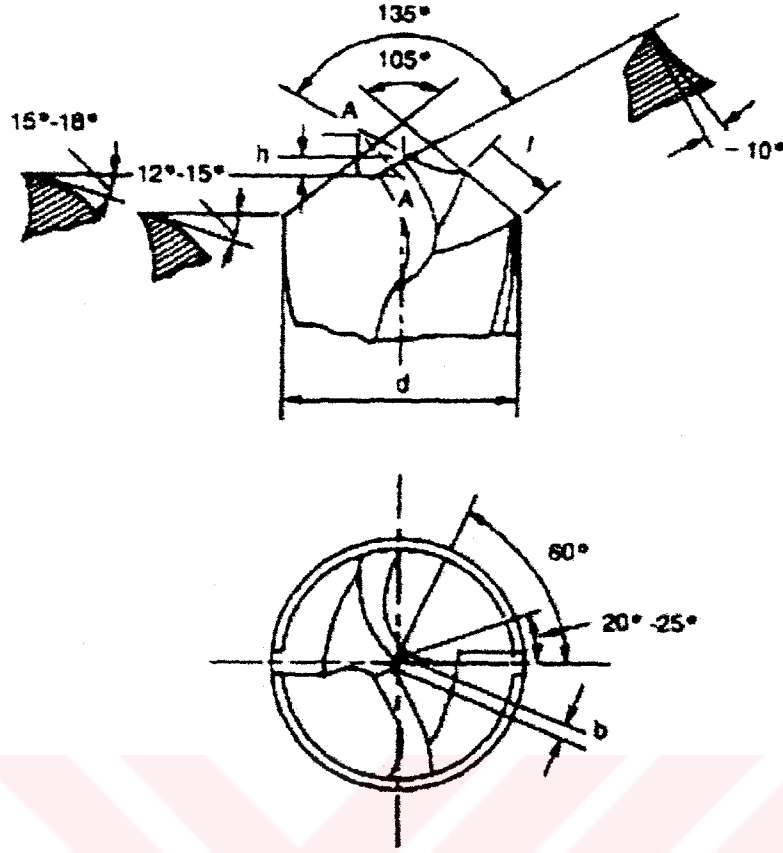
Şekil 3.83 Delik genişletmek için çok yüzeyli matkap (Wu, 1985)



Şekil 3.84 Eğik yüzeyler için çok yüzeyli matkap (Wu, 1985)

Alüminyum Alaşımları İçin çok yüzeyli matkap (MFD):

Alüminyum alaşımları için kullanılan MFD, Şekil 3.85'de görülmektedir. Bazı özellikleri şu şekilde açıklanabilir:



Şekil 3.86 Kompozit malzemeler için çok yüzeyli matkap (Wu, 1985)

Kompozit malzemelerin iletkenliği az olduğundan uç açısı çevre sıcaklığını azaltmak için $100^{\circ} - 110^{\circ}$ arasında seçilir.

Kompozitler kırılğan ve sert malzemeler olduğundan talaş oluşumu zorlaşır ve aşınma hızlı gerçekleşir. Isı azalımı için delme düzeneğinde düşük hız ve yüksek ilerleme değeriyle çalışılmalıdır. Ayrıca talaş tahliyesi için vakum düzeneği gerekmektedir.

3.2.5.3 Çok Yüzeyli Matkabın Matematik Modeli

Tipik MFD için matematik model 1983 yılında yapıldı. Daha sonra da birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Chen ve Wu yaptıkları çalışmada değişik MFD'lerin matkap uç geometrilerini ileri düzeyde analiz etmiştir. Değişik yüzey komponentleri için matematik model oluşturduklar. Çeşitli yüzey komponentlerinin matematik modelleri elde edilip koordinat transformasyonu kullanılarak analiz edilmiştir. Uygun taşlama methodlarını bulmak için geometrik elemanların matematik modeli kullanılmıştır. MFD'lerin matematik modellerini kontrol etmek için bilgisayar çizimlerinden de yararlanılmıştır. Bu da ileride CAD programı ile MFD'lerin dizaynına temel oluşturmuştur.

Matkap uç geometrileri dokuz komponent yüzeyle karakterize edilir. Bunlar:

- a) 1. ve 4. konik yüzeyler
- b) 2. ve 3. oval silindir yüzeyler. 2.1 oval silindir, 2.2 düz yüzey, 3.1 oval silindir, 3.2. düz yüzeydir.
- c) 5. yüzey oval silindir.
- d) 6., 7., 8. ve 9. yüzeyler daha küçük düz yüzeylerdir.

Yukarıda belirtildiği gibi çok yüzeyli matkabın (MFD) uçlarının geometrik elemanları üç grupta sınıflandırılabilir. Konik yüzeyler 1. ve 4. yüzeyler, 2.1, 3.1 ve 5. silindirik yüzeyler ve 2.2, 3.2, 6., 7., 8., 9. yüzeyler.

Matematik modeller aşağıda her yüzey için elde edilmiştir (Helisel kanallar dikkate alınmamıştır).

1. Serbest yüzey:

Birçok nedenden klasik matkapların serbest yüzeyleri koniktir. Çok yüzeyli matkap için konik yüzeyler komplike matkap ucunun ana unsurunu oluşturur. Konik yüzeylerin matematik modeli elde edilecektir. Şekil 3.76'da uç ile konik yüzeyin merkez boyu ve uç ile matkabın eksenleri arasındaki bağıntı gösterilmiştir. Şekil 3.76 daki XYZ koordinat sisteminde merkez olarak alınan O_1 noktası radyal ağızdadır. Bu O noktası merkez alınarak yapılan koordinat sistemine daha uygundur. Fakat taşlamada, bazen O_1 noktası daha uygun olabilmektedir. Bu yüzden OO_1 uzaklığı mutlaka belirtilmelidir.

$X^*Y^*Z^*$ koordinat sisteminde konik yüzey eşitliği

$$(X^*)^2 + (Y^*)^2 - (Z^*)^2 \tan^2 \theta = 0 \text{ olarak belirlenir.}$$

$X^*Y^*Z^*$ koordinat sistemi XYZ koordinat sistemine çevrilirse, matkap ucunun serbest yüzeyinin eşitliği şu şekilde olur.

$$\left(X \cos \phi + Z \sin \phi + \sqrt{d^2 \tan^2 \theta - S^2} \right) + (Y - S)^2 - (Z \cos \phi - X \sin \phi - d)^2 \tan^2 \phi = 0 \quad (3.9)$$

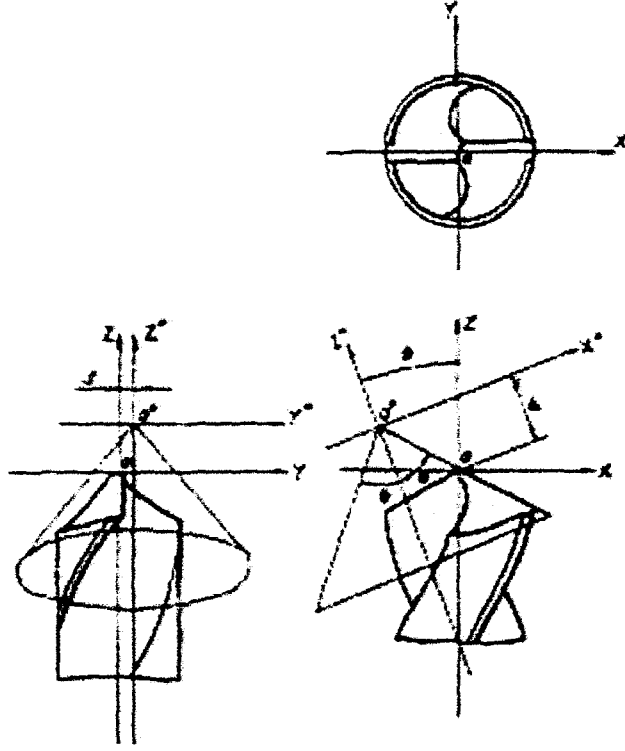
Burada;

θ = konik açısının yarısı

ϕ = Z^* ekseninin eğim açısı

d = Z^* ekseninde $\overline{OO^*}$ uzunluğunun izdüşümü

s = Y ekseninde $\overline{OO^*}$ uzunluğunun izdüşümü



Şekil 3.87 Konik ucun modeli (Wu ve Shen, 1983)

2. Serbest yüzey :

Şekil 3.87'de görüldüğü gibi serbest yüzey, iki silindirik yüzeydir. Ana doğrusu YOZ düzlemiyle paralel olup XOY düzlemiyle eğimlidir. Bu eğim kesme kenarındaki serbest açı α_R 'ye eşittir. Şekil 3.88a'da görüleceği gibi silindirik yüzey iki bölüme ayrılabilir. Bunlar IIA ve IIB yüzeyleridir.

IIA bölümü:

IIA yüzeyi D noktasından ve iç kenar DC'den (V_1 vektörü) geçen ve doğru olarak bilinen V_2 vektörüdür. D noktasının koordinatları ve iki vektörün doğrultu kosinüsleri bulunarak, IIA yüzeyinin eşitliği tanımlanır.

IIA yüzeyinin parametrik eşitliği:

IIA yüzeyi aşağıdaki parametrik eşitliklerle belirlenir.

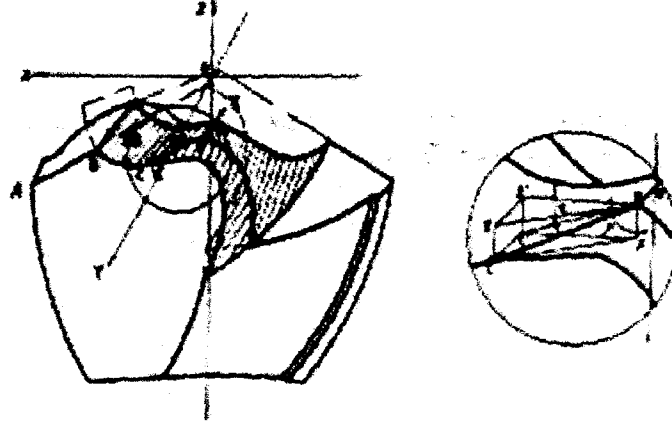
$$\begin{aligned} X &= X_D + t_1 V_{1X} + t_2 V_{2X} \\ Y &= Y_D + t_1 V_{1Y} + t_2 V_{2Y} \\ Z &= Z_D + t_1 V_{1Z} + t_2 V_{2Z} \end{aligned} \quad (3.10)$$

İkinci aşamada;

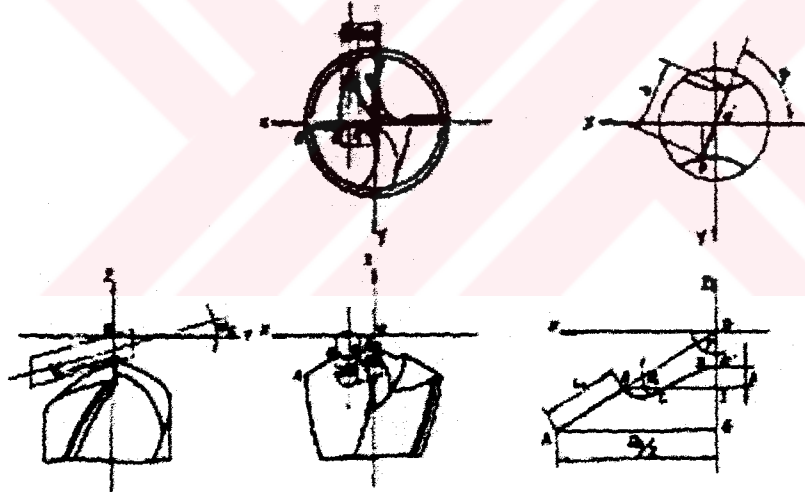
1. X_D, Y_D, Z_D (D noktasının koordinatları)
2. V_{1X}, V_{1Y}, V_{1Z} (DC'nin doğrultu kosinüsleri)
3. V_{2X}, V_{2Y}, V_{2Z} (V_2 vektörünün bileşenleri)

Şekil 3.88b'den D noktasının koordinatları;

$$\begin{aligned} X_D &= \frac{b}{2} \cos \psi \\ Y_D &= \frac{b}{2} \sin \psi \\ Z_D &= -OG + GD + IO' = -\frac{D_1}{2 \tan \rho} + L_1 \cos \rho + h \end{aligned} \quad (3.11)$$



Şekil 3.88a 2. Serbest yüzeyin modeli (Wu ve Shen, 1983)



Şekil 3.88b 2. Serbest yüzeyin modeli (Wu ve Shen, 1983)

DC'nin (V_2) doğrultu kosinüsü;

$$\begin{aligned} V_{1x} &= \frac{X_C - X_D}{DC} = \frac{DE'}{\sqrt{(DE')^2 + (EE')^2 + (E'C')^2}} = \frac{DE'}{DE' \sqrt{1 + \tan^2 \tau + \cot^2 \rho'}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \tan^2 \tau + \cot^2 \rho'}} \\ V_{1y} &= \frac{Y_C - Y_D}{DC} = \frac{EE'}{DC} = \frac{DE' \tan \tau}{DC} = \frac{\tan \tau}{\sqrt{1 + \tan^2 \tau + \cot^2 \rho'}} \\ V_{1z} &= \frac{Z_C - Z_D}{DC} = \frac{-E'C'}{DC} = \frac{-DE' \cot \rho'}{DC} = \frac{-\cot \rho'}{\sqrt{1 + \tan^2 \tau + \cot^2 \rho'}} \end{aligned} \quad (3.12)$$

V_2 vektörünün bileşenleri

$$\begin{aligned} V_{2X} &= 0 \\ V_{2Y} &= -\cos \alpha_R \\ V_{2Z} &= -\sin \alpha_R \end{aligned} \quad (3.13)$$

Eğer eşitlik (3.11), (3.12) ve (3.13) eşitlik (3.10)'a yerleştirilse, IIA yüzeyi için şu parametrik eşitlikler elde edilir:

$$\begin{aligned} X &= \frac{b}{2} \cos \psi + \frac{1}{\sqrt{1 + \tan^2 \tau + \cot^2 \rho'}} t_1 \\ Y &= \frac{b}{2} \sin \psi + \frac{\tan \tau}{\sqrt{1 + \tan^2 \tau + \cot^2 \rho'}} t_1 - \cos \alpha_R t_2 \\ Z &= -\frac{D_d}{2 \tan \rho} + L_1 \cos \rho + h - \frac{\cot \rho'}{\sqrt{1 + \tan^2 \tau + \cot^2 \rho'}} t_1 - \sin \alpha_R t_2 \end{aligned} \quad (3.14)$$

Burada t_1 ve t_2 keyfi sabitlerdir.

IIA yüzeyi için genel eşitlik:

IIA yüzeyi için genel eşitlik şu şekilde yazılır:

$$C_a X + C_b Y + C_c Z + C_d = 0 \quad (3.15)$$

Burada;

$$C_a = \begin{vmatrix} V_{1Y} & V_{1Z} \\ V_{2Y} & V_{2Z} \end{vmatrix} = V_{1Y} V_{2Z} - V_{2Y} V_{1Z} = \frac{-\tan \tau \cdot \sin \alpha_R - \cot \rho' \cdot \cos \alpha_R}{\sqrt{1 + \tan^2 \tau + \cot^2 \rho'}}$$

$$C_b = \begin{vmatrix} V_{1Z} & V_{1X} \\ V_{2Z} & V_{2X} \end{vmatrix} = V_{1Z} V_{2X} - V_{1X} V_{2Z} = \frac{\sin \alpha_R}{\sqrt{1 + \tan^2 \tau + \cot^2 \rho'}}$$

$$C_c = \begin{vmatrix} V_{1X} & V_{1Y} \\ V_{2X} & V_{2Y} \end{vmatrix} = V_{1X} V_{2Y} - V_{2X} V_{1Y} = \frac{-\cos \alpha_R}{\sqrt{1 + \tan^2 \tau + \cot^2 \rho'}}$$

$$C_d = -\begin{vmatrix} X_D & Y_D & Z_D \\ V_{1X} & V_{1Y} & V_{1Z} \\ V_{2X} & V_{2Y} & V_{2Z} \end{vmatrix} = -C_a X_D - C_b Y_D - C_c Z_D$$

C_a , C_b , C_c , C_d ve eşitlik (3.11) değerleri eşitlik (3.15)'e yazılıp sadeleştirme yapılırsa, IIA yüzeyi için şu genel eşitlik elde edilir:

$$\left(\tan \tau \cdot \tan \alpha_R + \frac{1}{\tan \rho'} \right) \left(X - \frac{b}{2} \cos \psi \right) - \tan \alpha_R \left(Y - \frac{b}{2} \sin \psi \right) + \left(Z + \frac{D_d}{2 \tan \rho} - L_1 \cos \rho - h \right) = 0 \quad (3.16)$$

IIB bölümü:

İkinci serbest yüzeyin IIB bölümü oval silindir olup B noktasında düzgün kesici ağızla kesişir ve yeni BC kesici ağız yayını oluşturur. Bu dairenin merkezi 1 noktası olup radyusu R_1 'dir (Şekil 3.88b).

R_1 radyusu XYZ sisteminde şu şekilde belirtilir:

$$\begin{aligned} (X - X_1)^2 + (Z - Z_1)^2 &= R_1^2 \\ Y = Y_1 &= \frac{W}{2} \end{aligned} \quad (3.17)$$

Burada W çekirdek kalınlığıdır. X_1 ve Z_1 ise R_1 dairesi merkezinin koordinatlarıdır. V_2 vektörünün R_1 dairesi boyunca ilerletilmesiyle oval silindirin IIB bölgesi oluşturulur. Bir başka yol, R_1 dairesini vektör boyunca hareket ettirmektir. O zaman R_1 dairesinin merkez konumları şu şekilde oluşur:

$$\begin{aligned} X_{11} &= X_1 \\ Y_{11} &= Y \\ Z_{11} &= Z_1 - (Y_1 - Y_{11}) \tan \alpha_R = Z_1 - \left(\frac{W}{2} - Y \right) \tan \alpha_R \end{aligned} \quad (3.18)$$

Buradan IIB bölgesinin eşitliği şu şekilde bulunur:

$$(X - X_{11})^2 + (Z - Z_{11})^2 = R_1^2 \quad (3.19)$$

Eşitlik (3.18) eşitlik (3.19)'a yerleştirilirse, IIB bölümünü içeren eşitlik şu şekilde olur:

$$(X - X_1)^2 + \left[Z - Z_1 + \left(\frac{W}{2} - Y \right) \tan \alpha_R \right]^2 = R_1^2 \quad (3.20)$$

Burada X_1 ve Z_1 koordinatları belirlenmelidir.

R_1 dairesinin merkez koordinatları X_1 ve Z_1 'in belirlenmesi:

R_1 dairesinin merkezi olan 1 noktası şekille belirlenir. Bu gerçekte $Y=W/2$ düzleminde R_1 dairesi B noktasından geçer ve IIA düzleminde CH doğrusu ile açı yaparak kesişir (Şekil 3.89). Bununla birlikte X_1 ve Z_1 matematiksel olarak iki aşamada hesaplanabilir. Birincisi,

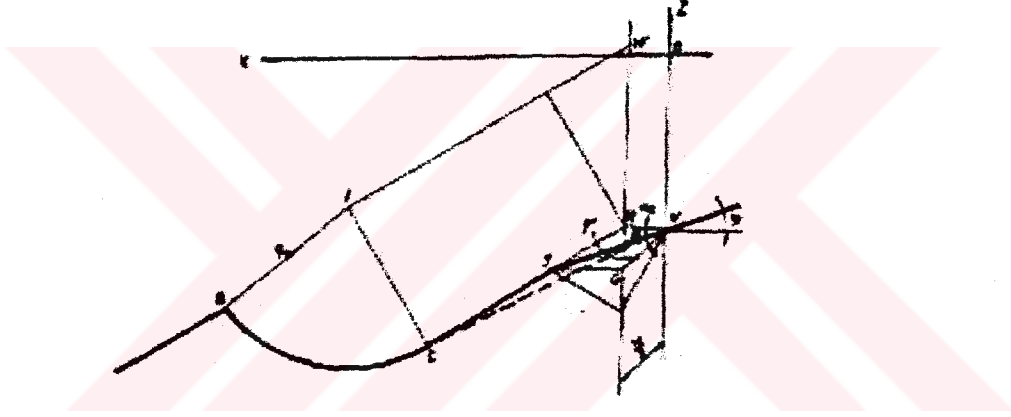
CH doğrusunun kesişimi, ikincisi CH doğrusu ile R_1 dairesinin bileşimidir. İşlemler yapıldığında X_1 ve Z_1 koordinatları şu şekilde oluşur:

$$Z = -\left(\tan \tau \cdot \tan \alpha_R + \frac{1}{\tan \rho'}\right)X + \left(-\frac{D_d}{2 \tan \rho} + L_1 \cos \rho + h\right) + \tan \alpha_R \frac{W}{2} - \frac{b}{2} \tan \alpha_R \cdot \sin \psi + \frac{b}{2} \cos \psi \left(\tan \tau \cdot \tan \alpha_R + \frac{1}{\tan \rho'}\right) \quad (3.21)$$

$$\text{Burada, } \tan \rho'' = \frac{1}{\tan \tau \cdot \tan \alpha_R + \frac{1}{\tan \rho'}} \quad (3.22)$$

ρ'' açısı CH doğrusu ile YOZ düzlemi arasındaki açıdır.

$$\tan \psi = \frac{O'G}{JG} = \frac{O'G}{HG \tan \rho''} = \frac{O'G}{O'G \tan \alpha_R \cdot \tan \rho''} = \frac{1}{\tan \alpha_R \cdot \tan \rho''} \quad (3.23)$$



Şekil 3.89 İkinci serbest yüzeyin detayı (Wu ve Shen, 1983)

Eğer R_1 dairesi CH doğrusuyla teğetsel olarak birleştirilirse, 1 noktası CH doğrusuna R_1 uzaklığında paralel durumda olur. Bu yüzden eşitlik (3.24)'e $HH' = R_1/\sin \rho'$ uzunluğu eklenmelidir. Buna göre;

$$Z_1 = -\frac{X_1}{\tan \rho''} + \left(-\frac{D_d}{2 \tan \rho'} + L_1 \cos \rho + h + \frac{W}{2} \tan \alpha_R\right) + \frac{R_1}{\sin \rho''} \quad (3.25)$$

1 noktası ile B noktası arasındaki uzaklık R_1 olup,

$$(X_1 - X_B)^2 + (Z_1 - Z_B)^2 = R_1^2 \quad (3.26)$$

Eşitlik (3.25) eşitlik (3.26)'ya eklenirse,

$$\left[X_1 - \left(\frac{D_d}{2} - L_1 \sin \rho \right) \right]^2 + \left[\begin{array}{l} -\frac{X_1}{\tan \rho''} + \left(-\frac{D_d}{2 \tan \rho} + L_1 \cos \rho + h + \frac{W}{2} \tan \alpha_R + \frac{R_1}{\sin \rho''} \right) \\ \left(-\frac{D_d}{2 \tan \rho} + L_1 \cos \rho \right) \end{array} \right]^2 = R_1^2 \quad (3.27)$$

Eşitlik (3.27) X_1 'in karesinin fonksiyonu şeklindedir, eşitlik (3.27) genişletilirse eşitlik (3.28) şu şekilde oluşur;

$$\left(1 + \frac{1}{\tan^2 \rho''} \right) X_1^2 + \left(2L_1 \sin \rho - D_d - \frac{2}{\tan \rho''} \left[h + \frac{W}{2} \tan \alpha_R + \frac{R_1}{\sin \rho''} \right] \right) X_1 + \left(\left[\frac{D_d}{2} - L_1 \sin \rho \right]^2 + \left[h + \frac{W}{2} \tan \alpha_R + \frac{R_1}{\sin \rho''} \right]^2 - R_1^2 \right) = 0 \quad (3.28)$$

Burada,

$$\begin{aligned} a_1 &= 1 + \frac{1}{\tan^2 \rho''} \\ b_1 &= 2L_1 \sin \rho - D_d - \frac{2}{\tan \rho''} \left[h + \frac{W}{2} \tan \alpha_R + \frac{R_1}{\sin \rho''} \right] \\ c_1 &= \left[\frac{D_d}{2} - L_1 \sin \rho \right]^2 + \left[h + \frac{W}{2} \tan \alpha_R + \frac{R_1}{\sin \rho''} \right]^2 - R_1^2 \end{aligned} \quad (3.29)$$

X_1 ve Z_1 'in aşağıda belirtilen değerleri eşitlik (3.25)'e yerleştirilerek eşitlik (3.28) elde edilmiştir.

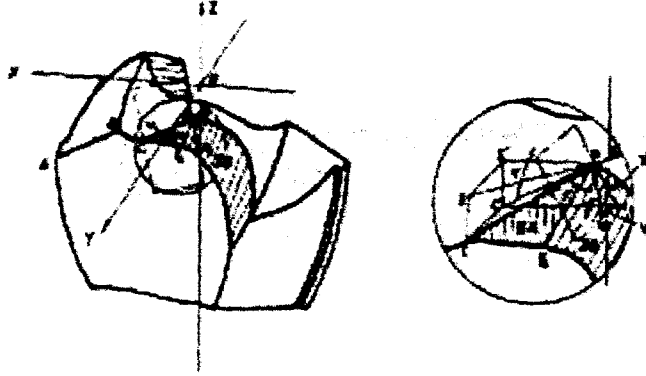
$$\begin{aligned} X_1 &= \frac{-b_1 + \sqrt{b_1^2 - 4a_1c_1}}{2a_1} \\ Z_1 &= \frac{b_1 - \sqrt{b_1^2 - 4a_1c_1}}{2a_1 \tan \rho''} + \left(-\frac{D_d}{2 \tan \rho} + L_1 \cos \rho + h + \frac{W}{2} \tan \alpha_R + \frac{R_1}{\sin \rho''} \right) \end{aligned} \quad (3.30)$$

C teğet noktasının koordinatları aşağıdaki gibi oluşur;

$$\begin{aligned} X_c &= X_1 - R_1 \cos \rho'' \\ Z_c &= Z_1 - R_1 \sin \rho'' \end{aligned}$$

3. serbest yüzey:

3. serbest yüzey Şekil 3.90'da görüldüğü gibi silindirik yüzeye sahiptir ve iki parçaya ayrılmıştır. Bunlar IIIA ve IIIB bölümleridir.



Şekil 3.90 3. serbest yüzeyin modeli (Wu ve Shen, 1983)

IIIA bölümü:

Bu bölüm bir düzlemdir. Bu düzlem V_1 ve V_3 vektörü ile D noktasından geçer. D noktasının koordinatları $D(X_D, Y_D, Z_D)$ olup V_1 'in komponentleri daha önce belirtilmişti.

V_3 vektörü XOZ düzlemine ve iç kesici kenar CD'nin izdüşümü C'D'ye diktir. V_3 vektörüyle XOZ düzlemi arasındaki açı γ' 'dir. Bu sayede V_3 vektörü şu şekilde tanımlanır;

$$\begin{aligned} V_{3x} &= -\frac{FM}{DN} = -\frac{FM}{DM} \frac{DM}{DN} = -\cos \rho' \cdot \cos \gamma' \\ V_{3y} &= \frac{MN}{DN} = \sin \gamma' \\ V_{3z} &= -\frac{DF}{DN} = -\frac{DF}{DM} \frac{DM}{DN} = -\sin \rho' \cdot \cos \gamma' \end{aligned} \quad (3.31)$$

Eşitlik (3.11), (3.12) ve (3.31) eşitlik (3.10)'a yerleştirilirse IIIA yüzeyi için şu parametrik eşitlik elde edilir;

$$\begin{aligned} X &= X_D + S_1 V_{1x} + S_2 V_{3x} = \frac{b}{2} \cos \psi + \frac{1}{\sqrt{1 + \tan^2 \tau + \cot^2 \rho'}} S_1 - S_2 \cos \gamma' \cdot \cos \rho' \\ Y &= Y_D + S_1 V_{1y} + S_2 V_{3y} = \frac{b}{2} \sin \psi + \frac{\tan \tau}{\sqrt{1 + \tan^2 \tau + \cot^2 \rho'}} S_1 + S_2 \sin \gamma' \\ Z &= Z_D + S_1 V_{1z} + S_2 V_{3z} = -\frac{D_d}{2 \tan \rho} + L_1 \cos \rho + h - \frac{\cot \rho'}{\sqrt{1 + \tan^2 \tau + \cot^2 \rho'}} S_1 - S_2 \cos \gamma' \cdot \sin \rho' \end{aligned} \quad (3.32)$$

Yine IIIA yüzeyi aşağıdaki gibi genel eşitlik olarak da tanımlanabilir.

$$K_a X + K_b Y + K_c Z + K_d = 0 \quad (3.33)$$

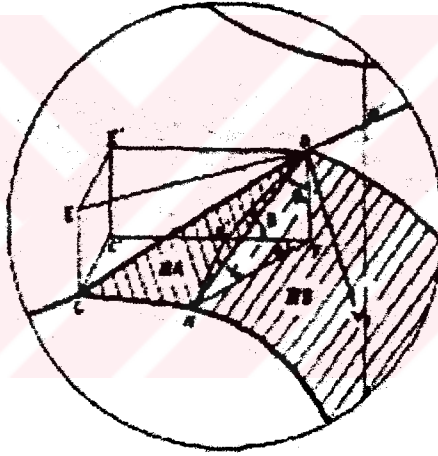
Burada,

$$K_a = \begin{vmatrix} V_{1Y} & V_{1Z} \\ V_{3Y} & V_{3Z} \end{vmatrix} = V_{1Y}V_{3Z} - V_{3Y}V_{1Z} = \frac{-\tan \tau \cdot \cos \gamma_\tau \cdot \sin \rho' + \sin \gamma_\tau \cdot \cot \rho'}{\sqrt{1 + \tan^2 \tau + \cot^2 \rho'}}$$

$$K_b = \begin{vmatrix} V_{1Z} & V_{1X} \\ V_{3Z} & V_{3X} \end{vmatrix} = V_{1Z}V_{3X} - V_{1X}V_{3Z} = \frac{\cot \rho' \cdot \cos \gamma_\tau \cdot \cos \rho' + \cos \gamma_\tau \cdot \sin \rho'}{\sqrt{1 + \tan^2 \tau + \cot^2 \rho'}}$$

$$K_c = \begin{vmatrix} V_{1X} & V_{1Y} \\ V_{3X} & V_{3Y} \end{vmatrix} = V_{1X}V_{3Y} - V_{1Y}V_{3X} = \frac{\sin \gamma_\tau \cdot \tan \tau \cos \gamma_\tau \cdot \cos \rho'}{\sqrt{1 + \tan^2 \tau + \cot^2 \rho'}}$$

$$K_d = -K_a X_D - K_b Y_D - K_c Z_D$$



Şekil 3.91 IIIA bölümünün detayı (Wu ve Shen, 1983)

Eğer eşitlik (3.3) ve K_a , K_b , K_c ve K_d değerleri eşitlik (3.33)'de yerine konulup sadeleştirme yapılırsa şu eşitlik elde edilir;

$$\begin{aligned} & (\tan \gamma_\tau \cdot \cos \rho' - \tan \tau \cdot \sin^2 \rho') \left(x - \frac{b}{2} \cos \psi \right) + \left(Y - \frac{b}{2} \sin \psi \right) \\ & + (\tan \gamma_\tau \cdot \sin \rho' + \tan \tau \cdot \cos \rho' \cdot \sin \rho') \left(Z + \frac{D_d}{2 \tan \rho} - L_1 \cos \rho - h \right) = 0 \end{aligned} \quad (3.34)$$

Eşitlik (3.34) ile eşitlik (3.32) temelde aynıdır.

IIIB bölümü:

Üçüncü serbest yüzeyin IIIB bölümü oval silindirdir. Doğrultusu IIIA düzlemine paraleldir. XOZ düzlemine izdüşümü, X eksenine β eğim açısına sahiptir (Şekil 3.91). Doğrultu doğrusu D, IIIA düzleminde DK (V_4) adıyla (Şekil 3.91). Eşitlik (3.34) V_4 'ün fonksiyonu olarak yazılmalıdır. V_4 aynı zamanda şu şekilde belirtilir;

$$Z - Z_D = -(X - X_D) \tan \beta \quad (3.35)$$

Eşitlik (3.35) ve eşitlik (3.11) eşitlik (3.34)'ya uygulanırsa, X ve Y komponentleri arasında yeni bir V_4 eşitliği bulunur.

$$\begin{aligned} & \left(\tan \gamma_\tau \cdot \cos \rho' - \tan \tau \cdot \sin^2 \rho' \right) \left(X - \frac{b}{2} \cos \psi \right) + \left(Y - \frac{b}{2} \sin \psi \right) \\ & - \left(\tan \gamma_\tau \cdot \sin \rho' + \tan \tau \cdot \cos \rho' \cdot \sin \rho' \right) \left(X - \frac{b}{2} \cos \psi \right) \tan \beta = 0 \end{aligned} \quad (3.36)$$

Eşitlik (3.35) ve (3.36) şu şekilde standart hale getirilebilir.

$$\begin{aligned} \frac{X - \frac{b}{2} \cos \psi}{1} &= \frac{\left(Y - \frac{b}{2} \sin \psi \right)}{\tan \tau \cdot \sin^2 \rho' (1 + \cot \rho' \cdot \tan \beta) - \tan \gamma_\tau \cdot \cos \rho' (1 - \tan \rho' \cdot \tan \beta)} \\ &= \frac{Z + \frac{D_d}{2 \tan \rho} - L_1 \cos \rho - h}{-\tan \beta} \end{aligned} \quad (3.37)$$

X, Y ve Z eksenlerinde “doğrultu sayıları” sırasıyla,

$$L = 1$$

$$M = \tan \tau \cdot \sin^2 \rho' (1 + \cot \rho' \cdot \tan \beta) - \tan \gamma_\tau \cdot \cos \rho' (1 - \tan \rho' \cdot \tan \beta)$$

$$N = -\tan \beta \quad (3.38)$$

IIIA bölümünün yeri A-A kesitinde görülebilir (Şekil 3.92). R_2 dairesi D noktasından geçer ve matkabın silindirik yüzeyinde bulunan P noktasında kesişir. R_2 dairesinin eşitliği;

$$X = X_D = \frac{b}{2} \cos \psi (Y - Y_2)^2 + (Z - Z_2)^2 = R_2^2 \quad (3.39)$$

burada Y_2 ve Z_2 , R_2 dairesinin merkezi olan 2 noktasının koordinatlarıdır. D (Y_D, Z_D) ve P (Y_P, Z_P) noktalarının koordinatlarından yararlanılarak Y_2 ve Z_2 koordinatları belirlenir.

\overline{PD} doğrusunun orta noktası Q;

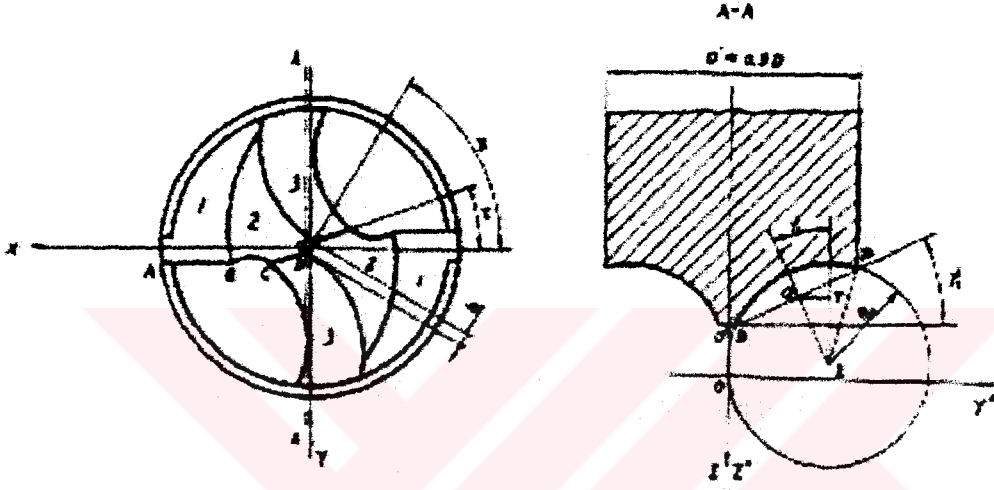
$$Y_Q = \frac{Y_D + Y_P}{2}$$

$$Z_Q = \frac{Z_D + Z_P}{2}$$

$$PQ^2 = \sqrt{(Y_P - Y_Q)^2 + (Z_P - Z_Q)^2} = \frac{1}{2} \sqrt{(Y_P - Y_D)^2 + (Z_P - Z_D)^2}$$

burada ;

$$\tan \gamma_1 = \frac{Z_D - Z_P}{Y_P - Y_D} \text{ olarak alınmıştır.} \quad (3.40)$$



Şekil 3.92 III B serbest yüzey bölümünün yeri (Wu ve Shen, 1983)

Sonra

$$Z_2 - Z_Q = \overline{TQ} = \cos \gamma_1 \cdot \overline{2Q} = \cos \gamma_1 \cdot \sqrt{R^2 - \overline{PQ}^2} = \cos \gamma_1 \cdot \sqrt{R_2^2 - \frac{1}{4} [(Z_D - Z_P)^2 + (Y_P - Y_D)^2]}$$

$$Y_2 - Y_Q = \overline{QT} = \sin \gamma_1 \cdot \overline{2Q} = \sin \gamma_1 \cdot \sqrt{R^2 - \overline{PQ}^2} = \sin \gamma_1 \cdot \sqrt{R_2^2 - \frac{1}{4} [(Z_D - Z_P)^2 + (Y_P - Y_D)^2]}$$

Sonuçta;

$$Y_2 = \frac{Y_P + Y_D}{2} + \sin \gamma_1 \cdot \sqrt{R_2^2 - \frac{1}{4} [(Z_D - Z_P)^2 + (Y_P - Y_D)^2]}$$

$$Z_2 = \frac{Z_P + Z_D}{2} + \cos \gamma_1 \cdot \sqrt{R_2^2 - \frac{1}{4} [(Z_D - Z_P)^2 + (Y_P - Y_D)^2]} \quad (3.41)$$

Burada;

$$Y_D = \frac{b}{2} \sin \psi \quad Z_D = -\frac{D_d}{2 \tan \rho} + L_1 \cos \rho + h$$

$$Y_p = 0,45D_d \quad Z_p = -\frac{0,45D_d}{\tan \rho} - 0,45D \frac{\pi}{2} \tan \alpha - 0,15D_d$$

$$R_2 = 0,5D_d$$

Silindirik IIIB yüzeyi için eşitlik;

$$\left[Y - \left(Y_2 + \left(X - \frac{b}{2} \cos \psi \right) \frac{M}{L} \right) \right]^2 + \left[Z - \left(Z_2 + \left(X - \frac{b}{2} \cos \psi \right) \frac{N}{L} \right) \right]^2 = R_2^2 \quad (3.42)$$

Eşitlik (3.30), (3.34)'e yerleştirilirse;

$$\left[Y - Y_2 - \left(X - \frac{b}{2} \cos \psi \right) M \right]^2 + \left[Z - Z_2 - \left(X - \frac{b}{2} \cos \psi \right) \tan \beta \right]^2 = R_2^2 \quad (3.43)$$

Sonuç olarak eşitlikler (3.9), (3.16), (3.30), (3.34), (3.43) ve (3.41) Şekil 3.77'de görülen tipik MFD'nin tüm yüzeylerini açıklamaktadır.

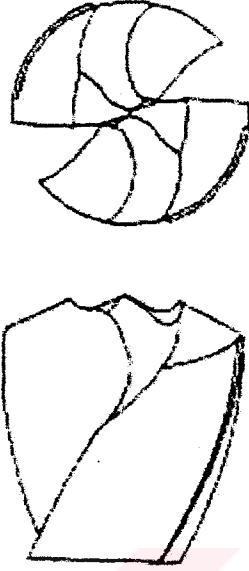
Geliştirilen matematik model sayesinde MFD için taşlama yöntemleri geliştirilerek yüksek dayanıma sahip MFD'ler oluşturuldu. Matematik modelle MFD'nin performansı daha iyi anlaşıldı. Bunun sonucunda ileride mükemmel bilemeye yönelik araştırmalar beklenmektedir.

3.2.5.4 Çok Yüzeyle Matkapın Bilgisayar Ortamında Çizimi

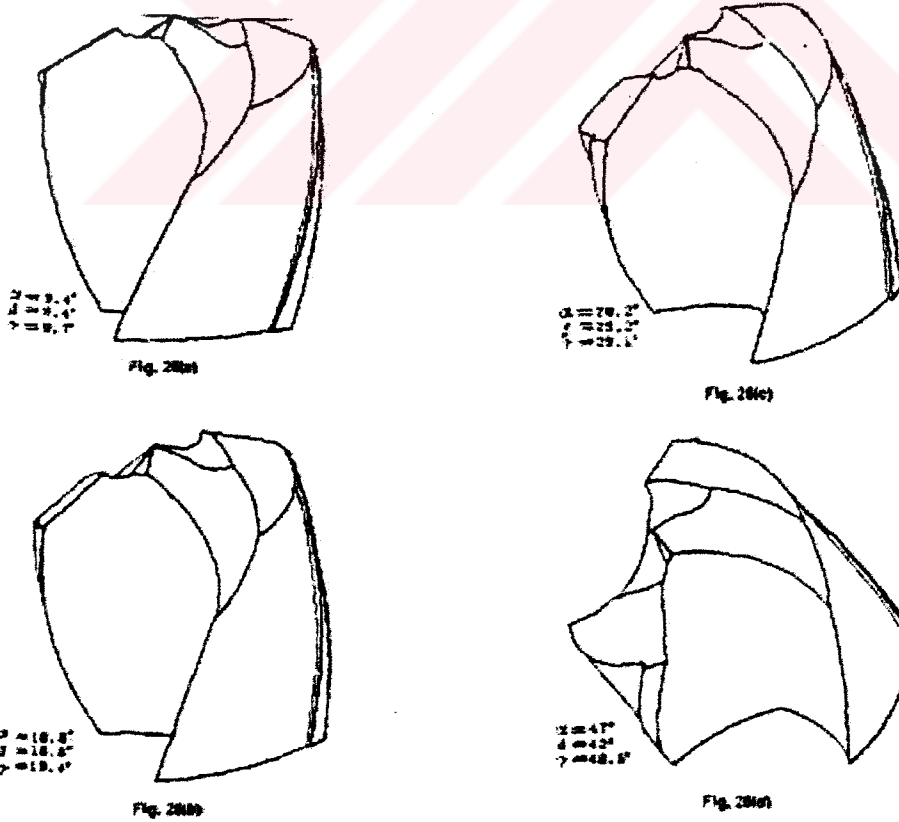
Çok Yüzeyle Matkapın (MFD) geometrik elemanlarının matematik eşitliklerinden, değişken yüzeylerin kesişiminden matkap uçlarının dış hat çizgileri belirlenebilir ve bilgisayar ekranında çok yüzeyle matkap çizilebilir. Aşağıdaki nedenlerden dolayı çok yüzeyle matkapın bilgisayarda çizilmesi avantajlıdır.

- Matematik eşitliğin doğruluğu bilgisayar çiziminde kontrol edilebilir.
- Matkap ucunun bilenmesinde kullanılan bazı geometrik parametrelerin seçilmesine yardımcı olur. Örnek olarak, R_3 , β ve α parametreleri; bu sayede oval silindirin pozisyon ve boyutu sağlanır. Matkapın merkezinin hassasiyete etkisi belirlenebilir. Uygun talaş oluşumu şekli sağlanır.
- Bilgisayarlı şekillendirmede matkapın her pozisyonu ekranda görülebilir. Bunun sonucunda bileme esnasında matkap pozisyonu kontrol edilir.
- Bilgisayar çizimi MFD'nin bilgisayar ortamında dizaynı (CAD) için ilk aşamadır.

Bilgisayar çiziminin yardımıyla, bilgisayar ekranında çok yüzeyle matkabın (MFD) bileneesi yapılabilir. Şekil 3.93 ve 3.94 tipik MFD için örnek bilgisayar çizimini görülmektedir. Şekil 3.93 üstten ve önden görünüşünü gösterirken, Şekil 3.94 dönme esnasında matkabi göstermektedir. Eksenlerdeki artarda yapılan dönmede β , α ve γ açıları belirtilmektedir.



Şekil 3.93 Tipik MFD'nin üstten ve önden görünüşü (Wu ve Chen, 1984)



Şekil 3.94 MFD'nin bilgisayar ortamında değişik yönlerden görünümü (Wu ve Chen, 1984)

Wu ve Chen tarafından Çok yüzeyli matkaplar için CAD sistemi oluşturmak niyetiyle, MFD'lerin bilgisayar çizimi araştırılmıştır. Matematik eşitlikler kullanılarak, bilgisayar ekranında çok yüzeyli matkap gösterilmiş ve arzu edilen biçimde ekranda matkap tasarlanmıştır. Bilgisayar ekranında bileme yapıldıktan sonra dizayn şekli seçilmiş ve bileme parametreleri belirtilmiştir. Matkabın gerçek taşlanması yüksek oranda başarı sağlanmıştır. İleriki yıllarda çok yüzeyli matkapların seri üretimi için büyük aşama kaydedilmiştir.

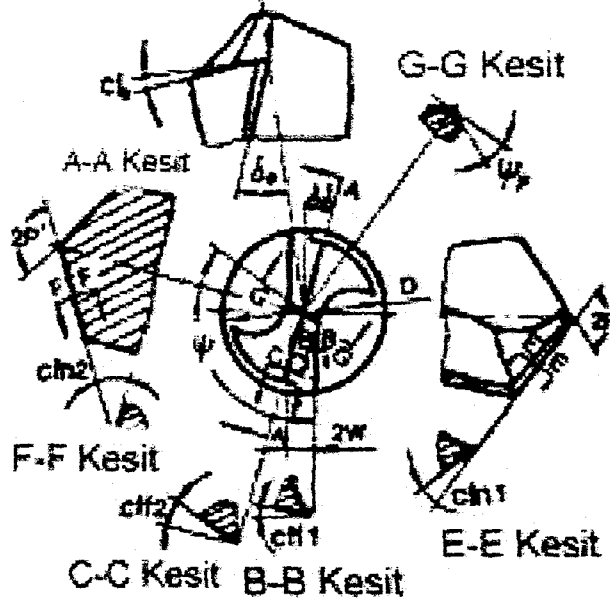
3.2.5.5 Uç Geometrisi Dört Yüzeyli Olan Matkap

Klasik spiral matkabın delme performansı ve üretilmesi hakkında birçok araştırma ve geliştirme olmasına rağmen, geometrik dizaynında ve delme performansına ait belirsizlikler ve eksiklikler bu iyi bilinen matkap için de mevcuttur. Bunların sebebi matkap uç bileme metodunun seçimi, matkap ucu parametreleri ve kalite kontrolün, minimum esneklik isteyen üreticiler için sorumluluk getirmesidir. Melbourne üniversitesinde daha önce yapılan araştırmalarda, radyal ağız ve matkap serbest yüzey geometrisindeki belirsizlikler uç bilenmesi ve kuvvet belirlenmesi için vurgulanmıştır. Uç bileme methodunda yapılabilecek değişikliklerin aynı matkap için değişik geometri ve performans oluşturacağı belirlenmiştir. Bu belirsizliğe rağmen, bir matkap için geometrik dataların geniş kapsamlı kesme modeli için verilmesi mümkündür.

Dizayn geometrisi ile ilgili çalışmalarda konular uç bilenmesi, aksenal kuvvet, moment ve gücün önceden belirlenmesiyle ilgiliydi. Genel Facet Point (yüzeyli uç) geometrisi için yedi matkap uç parametresi mevcuttur. Bu parametrelerden altı tanesi klasik amaçlı matkaplar için de geçerlidir. Facet Point dizaynı için farklı olan özellik ise uç bilenmesi ve matkap performans karakterisliğidir. Geniş deneysel araştırmalara bağlı olarak kesici modelin tahmini değişmiştir, CAD/CAM yazılımına yüzeyli uç matkapların bilgisayar modülleri de eklendi.

Uç geometrisi dört yüzeyli olan matkap, delme performansını artırmak ve CNC uygulamalarında kullanılmak için klasik amaçlı matkap geometrisinde değişiklik yapılmış matkap uç geometrisine sahiptir. Şekil 3.95'de uç geometrisi dört yüzeyli olan matkabın (four facet point drill) üç değişik tipi görülmektedir. Bunların ikisi el bilemeyle oluşturulmuş, üçüncü tip ise araştırma literatüründe yer almaktadır. Uç geometrisi dört yüzeyli olan matkabın en belirgin özelliği "pointed" radyal ağız oluşturmak için çekirdek bölgesinde kesişen iki "primary"(birincil) ve iki "secondary"(ikincil) serbest yüzeylerin olmasıdır.

birincil ve ikincil yüzeylerin kesişim doğrusunun radyal ağızla yaptığı açıdır. Burada radyal ağız açısı ψ seçilmiştir.



Şekil 3.96 Uç geometrisi dört yüzeyli olan matkabın geometrisi (Armarego vd.,1990)

Bileme şartları:

Matkap gövdesinin bileme esnasında simetrik olması gerekir. Bileme işlemi birincil yüzeyin kesici ağızlarının bilenmesiyle başlar, daha sonra ikincil serbest yüzeyler bilenir. Birincil serbest yüzeyi bilemek için $(90^\circ - P)$ ve cl_1 açıları gerekmektedir. Bu açılar bileme taşı yerleştirildikten sonra oluşturulur. İkincil serbest yüzeyi oluşturmak için üç açı gerekir bunlar μ , p' ve cl_2 'dir. Öncelikle μ ve $2p$ açıları belirlenir. Daha sonra diğer yerleştirme açılarının belirlenmesi gerekir. Oluşturulan ampirik formüllerden (3.44-45-46), $f(D, 2\omega, \delta_o, \psi, \mu, cl_o)$ olarak cl_2 , cl_1 ve $2p'$ açıları bulunur. Kullanılan ampirik ifadeler aşağıda verilmiştir. Bu ampirik formüllere seçilen ve ölçülen $D, 2\omega, \delta_o, \psi, \mu, cl_o$ değerleri konularak cl_2, cl_1 ve $2p'$ açıları bulunur.

$$\tan(Cl_1) = \frac{[\tan(Cl_o) * (\sin(p) - (2w/D) * \cos(p))] / [1 - (2w/d)^2]^2}{\quad} \quad (3.44)$$

$$\cot(p') = \cos(\mu) * \cot(p) + \sin(\mu) * [\tan(cl_o) - (2w/D) * \cot(p)] / [1 - (2w/d)^2]^{0.5} \quad (3.45)$$

$$\tan(Cl_2) = \{ \cos(p') * \cos(\psi' + \mu) + \cos(\psi') * \cot(p) * \sin(p') - \sin(\psi') * \sin(p') * [\tan(Cl_o) - (2w/D) * \cot(p)] / [1 - (2w/d)^2]^{0.5} \} / \sin(\psi' + \mu) \quad (3.46)$$

Yukarıdaki ampirik ifadeler kullanılarak (Armagero ve Whitfield) tarafından yedi değişik taşlama yöntemi geliştirilmiştir. Gang tarafından yapılan çalışmada ise dairesel boşluk açısı ve ampirik ifadeler için bilgisayar programı geliştirilmiştir.

Bilgisayar yardımıyla Armarego tarafından nümerik çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda şu değerler kullanılmıştır: $2p= 118^\circ$, $\psi= 110^\circ - 140^\circ$, $\mu= 0^\circ - 40^\circ$, $2\omega/D=0.12 - 0.20$, $cl_0 = 8^\circ - 16^\circ$. Helis açısının δ_0 serbest yüzeyler için önemli etkisi yoktur. $2\omega/D$, ψ , cl_0 ve μ değerleri sırasıyla 0.02, 5° , 2° ve 10° alınmıştır. Yukarıdaki değişik değerlerle toplam 875 değişik test yapılmıştır. Deneyler sonucunda μ açısının etkisi araştırılmıştır. Bu testler sonunda elde edilen veriler doğrultusunda μ açısı $30^\circ - 40^\circ$ arasında alınıp, yüksek ψ açısı, düşük $2\omega/D$ değeri ve yüksek boşluk açısı cl_0 seçilirse uygun şartlar elde edilebilir. Fakat büyük birincil yüzey boşluk açısından dolayı güçsüz kesici ağız oluşur. Radyal ağzın kesme etkisi düşük olur, radyal ağız boyu büyük oluşur. ψ açısı büyük olursa yüksek kuvvetler meydana gelir. Bu nedenlerden dolayı yüksek μ açısı uygun kesme şartları sağlamadığı gibi yüksek kuvvetlerin oluşmasına zemin hazırlar.

Bulunan değerler ışığında μ açısı değerinin 0° veya düşük değerde tutulması matkap dizaynı ve imalat açısından geniş olanak sağlamaktadır. Büyük μ açılı matkaplarla karşılaştırıldığında daha yüksek performans sağlanır. Uygun olan μ açısının düşük tutulmasıdır. Bu sayede yüksek performans elde edilebilir.

Diğer bir araştırma ise geliştirilen ampirik formüller yardımıyla moment ve aksenal kuvvet değişim eğrilerinin bulunmasıdır. Bu deneyde S1214 çelik malzeme, 18 m/dak hızla delinmiştir. Üç değişik ilerleme değerler kullanılmıştır, bunlar, 0.102, 0.203, 0.305 mm/dev'dir. Değişik geometriye sahip 30 delme işlemi yapılmıştır. Her delme işlemi deneysel çalışmanın doğruluğunu arttırmak için beşer kez tekrarlanmıştır. Elde edilen aksenal kuvvet ve moment değerleri $2p$, ψ , μ , $2\omega/D$, cl_0 , D , δ_0 parametrelerine bağlı olarak bulunmuş, grafikler elde edilmiştir. Bu deneyler sonucunda;

- D parametresindeki artış oluşacak toplam aksenal kuvvet ve toplam moment değerlerini arttırdığı,
- $2p$ açısı arttıkça aksenal kuvvetin arttığı, moment değerinde ise az miktarda azalma olduğu,
- $2\omega/D$ oranındaki artış aksenal kuvvet ve toplam moment değerinde artış meydana getirir. Bu artışın sebebi kesme yüzeyinin artması ve uzun radyal ağzın oluştuğu,

- δ_0 açısı artarsa talaş açısında artma olur. Bundan dolayı toplam aksenal kuvvet ve toplam moment değerinde önemli oranda azalmalar meydana geldiği,
- Radyal ağız açısı ψ 'de oluşacak artış toplam moment ve toplam aksenal kuvvet değerinde azalma meydana getirdiği,
- Cl_0 açısındaki artış toplam aksenal kuvveti arttırırken, toplam moment değerinde azalma meydana getirdiği,
- μ açısındaki artış radyal ağızdaki talaş açısını azaltır. Bunun sonucunda toplam aksenal kuvvette artış oluşur ve radyal ağızdan dolayı toplam moment değerinde çok az miktarda artma oluştuğu bulunmuştur.

Bu deneysel ve nümerik çalışmalar sonucunda, $\mu=0^\circ$ için düşük kuvvet gereksimi ile radyal ağız ve kesici kenarlarda açık mekanik zayıflıklar olmadan delme işleminde güç artışı oluşur.

Uç geometrisi dört yüzeyli olan bu matkap türü, klasik matkapla karşılaştırıldığında ilginç sonuçlar bulunmuştur. Araştırmalar sonucunda uç geometrisi dört yüzeyli olan bu matkabın oluşturduğu aksenal kuvvet klasik matkabın oluşturduğu aksenal kuvvet değerinden oldukça büyüktür. Yine uç geometrisi dört yüzeyli olan bu matkabın oluşturduğu toplam moment değeri klasik matkabın oluşturduğu toplam moment değerinden 7/15 oranında daha azdır. Aynı zamanda matkap ömrünün klasik matkabın ömründen daha uzun olduğuna dair herhangi bir bulgu yoktur. Bu aydınlamamış konu ileride yapılacak araştırmalarla belirlenebilir.

Uç geometrisi dört serbest yüzeyli olan spiral matkabın geometrisi, özellikleri, bileme yöntemleri ve uygun matkap dizaynı için değişken analizi yapıp, bu analiz sonuçları bilgisayara yüklenmiştir.

Yapılan araştırmada uç geometrisi dört yüzeyli olan bu matkap ve klasik matkap için ortak olan altı özellik kullanıldı. Ayrıca bu özelliklerin yanında belirtilen tip matkap için μ açısının etkisi araştırılmıştır. Bu araştırma sonucunda, μ değeri arttıkça matkabın spesifik özelliklerinin azaldığı bulunmuştur.

Nümerik ve deneysel metotlarla bilgisayar ortamında aksenal kuvvet ve moment tahmini yapılmıştır. Bilgisayar yardımıyla özelliklerin bulunmasına alternatif olarak geometrik ve kesme değişkenlerini içeren basit ampirik eşitlikler bulunmuştur.

Bu tip matkap türü için $\mu=0^\circ$ için uç bileme ve performans faktörleri test edilmiş ve sonuçta $\mu=0^\circ$ için bu tip matkabın en üstün nitelikli dizayn olduğu bulunmuştur. Fakat, klasik matkaba göre uç geometrisi dört yüzeyli matkabın üstünlük değerlerine karşı kuşku mevcuttur.

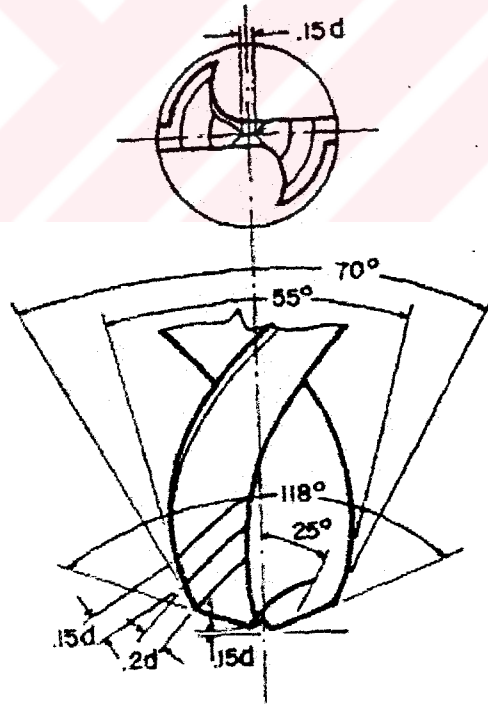
3.2.6 Split Uçlu Matkaplar

Split uçlu matkap endüstride geniş kullanım alanı bulmuştur. Bunun nedeni ise aksenal kuvveti azaltması, pozitif talaş açısına ve talaş kırıcı uca sahip olmasıdır. Delme esnasında oluşan gezinme eğilimini azaltır ve portatif olarak delme işleminin yapılmasını sağlar.

Split uçlu matkapların uç geometrisi komplekstir. Araştırmacılar tarafından çeşitli özelliklere sahip split uçlu matkaplar geliştirilmiştir. Bu bölümde Zhirov ve Oxford tarafından geliştirilen split uçlu matkaplar incelenecektir.

3.2.6.1 Zhirov Split – Uçlu Matkap

V.Zhirov dökme demirin delinmesi için yüksek hız çeliği matkap geliştirilmiştir. Bu matkabın uç geometrisinin her kesme ağzında üç kesici yüz mevcuttur. En kısa ağız 55° açıya sahiptir. Orta ağız 70° açıya, büyük ağız ise standart uç açısı olan 118° açıya sahiptir. Radyal ağız açıklık ve yivle azaltılmıştır. O nedenle ekstrüzyon etkisi kesme işlemiyle değişir. Dökme demirin klasik matkapla delinmesinde bu dizayn $1/3$ ila $1/4$ oranında ilerleme kuvvetini azaltır. Makul matkap ömrü için daha hızlı ilerleme oranlarına izin verir. Bu üstün özellikleri sağlayan matkap Şekil 3.97’de görülmektedir.



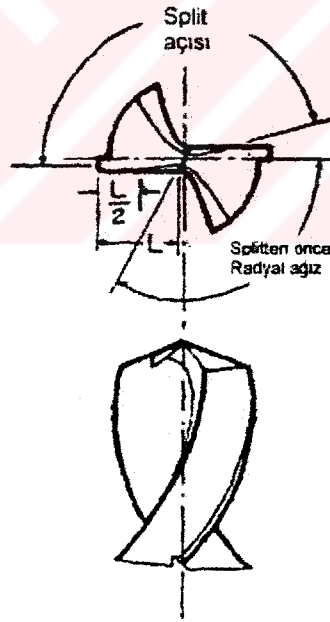
Şekil 3.97 Dökme demir delinmesi için geliştirilmiş Zhirov Split – Uçlu matkap

Zhirov split - uçlu matkap P_y aksenal kuvvetini azaltır. Bundan dolayı daha az biçimsizlik meydana getirir ve daha iyi ölçü hassasiyetine sahip delikler elde edilir.

3.2.6.2 Oxford Split-Uçlu Matkap

Oxford, delme işlemi zor olan alaşımlar için split-uçlu matkap tasarlamıştır. İkinci kesme ağızları kesme ucu olarak meydana getirilmiştir. Zhirov matkabının uç şekline benzer şekilde ikinci kesme ağızları ana kesici kenara doğru yerleştirilmiştir. Sonuç olarak kesişme klasik matkabın orta noktasında meydana gelmektedir. Bu da kesişme yerini daha çok körlemektedir. Temizleme açısının merkez kesme kenarının arkasında olması, matkabın uç açısından daha çok matkap serbest açısına etki eder. Böylece daha düzgün ve takviyeli merkez kesme ağızı elde edilir. Bu ayırım, merkezdeki iki kesme ağızı arasındaki mesafeyi 0.125 mm ile 0.35 mm arasında oluşturur (Şekil 3.98). Orta noktadaki split açısının yeri, birçok iş parçası için deneme yoluyla bulunur.

Bu uç geometriye sahip matkap, küçük çaplı deliklerin delinmesinde, özellikle de otomobil krank milinin derin deliklerinin delinmesi için dizayn edilmiştir. Daha sonra birçok sert ve yumuşak malzeme için kullanılmıştır. Bu tür matkaplarda kesici kenar karşısında ikinci bir kenar ağız oluşturulur. Birçok malzeme için delme işlemi uygulandığında kesici ağızlardaki açılı talaş kırıcı olarak etkir.



Şekil 3.98 Sert alaşımlar için Oxford tarafından geliştirilmiş split-uçlu matkap

3.2.6.3 Split Uçlu Matkabın Matematik Modeli

Split uç geometrisinin çok hassas olması, ince işçilikle uç bilenmesini gerektirir. Bu haklı neden split uç geometrisi ve hassas bileme işlemi için matematik modelin gereksimini ortaya

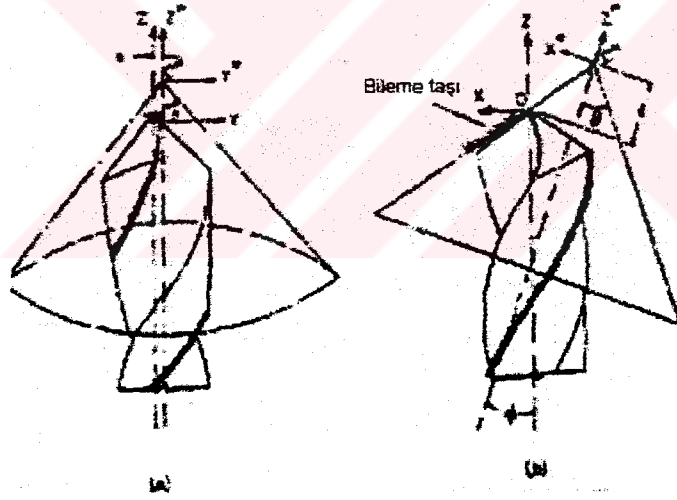
koyar. Bu çalışmada matkap uç bilenmesi için gerekli split uç serbest yüzeyinin matematik modeli çıkartılmıştır.

Split uçlu matkapların doğru ve tutarlı üretimi için matematik modeli hazırlanmıştır. Konik serbest yüzey, modelin ana (birincil) serbest yüzeyini teşkil eder. Bağımsız olarak ikincil serbest yüzeyin modeli de türetilmiştir. Bu modeller sayesinde uygun bileme parametreleri ve bileme taşı pozisyonu belirlenir.

Ana serbest yüzey modeli:

Serbest yüzey geometrisi için tanımlanan temel yaklaşımlar Gallaway ve Tsai tarafından araştırılmıştır. Konik serbest yüzey Şekil 3.99'da görüldüğü gibi bileme taşı yüzey açısıyla yönlendirilmiştir. Dört bileme parametresi vardır. Bunlar:

- Yarım uç açısı θ
- Matkap eksenini ile konik eksen (cone axes) arasındaki açı ϕ
- Konik eksen boyunca, konik apsisi ve matkap arasındaki uzaklık, d
- Matkap ile konik eksen arasındaki eğrisel uzaklık, s



Şekil 3.99 Klasik matkap serbest yüzeyi için konik model (Radhakrishnan vd., 1983)

Yine bu dört parametreye bağlı dört dizayn parametresi mevcuttur. Bunlar Şekil 3.100'de gösterilmiştir.

- Radyal ağız açısı ξ
- Uç açısı $2p$
- Herhangi bir spesifik noktanın boşluk açısı, α
- Öz kalınlığı, $2t$

Konik serbest yüzey şu koordinat dönüşümleriyle oluşturulur (Tsai ve Wu):

$$Pz^2 + Qz + R = 0 \quad (3.47)$$

Burada;

$$P = \sin^2 \phi - \cos^2 \phi \cdot \tan^2 \theta \quad (3.47a)$$

$$Q = x \sin 2\phi (1 + \tan^2 \theta) + 2\sqrt{d^2 \tan^2 \theta - s^2} \cdot \sin \phi + 2d \cos \phi \cdot \tan^2 \theta \quad (3.47b)$$

$$R = x^2 (\cos^2 \phi - \sin^2 \phi \cdot \tan^2 \theta) + y^2 - ys + 2\sqrt{d^2 \tan^2 \theta - s^2} \cdot x \cos \phi - 2xd \sin \phi \cdot \tan^2 \theta \quad (3.47c)$$

Bu değerler s değeri çok küçükken ($\cong t$, en küçük) geçerli olur. Burada kesici kenar konik eksene paralel varsayılır. Önemli olan kesici ağzın biçimi ve boşluk açısının değeri olup, bu parametreler eğrisel uzunluk s'e bağlıdır. Büyük s değerleri için, elde edilen modelin değiştirilmesi uygundur.

Konik yüzeyin birincil yüzey için oluşturulması:

Bileme koniği (grinding cone) ile ilgili olarak matkabın yönlendirilmesi X^* , Y^* , Z^* konik eksenlerle yapılır (bu eksen matkap uç bilenmesiyle ilgili olup sabittir). Konik yüzey kesici kenarın mevkisinden türetilir. $\bar{X}, \bar{Y}, \bar{Z}$ eksenleriyle X^* ekseninde bulunan kesici kenar yönlendirilir. Burada eğrisel uzaklık minimum olup öz kalınlığının yarısıdır.

Eğer matkap $-Y^*$ ekseninde eğrisel uzaklık s yönünde hareket ettirilse, X, Y, Z eksenleri elde edilir. Bu yeni pozisyondan matkabın Z ekseninin γ açısı değerinde döndürülmesi halinde düz kesici ağız elde edileceği bulunmuştur. X^*, Y^*, Z^* ekseninde γ açısının görüntüsü γ' olarak değişir. X (veya \bar{X}) eksenini, her zaman düz kesici ağza ve Z (veya \bar{Z}) eksenine paraleldir. Orjin O (veya \bar{O}) radyal ağzın merkezinin üstünde olup matkap eksenini ile koniğin kesişim noktasındadır. O^* koniğin apsis noktasındadır.

O ve Z^* eksenlerinin dik uzaklığı

$$O_1^*O = d \cdot \tan \theta$$

Yine, $\sin(\gamma' + \beta) = s / O_1^*O = s / (d / \tan \theta)$ ve $\sin \beta = t / (d \cdot \tan \theta)$ eşitliği belirlenir. Burada t öz kalınlığının yarısıdır. Buradan,

$$\gamma' = (\gamma' + \beta) - \beta = \sin^{-1}\left(\frac{s}{d \tan \theta}\right) - \sin^{-1}\left(\frac{t}{d \tan \theta}\right) \quad (3.48)$$

γ açısı şu şekilde belirtilir:

$$\gamma = \tan^{-1}(\cos \phi \cdot \tan \gamma') \quad (3.48a)$$

X*Y*Z* koordinat sisteminde konik yüzey eşitliği:

$$x^{\bullet 2} + y^{\bullet 2} - z^{\bullet 2} \tan^2 \theta = 0 \quad (3.49)$$

Eğer x_0^{\bullet} , y_0^{\bullet} , z_0^{\bullet} , O noktasının koordinatları ise, o zaman

$$\begin{aligned} y_0^{\bullet} &= -s \\ z_0^{\bullet} &= d \\ x_0^{\bullet} &= \sqrt{d^2 \tan^2 \theta - s^2} \end{aligned} \quad (3.50)$$

Eğer XYZ koordinat sistemi X*Y*Z* koordinat sistemine dönüştürülse, dönüşüm şu şekilde oluşur;

$$\begin{bmatrix} X^{\bullet} \\ Y^{\bullet} \\ Z^{\bullet} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \gamma & \sin \gamma & 0 \\ -\sin \gamma & \cos \gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \cos \phi & 0 & \sin \phi \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \phi & 0 & \cos \phi \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \sqrt{d^2 \tan^2 \theta - s^2} \\ -s \\ -d \end{bmatrix} \quad (3.51)$$

Eşitlik (3.5) eşitlik (3.3)'e uygulanırsa

$$Pz^2 + Qz + R = 0 \quad (3.52)$$

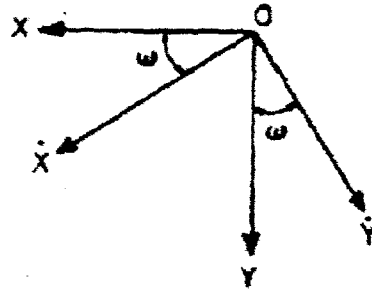
Burada;

$$P = \sin^2 \phi - \cos^2 \phi \cdot \tan^2 \theta \quad (3.52a)$$

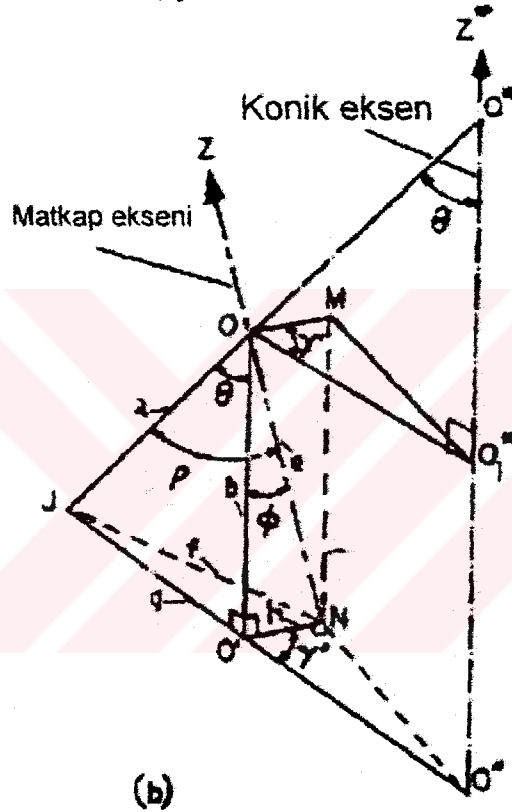
$$Q = x \sin 2\phi(1 + \tan 2\theta) + 2\left[\sqrt{d^2 \tan^2 \theta - s^2} \cdot \cos \gamma \cdot \sin \phi + s \sin \gamma \cdot \sin \phi + d \cos \phi \cdot \tan^2 \theta\right] \quad (3.52b)$$

$$\begin{aligned} R = & x^2(\cos^2 \phi - \sin^2 \phi \cdot \tan^2 \theta) + y^2 + 2d^2 \tan^2 \theta - s^2(x \cos \gamma \cdot \cos \phi + y \sin \gamma) + \\ & 2s(x \sin \gamma \cdot \cos \phi - y \cos \gamma) - 2xd \sin \phi \cdot \tan^2 \theta \end{aligned} \quad (3.52c)$$

Birincil yüzey için belirtilen yeni matematik model dört bileme parametresi θ , ϕ , d , s ve bir de γ değerine bağlıdır.



(a)



(b)

Şekil 3.100 Konik modele çevirme detayları (Radhakrishnan vd., 1983)

Eşitlik (3.52b,c) eşitlik (3.47b,c) ile karşılaştırılırsa, eşitlik (3.52b,c)'nin ek faktörler içerdiği görülür ($\sin \gamma$, $\cos \gamma$ v.b.). Eğer γ değeri 0° olursa eşitlik (3.52b,c) eşitlik (3.47b,c)'ye dönüşür.

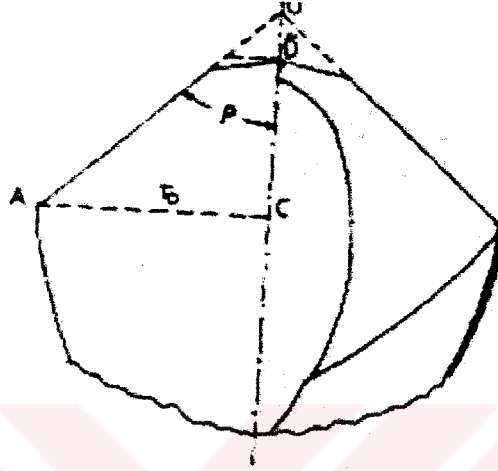
Eğer kesici kenar doğru şeklinde değilse X ve Y eksenlerinin belirlenmesi zorlaşır.

Bu nedenle, X ve Y eksenlerinden ω açısı kadar sapma alınarak X' ve Y' eksenleri oluşturulur.

Burada dönüşüm şu şekilde oluşturulur:

$$\begin{aligned}
 \dot{z} &= \dot{z} \\
 \dot{x} &= \dot{x} \cos \omega - \dot{y} \sin \omega \\
 \dot{y} &= \dot{x} \sin \omega + \dot{y} \cos \omega
 \end{aligned}
 \tag{3.53}$$

Gerçek x ve y değerleri indirgenerek eşitlik (3.52)'deki \dot{x} vey \dot{y} koordinatları ölçülür, ek parametre olarak ω açısı tahmin edilerek model oluşturulur.



O: Teorik orjin
 Ō: Gerçek orjin

Şekil 3.101 Matkap ucunun teorik ve gerçek orijini (Radhakrishman vd., 1983)

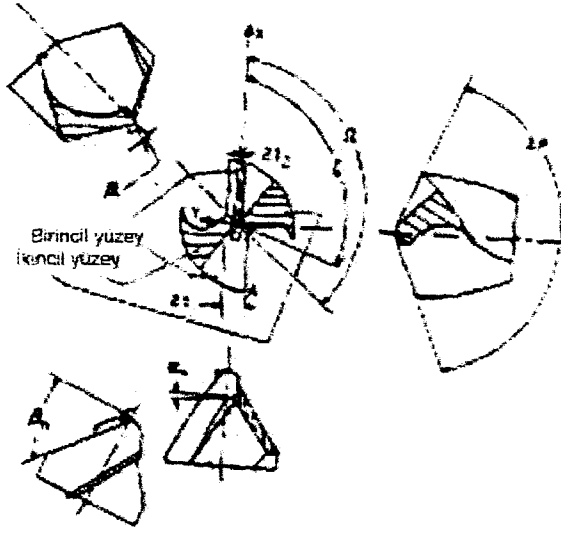
Şekil 3.101'de görüldüğü gibi orijin olan O noktası, kesici kenarlarla matkap eksenini kesişim noktasındadır. Fakat pratikte orijin noktası matkap ucunun pik noktası olarak alınır. Bu orijin ise \bar{O} 'dur. $\bar{O}C$ uzaklığı ile $O\bar{O}$ uzaklığı ölçülmesinde ise $O\bar{C} = (r_o / \tan \rho) - O\bar{O}$ formülü kullanılır. Burada r_o = matkap radyusu, ρ ise uç açısının yarısıdır.

Matematik modelle oluşturulan birincil yüzey bileme parametreleri:

Split uç geometrisi elde edilebilmesi için birincil ve ikincil serbest yüzeyler öncelikle oluşturulmalıdır. Birincil serbest yüzeyde kullanılan konik modelin oluşturulması eşitlik (3.52)'de belirtilmiştir.

Birincil serbest yüzeyin oluşturulabilmesi için gerekli bileme parametreleri uç açısı, radyal ağız açısı, boşluk açısı ve öz kalınlığıdır (split uçtan önce). Belirtilen yüzey modelinin bu dört parametre ve bileme parametreleriyle oluşturulması gerekir.

Uç açısı için; Şekil 3.100b'de görülen matkap şekli kullanılır, burada üçgenlerin özelliğinden yararlanılarak;



Şekil 3.102 Split uçlu matkabın geometrisi (Radhakrishnan vd., 1983)

$$f^2 = a^2 + e^2 - 2ae \cos \rho, \text{ OJN üçgeninden} \quad (3.54a)$$

$$f^2 = g^2 + h^2 - 2gh \cos(\pi - \gamma'), \text{ O'JN üçgeninden} \quad (3.54b)$$

eşitlik (3.54a) ve (3.54b) indirgenirse

$$a = b / \cos \theta$$

$$e = b / \cos \phi$$

$$g = b \tan \theta$$

$$h = b \tan \phi$$

Sonuçta;

$$\cos \rho = \cos \theta \cdot \cos \phi - \sin \theta \cdot \sin \phi \cdot \cos \gamma' \quad \text{veya}$$

$$\rho = \cos^{-1}(\cos \theta \cdot \cos \phi - \sin \theta \cdot \sin \phi \cdot \cos \gamma') \text{ elde edilir.} \quad (3.54)$$

Burada ρ bulunmak istenen uç açısının yarısıdır.

Radyal ağız açısının ζ belirlenme yöntemi ise (Tsai, W.D.) tarafından belirtilmiştir.

$$\zeta = \pi - \tan^{-1} \left\langle \frac{dy}{dx} \Big|_{x=\text{sabit}} \right\rangle_{x=y=z=0}$$

(3.52)'de bulunan eşitlik x 'e bağlı olarak değiştirilip indirgenme yapılırsa

$$\zeta = \pi - \tan^{-1} \left[\frac{C_Y}{C_D} \right] \quad (3.55)$$

burada;

$$C_Y = s \sin \gamma \cdot \cos \phi - d \sin \phi \cdot \tan^2 \theta + \sqrt{d^2 \tan^2 \theta - s^2} \cdot \cos \gamma \cdot \cos \phi$$

$$C_D = s \cos \gamma - \sqrt{d^2 \tan^2 \theta - s^2} \cdot \sin \gamma$$

kesici ağzın en dış noktasındaki nominal boşluk açısı α_0 serbest yüzeyle ilgili eşitlik şeklinde Şekil 3.102'de gösterilmiştir. Buradan;

$$\alpha_0 = \tan^{-1}(dz/dy) \quad (3.56a)$$

$$x = \sqrt{r_0^2 - t^2}$$

$$y = t$$

$$z = -r_0 / \tan \rho$$

Bu değerler eşitlik (3.52)'ye indirgenirse, sonuçta;

$$\alpha_0 = \tan^{-1} \left[\frac{-2(y + \sqrt{d^2 \tan^2 \theta - s^2} \cdot \sin \gamma - s \cos \gamma)}{2zP + Q} \right] \quad (3.56)$$

$$x = \sqrt{r_0^2 - t^2}$$

$$y = t$$

$$z = -r_0 / \tan \rho$$

buradaki P, Q eşitlik (3.52a,b)'de, γ ise eşitlik (3.48)'de belirtilmiştir. Bazen boşluk açısı α_0' OA matkap radiusuna dik yüzeyde ölçülür ve matkap eksenine paraleldir. Şu şekilde belirtilebilir;

$$\alpha_0' = \tan^{-1}(\tan \alpha_0 / \cos \psi)$$

burada $\psi = \tan^{-1}(t/r_0)$ ve α_0 eşitlik (3.56)'da verilmiştir.

Öz kalınlığı boşluk açısının negatif olduğu durumda, eğrisel uzunluğun minimum değeri, öz kalınlığının yarısıdır. Bu da,

$$s \geq t \quad \text{demektir.} \quad (3.57)$$

Eşitlikler (3.54)-(3.57) dizayn ve bileme parametrelerini tahmin etmektedir. Bunun için, radyal ağız açısı ζ ve nominal boşluk açısı α_0 bilinmelidir. Eşitlikler (3.55) ve (3.56) ile küçük kareler yöntemi kullanılarak bilinmeyen parametreler ϕ, θ, d, s tahmin edilir.

Dizayn parametresiyle bileme parametreleri arasındaki ilişkisi eşitlik (3.47)'de belirtilen basitleştirilmiş modelle sağlanır. Bu ilişki eşitlik (3.54)-(3.56) arasında değişiktir. Bunun sebebi ise ek faktör olan γ 'dir.

İkincil serbest yüzeyin modellenmesi:

Split uçlu matkap üretilmesinde birincil serbest yüzeyden sonra ikincil serbest yüzeyin imalı yapılır. Bu işlem için Şekil 3.52'de split uç parametreleri olarak tanımlanmış şu parametreler mevcuttur. Bunlar:

split açısı Ω

çentik talaş açısı (notch rake angle) β_r

çentik açısı β_n

İkincil serbest yüzeyin modellenmesi, bu yüzeyin düzlemin bir parçası olarak düşünülmesiyle yapılabilir. İkincil yüzey işlem sırası şu aşamalardan oluşur:

(i) Referans pozisyonuna göre matkap ilk önce ω_1 açısı ile döndürülür. Bu yönlendirme bileme taşı kenar yüzeyinde ikincil kesici kenar boyunca olur. Burada;

$$\omega_s = \Omega - 90^\circ \quad (3.58)$$

(ii) Sonra bileme taşı yüzeyi çentik talaş açısını oluşturur. Matkap ϕ yönünde, ϕ açısına göre şu şekilde döndürülür;

$$\Omega_s = 90^\circ - \beta_r \quad (3.59)$$

(iii) Bileme taşı yüzeyi OK pozisyonundan, \overline{OP}' uzunluğunun izdüşümü olacak şekilde $z_s = \overline{OP}$ kadar ötelenir. Bu öteleme işlemi $-Z^*$ yönünde yapılır.

$$z_s = OP' \cos \beta_r \quad (3.60)$$

burada,

$$OP' = \frac{t_2 \sin(\Omega - \zeta)}{\sin \zeta}$$

Burada t_2 = split uçtan sonraki öz kalınlığıdır ve ζ = radyal ağız açısıdır.

(iv) Konik eksenin Δ_s açısıyla döndürülmesi dördüncü aşamada gerçekleşir, bu sayede bileme taşının silindirik kenar yüzeyi ikincil serbest yüzeye teğet olur. Bunun sonucunda çentik açısı β_n oluşur.

$$\cos \Delta_s = \cos \beta_n / \cos \beta_\gamma$$

sonuçta,

$$\Delta_s = \cos^{-1}(\cos \beta_n / \cos \beta_\gamma) \quad (3.61)$$

(v) Birinci aşamadan önce X^* yönünde bazı öncelikli yer değiştirmeler verilmelidir. Bu sayede matkap yönünün ayarlamasına yan etki oluşmaz. Dördüncü aşamadan sonra bileme taşı matkaba doğru $o-x_s$ boyunda ilerletilmeli ve ikincil serbest yüzey oluşturulmalıdır.

Burada $x_s = \overline{OO'}$ şu şekilde bulunur:

$$x_s = \overline{OO'} \sin \Delta_s \quad (3.62)$$

burada;

$$\overline{OO'} = \frac{t_2 \cos(\Omega - \zeta)}{\sin \zeta} \text{ olarak belirlenir.}$$

Eşitlikler (58) – (62) split uç için bileme parametrelerini vermektedir, bu sayede matkap uç geometrisi daha iyi ve doğru şekilde bilenebilmektedir.

3.2.6.3.1 Matematik Modelle Belirlenen Örnek Yüzey ve Bileme Parametreleri

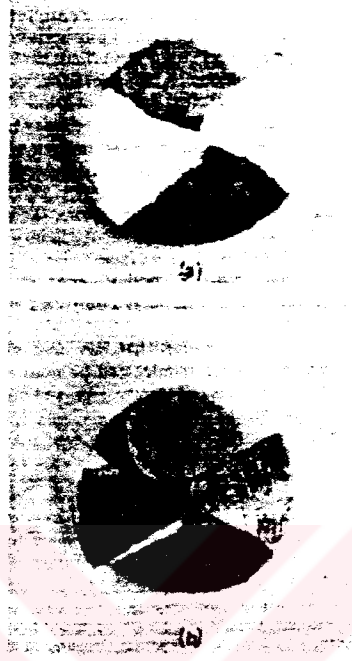
Matematik model kullanılarak bazı split uçlu matkaplar oluşturulmuştur. Bu oluşturulan matkap yüzeyleri bilgisayar kontrollü matkap uç bileme makineleri ile oluşturulmaktadır. Birincil yüzey geniş, açık renkli ve önce oluşturulan yüzeydir. Daha küçük ve koyu renkle belirtilen bölge ikincil yüzeyi belirtmektedir. Şekil 3.103a'da görülen 7.94 mm çaplı matkap için dizayn parametreleri aşağıda belirtilmiştir.

Birincil serbest yüzey için:

$t_1 = 0.74 \text{ mm}$, $\rho = 59.5^\circ$, $\zeta = 110^\circ$ (boşluk açısı ihmal edilmiştir)

İkincil serbest yüzey için:

$t_2 = 0.08 \text{ mm}$, $\Omega = 130^\circ$, $\beta_\gamma = 90^\circ$, $\beta_n = 57^\circ$



Şekil 3.103 Örnek split uç yüzeyi (Radhakrishnan vd., 1983)

Aşağıda belirtilen bileme parametreleri eşitlik (3.52)'de (birincil yüzey için) verilen konik modelden alınmıştır. İkincil serbest yüzey için eşitlik (3.58) – (3.62)'de belirtilen model alınmıştır.

Birincil serbest yüzey için:

$\theta = 30^\circ$, $\phi = 30^\circ$, $d = 7.09 \text{ mm}$, $s = 1.27 \text{ mm}$, $\gamma = 6.7^\circ$

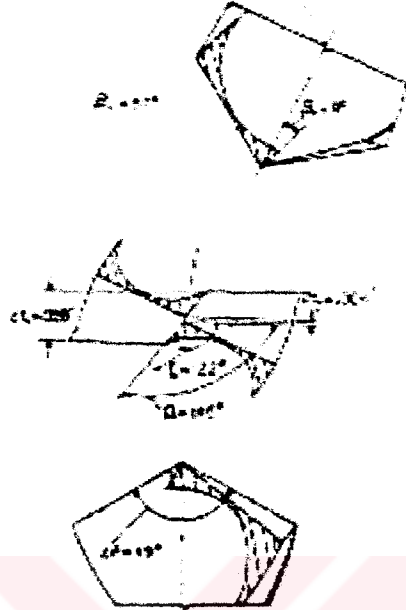
İkincil serbest yüzey için:

$\omega_s = 40^\circ$, $\phi_s = 81^\circ$, $\Delta_s = 56.6^\circ$, $Z_s = 0.03 \text{ mm}$

Şekil 3.103b'de ikinci örnek görülmektedir. t_2 'nin değeri 0.075 mm'den 0.05 mm'ye değişmiştir. Yine buna bağlı olarak x_s ve z_s parametreleri $x_s = 0.04 \text{ mm}$ ve $z_s = 0.02 \text{ mm}$ olarak değişmiştir.

Şekil 3.103a ve 3.103b'de görülen örnek uç geometrilerinin farkı, t_2 değerinin değişiminden kaynaklanır. Şekil 3.103b'deki matkap ucunun (t_2 değeri düşük olduğundan) ikincil serbest yüzey alanı daha büyüktür. Yine Şekil 3.103b ve Şekil 3.104'de görülen matkaplar ζ ve Ω açıları hariç birçok benzerlik içerirler.

Şekil 3.104'de görülen split uç geometrisi, uçak sanayiinde alüminyumun delinmesi için kullanılmaktadır. Split uçta ince öz kalınlığı mevcut olup, ikincil kesici kenarın uç geometrisi yeterli hassasiyeti göstermesi gerekir. Bu yüzden dizayn için matematik model gereklidir.



Şekil 3.104 Ölçülen Split uç geometrisi (Radhakrishnan vd., 1983)

Birincil serbest yüzey için yüz nokta ölçülmüştür. Lineer olmayan, küçük kareler metoduyla konik model yüzey datası için uygun hale getirilerek bileme parametreleri oluşturulmuştur. İkincil serbest yüzey için, split geometrilerin (Şekil 3.104) mikroskop ve eşitlik (3.58) – (3.62)'de belirtilen formüller kullanılarak bileme parametreleri bulunmuştur. Bulunan değerler şunlardır:

Birincil serbest yüzey için:

$$\theta = 31.2^{\circ}, \phi = 31.2^{\circ}, d = 3.84 \text{ mm}, s = 1.73 \text{ mm}, \gamma = 25.9^{\circ}$$

İkincil serbest yüzey için:

$$\omega_s = 55^{\circ}, \phi_s = 81^{\circ}, \Delta_s = 56.6^{\circ}, Z_s = 0.03 \text{ mm}$$

Matematik modelleme yönteminin uygulama safhaları ve sağladığı yararlar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır:

- Split uçlu matkabın uç konfigürasyonu iki aşamada yapılır. Birincisi iki serbest yüzeyin tasarlanması, ikincisi ise bu serbest yüzeylerin bileme parametrelerinin bilgisayar kontrollü matkap uç bileme makinesi ile oluşturulmasıdır.

- Birincil serbest yüzeyin daha hassas şekilde bilenmesi için, mevcut modelden konik model geliştirilmiştir (bu model ek parametre olarak γ açısını içermektedir).
- İkincil serbest yüzeyin bilenmesi için yeni bileme parametreleri serbest yüzeyin çizim modeli yapılarak oluşturulmuştur.
- Matematik model kullanılarak oluşturulan split uç geometrili matkabın bilgisayar kontrollü bileme makinesiyle bilenmesinde iyi sonuçlar elde edilmiştir.
- Matkabın geometrisi ölçülüp basit uç bilemesi kullanılarak matematik modellemeyle split uç konfigürasyonu oluşturulabilir.
- Verilen çalışma koşulları için sistematik ve bilimsel araştırmalarda matematik model yardımıyla split uç geometrili matkabın optimum uç geometrisi belirlenebilir.

3.2.7 Üç Kesici Ağza Sahip Spiral Matkaplar

Spiral matkap çok kullanılan ve delik delme işlemleri için pratik bir kesici takımdır. Matkabın kesme performansını yükseltmek için geçmişte birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarda helisel uçlu matkap, split uçlu matkap, yassı matkap ve çok ağızlı matkaplar gibi değişik tiplerde matkaplar geliştirilmiştir. Bu matkap türleri klasik iki ağızlı ve iki talaş kanallı matkaplar gibi deneylere tabi tutulmuştur.

Spiral matkaplar daha çok tek başlıklı matkap tezgahlarında kullanılırlar. Son zamanlarda yüzey tabakası, matkap geometrisi, kesme kuvveti ve takım ömrü hakkında yapılan araştırmalar delme işleminde performans gelişimi sağlamıştır. Bu deneylerde kullanılan matkaplar genel olarak iki kesme ağızlıydı. Sıradan iki kesme ağızlı matkaba bundan sonra klasik matkap denilecektir.

Son yıllarda yapılan araştırmalar sonucunda vibrasyon azaltıcı etkisi olan, daha hassas delik geometrisi sağlayan ve takım ömrü uzun olan üç kesici ağza sahip matkaplar geliştirilmiştir. Geliştirilen bu matkaplar sert metal malzemeli ve yüksek hız çelik malzemeli olarak sınıflandırılabilir.

3.2.7.1 Üç Kesici Ağza Sahip HSS Spiral Matkap

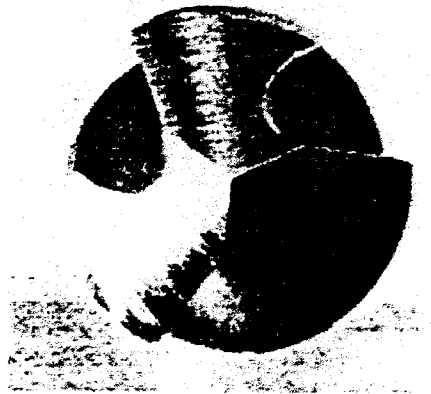
Klasik matkap kullanıldığında delik girişinde girdaplı vibrasyondan dolayı daire şekinden sapmalar gözlenir. Bu tür vibrasyonlar takım ömrünün ve deliğin hassasiyetinin artırılması için büyük bir engeldir. Bu girdaplı vibrasyonu engellemek ve kesme performansını arttırmak için araştırmacılar tarafından üç kesme ağızlı ve üç talaş kanallı matkaplar dizayn edilmiştir.

Bu matkabın verimli olması demek deliği yüksek hassasiyette ve pürüzsüz işlemesi demektir. Son zamanlarda matkap malzemeleri hakkındaki araştırmalar yüzey tabakası, matkap geometrisi, kesme kuvveti ve takım ömrünü içermektedir. Bu araştırmalar matkap kesme performansında artışlar meydana getirmiştir. Bu deneylerde kullanılan matkapların hepsi iki kesme ağızlı sıradan matkaplardı. Araştırmacılar yeni tip matkabın uç geometrisi hesapladılar. Aynı zamanda matkabın kesme kuvvetleri, delik hassasiyetleri ve takım titreşimleri bakımından kesme karakteristiğini test ettiler. Test sonuçları göstermiştir ki, üç kesici ağıza sahip HSS matkap kullanıldığında kesme vibrasyonları sıradan iki kesme ağızlı matkap kullanımına göre daha azdır. Sonuçta elde delinen delik daha düzgün şekle sahiptir.

Şekil 3.105’de üç kesici ağıza sahip HSS matkabın, matkap eksenine dik düzlemde kesit görünüşü görülmektedir. Üç tane kesici ağız matkap eksenine 120° simetrik açıyla yerleştirilmiştir. Bu tip matkap düz kesme ağızına sahip olup konik taşlamayla üretilmiştir.



Şekil 3.105 Üç kesici ağıza sahip HSS matkabın kesit görünüşü (Kato vd., 1998)



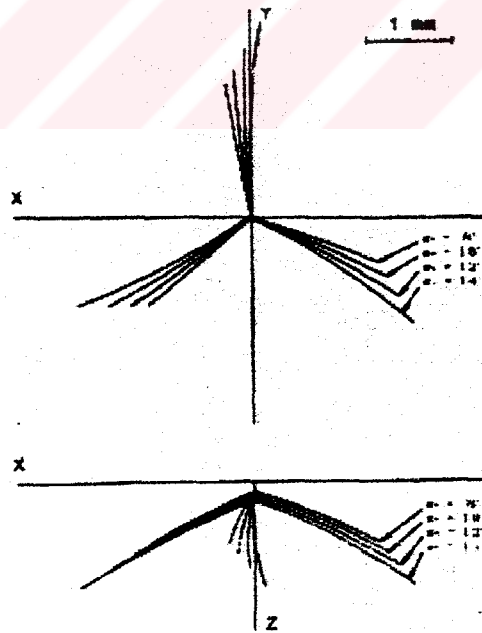
Şekil 3.106 Üç kesici ağıza sahip HSS matkabın üstten görünüşü (Kato vd., 1998)

Şekil 3.106’da uç kısmı görülen üç kesici ağıza sahip HSS matkap sadece konik taşlamayla sivrileştirilmiş, radyal ağız için inceltme işlemi uygulanmamıştır. Şekilden de görüldüğü gibi üç kesme ağızı, üç radyal ağız matkap eksenine simetrik pozisyonda 120° açıyla

yerleştirilmiştir. Matkap ucu üç radyal ağzın kesişim noktasında olup matkap eksenindedir. Matkap yan yüzeyleri matkap uç açısı, dış uçtaki nominal serbest açı ve bileme konikliğinin karakteristiğine göre belirlenir. Bileme konisi karakteristiği, koni yarım açısı ve taşlama konisi ile matkap arasındaki relatif konumdan oluşur.

Önce bileme konikliği karakteristiği belirlenmelidir. Matkap yan yüzeyi taşlama koniği yüzeyinin parçasıdır. Bu yüzden üç kesici ağza sahip HSS matkapla klasik matkabın şartları aynı olursa iki matkabın da yan yüzeyleri aynı şekilde olur. Çünkü matkabın üç yan yüzeyi vardır. Üç kesici ağza sahip HSS matkabın radyal ağzları matkap uç açısı, nominal serbest açı ve taşlama koniğinin karakteristiğiyle belirtilir. Üç kesici ağzılı matkabın ölçüleri ve radyal ağzının şekli bilinmediği zamanlarda Fujii tarafından klasik matkap için ölçü, yan yüzey şekli ve radyal ağz analizi yapılmıştır. Bu çalışmadan yararlanılarak yeni tip matkapta radyal ağzların geometrik konfigürasyonları, konik taşlama şeklinde 2 mm çekirdek kalınlığı ve 32° helis açısı için bulunmuştur.

Bir başka araştırmada uç açısı K her zaman 59° ve nominal serbest açı α_0 değişken alınarak radyal ağzların geometrik konfigürasyonları Şekil 3.107’te örneklendirilmiştir. Diğer taşlama koşullarında sabit değerlerle hesaplama yapılmıştır, konik yarım açısı için 50° ve koni tepesinin X koordinatı için 5mm alınmıştır.

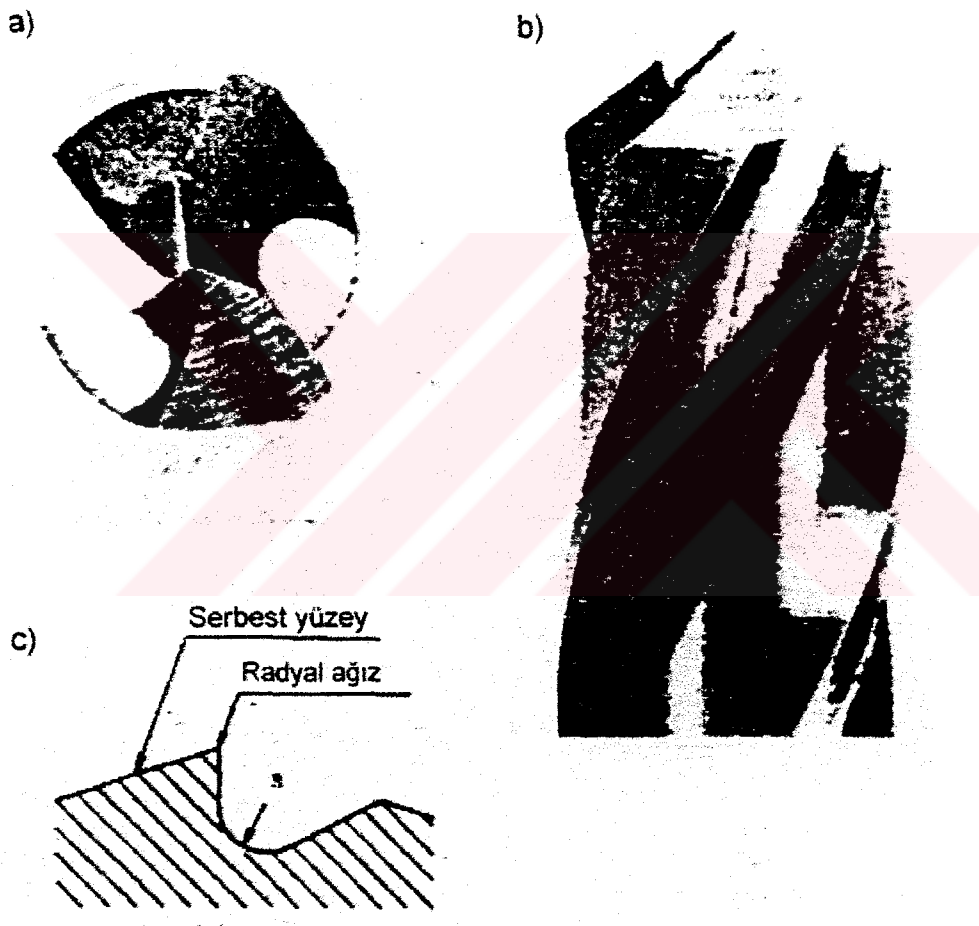


Şekil 3.107 Üç kesici ağza sahip HSS matkap radyal ağz konfigürasyonu (Kato vd., 1998)

Z eksenini iki figürü içermektedir. Ana kesici kenar Z eksenine dik durumda, matkap eksenine ve X eksenine paralel durumdadır. Şeklin yan ve üst görünüşünde görüldüğü gibi radyal

ağızlar kompleks eğrilerdir. Şekil 3.107'de en büyük serbest açı α_0 , en uzun radyal ağız oluşmakta ve en büyük eğrilik meydana gelmektedir.

Şekil 3.108a'da deneylerde kullanılan üç kesici ağza sahip HSS matkabin üstten görünüşü, Şekil 3.108b'de yandan görünüşü görülmektedir. Şekillerde gösterilen radyal ağızlar özel bileme yöntemiyle inceltiştir, çünkü radyal ağızlar sadece konik bilemeyle sivriltilmekte (Şekil 3.106) ve talaş açısı negatif kabul edilmektedir. Şekil 3.108c'de radyal ağza dik konumda radyal ağzın kesidi gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi inceltiştir radyal ağzın talaş açısı 0° 'dir. Şekilde R radyusu 1 mm civarındadır. Deneyde kullanılan matkabin malzemesi yüksek hız çeliği olup 10 mm çapındadır. Uç açısı 57° , dış serbest açısı 10° 'dir.

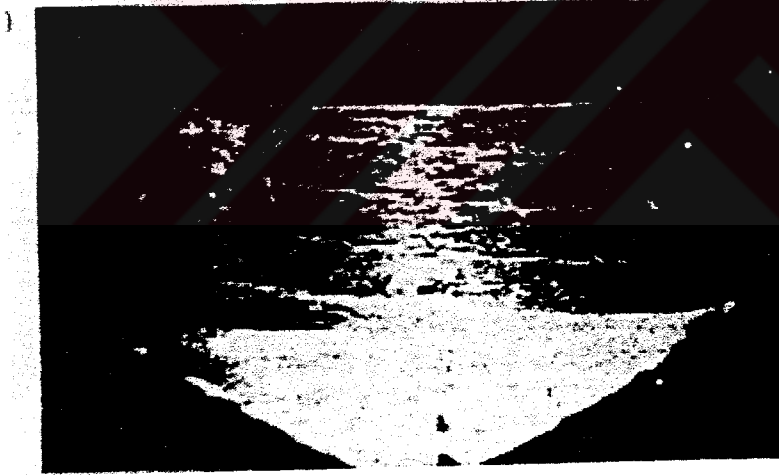
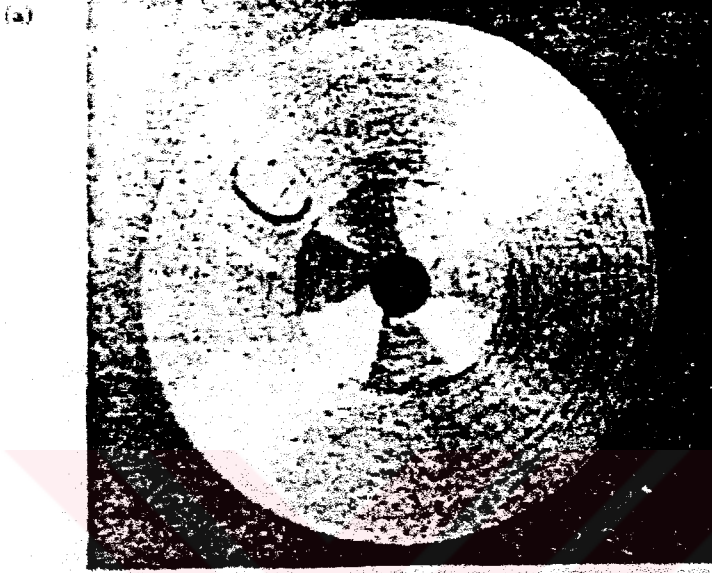


Şekil 3.108 Üç kesici ağza sahip HSS matkap a) Üstten görünüş. b) Yandan görünüş. c) Radyal ağzın inceltilmesi (Kato vd., 1998)

3.2.7.1.1 Üç Kesici Ağza Sahip HSS Matkap İçin Yapılan Çalışmalar

Klasik matkap kullanıldığında Şekil 3.109a'da görüldüğü gibi iş parçası yüzeyinde delik biçiminden sapmalara ve bozulmalara rastlanır. Çokgen kenarı gibi yiv izlerine (Şekil 3.109a) işlenmiş deliğin yan tarafında da rastlanır (Şekil 3.109b). Bozulmuş yuvarlak şeklin bu

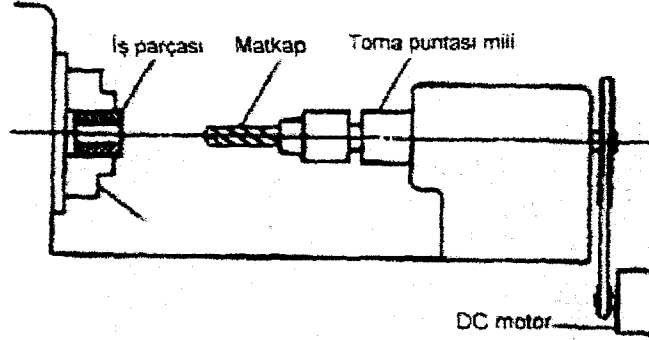
bozuklukları delme işlemi esnasında matkabın vibrasyonundan meydana gelir. Bu vibrasyonlar bir çeşit yeniden oluşabilen vibrasyondur. Bununla birlikte bunlara karşı önlem alınamamıştır. Matkapla delme işleminde meydana gelen vibrasyon bir olgudur. BTA kesici takımın kesiminde de gözlenir. Girdaplı ve chatter vibrasyonlar delme işleminin hızını, takım ömrünü ve deliğin hassasiyetini olumsuz yönde etkiler.



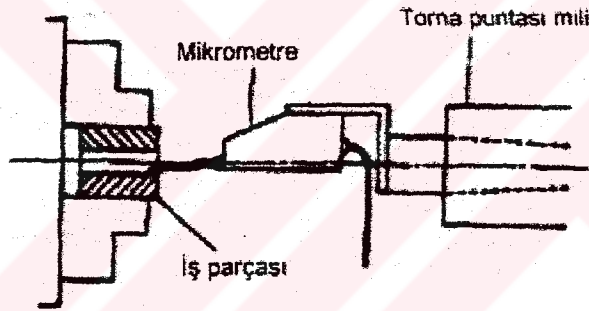
Şekil 3.109 a) Dairesel delik bozukluğu ve b) Yiv izleri (Kato vd., 1998)

Yeni çalışmalarda araştırmacılar (Kato vd., 1998) yeni tip bir matkap ortaya koymuştur ve bunu hızlı, verimli çalışmanın bir özelliği olarak tanımlamışlardır. Yeni tip matkabın üç kesme ağzı, üç radyal ağzı ve üç talaş kanalı vardır. Bu tip matkap, deliğin yüksek hassasiyette imali için geliştirilmiştir. Araştırmacılar matkabın uç geometrisini hesaplayıp aynı zamanda kesme gücü, delik hassasiyeti ve takım vibrasyonu ile ilgili karakteristikleri test etmişlerdir.

Şekil 3.110'da deney aparatı görülmektedir. Bu aparat torna tezgahından geliştirilmiştir. Torna puntası mili hızı değişebilen DC motorla kontrol ve hareket ettirilmektedir. Bu yüzden iş parçasına arzu edilen ilerlemeyle delme işlemi yapılmıştır. İş parçasının çapı ve boyu 25mm'dir. Şekil 3.111'de ise deney sırasında delik profilinin ölçüm yöntemi görülmektedir. Ölçüm elektrik mikrometreyle yapılmıştır.



Şekil 3.110 Deney aparatı (Kato vd., 1998)

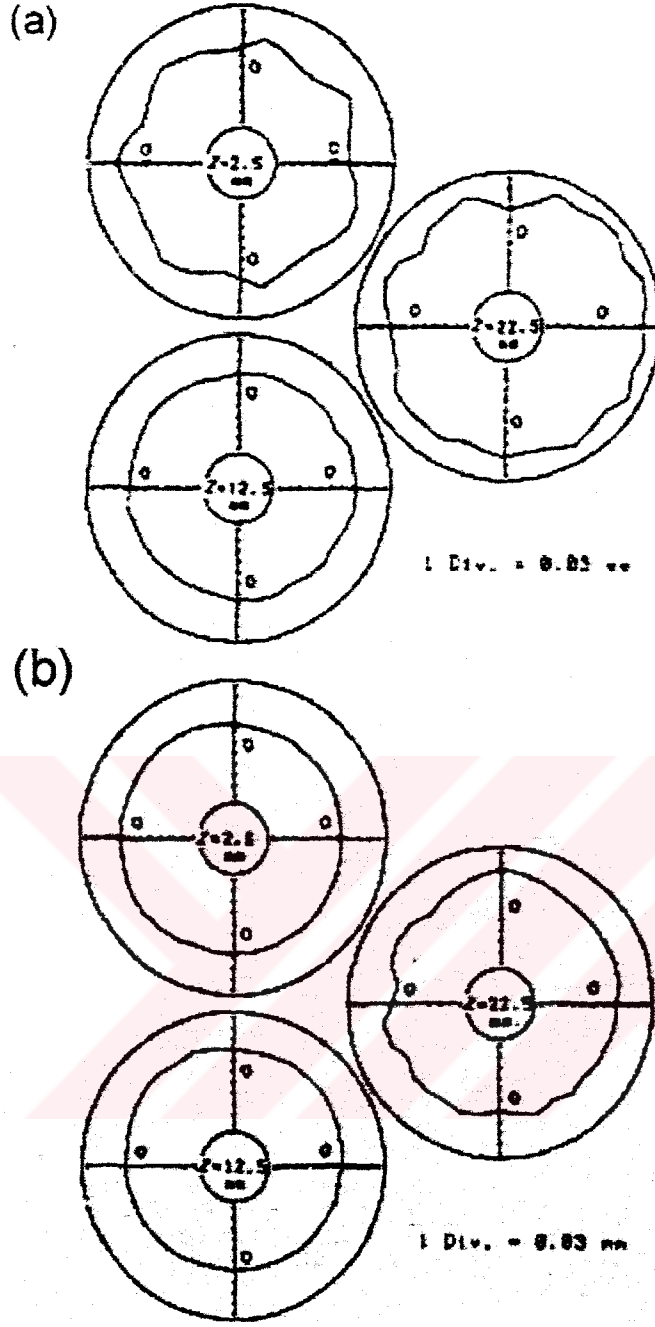


Şekil 3.111 Delik profili ölçüm metodu (Kato vd., 1998)

Bu deney iki ayrı iş parçası konumunda yapılmıştır. Birincisinde iş parçasına küçük bir delik (çapı 1,5mm, derinliği 1mm) açılmıştır. Diğerine ise merkezleme deliği açılmıştır. Küçük delik açılan iş parçası ileride merkezleme deliksiz adlandırılacaktır. Bütün delme işlemlerinde matkap parçaya doğru ilerletilmiştir. Deneyde kullanılan iş parçası malzemesi SS41'dir. Uygulanan aksenal kuvvet 450 Mpa kadardır.

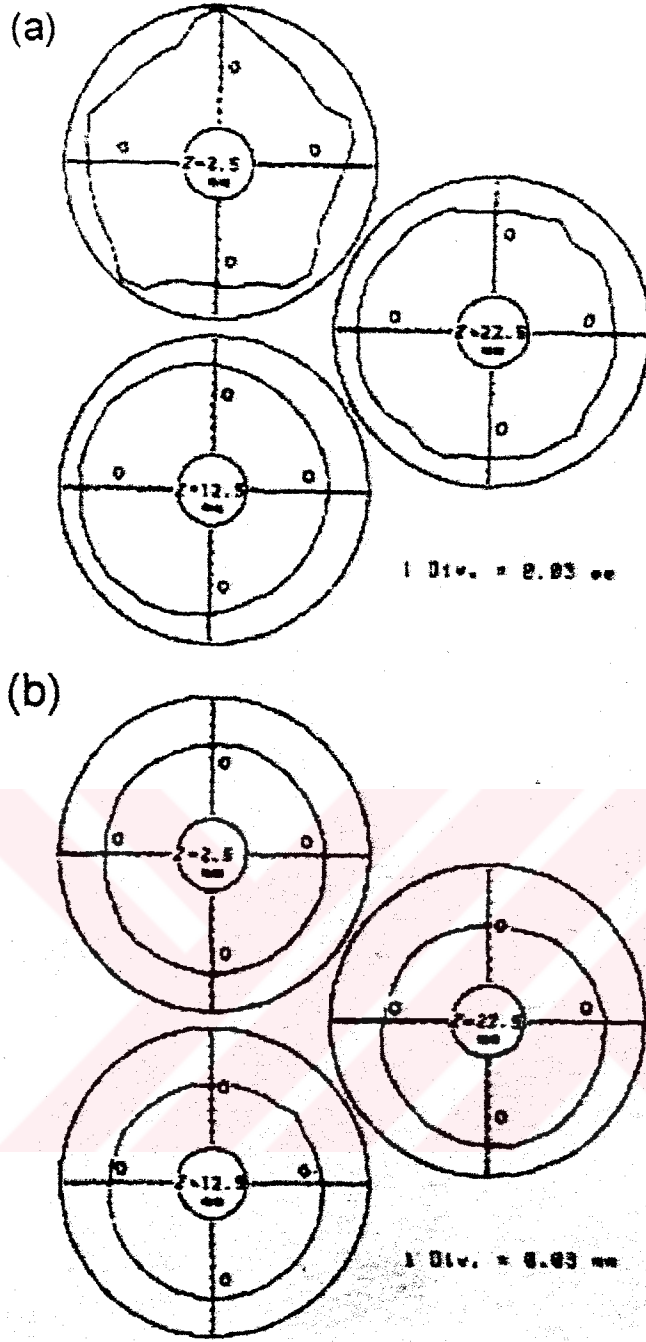
3.2.7.1.2 Delik Hassasiyetinin Klasik Matkapla Karşılaştırılması

Şekil 3.112a'da uç açısı 118° ve serbest açısı 12° olan klasik matkap tarafından açılan deliğin profili görülmektedir. Bunun yanında Şekil 3.112b'de yeni tip matkapla açılan deliğin profili görülmektedir. Bu sonuçlar merkezlemesiz iş parçası için, iş parçasının 750 rpm devirde ve 0,075mm/devir ilerleme değerindeki kesme koşullarında geçerlidir.



Şekil 3.112 Merkezlemesiz delme işleminde oluşan delik profili a) Klasik matkap
b) Üç kesici ağızlı HSS matkap (Kato vd., 1998)

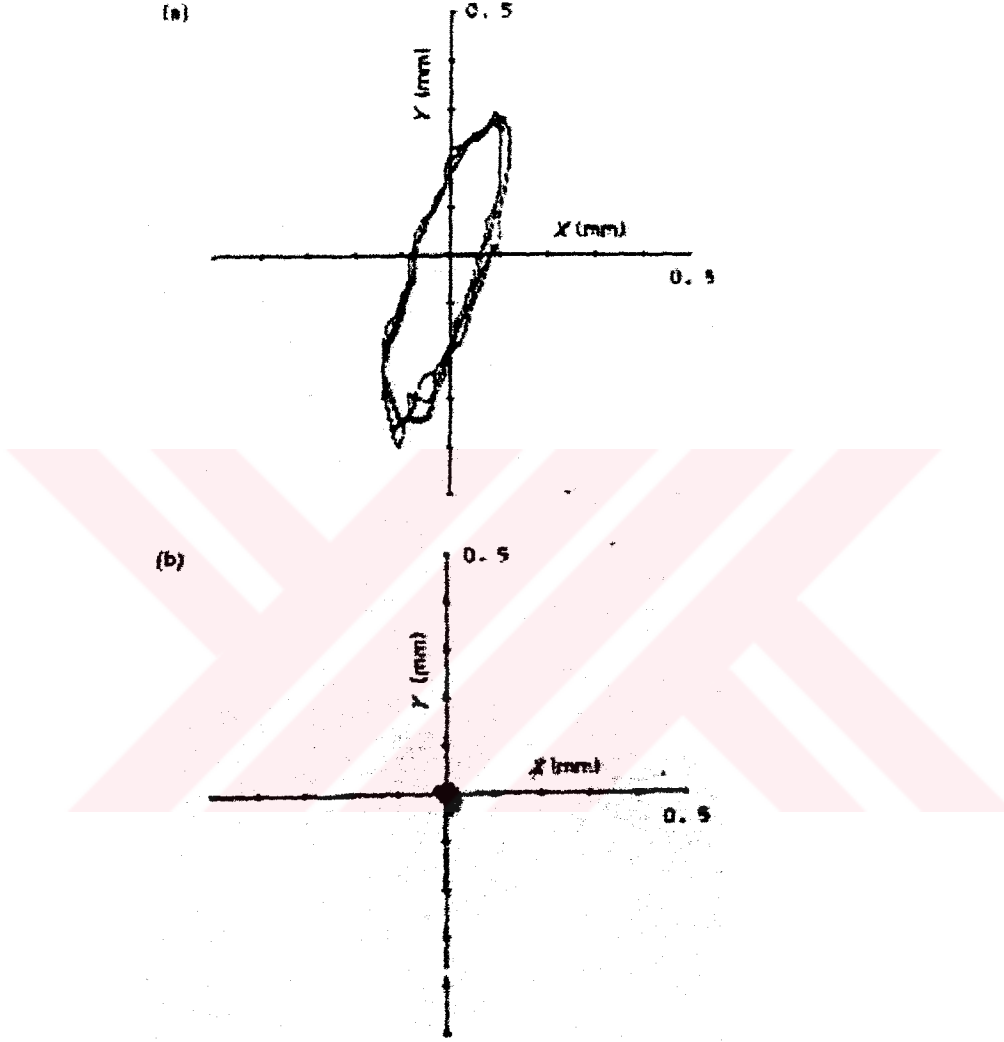
Şekiller dikkatlice incelendiğinde klasik matkapla yapılan delme işlemlerinde deliğin yanında (yüzeyinde), örnek olarak $Z=2,5\text{mm}$ (delik boyu) için yedi kenarlı bozulmuş daire şekli oluşur. $Z=12,5\text{mm}$ için daireye yakın bir şekil elde edilir. $Z=22,5\text{mm}$ için matkap iş parçasını delerken oluşan vibrasyonlar sebebiyle düzensiz daire şekli oluşur. Fakat $Z=22,5\text{mm}$ delik derinliği hariç diğer deliklerin üç kesici ağza sahip HSS matkap ile delinmesinde daireye yakın delik şekli elde edildi. Deliğin girişinde oluşan çokgen şekiller üç kesici ağza sahip HSS matkap kullanılmasıyla ortadan kalkmıştır.



Şekil 3.113 Merkezlemeli delme işleminde oluşan delik profili a) Klasik matkap
b) Üç kesici ağızlı HSS matkap (Kato vd., 1998)

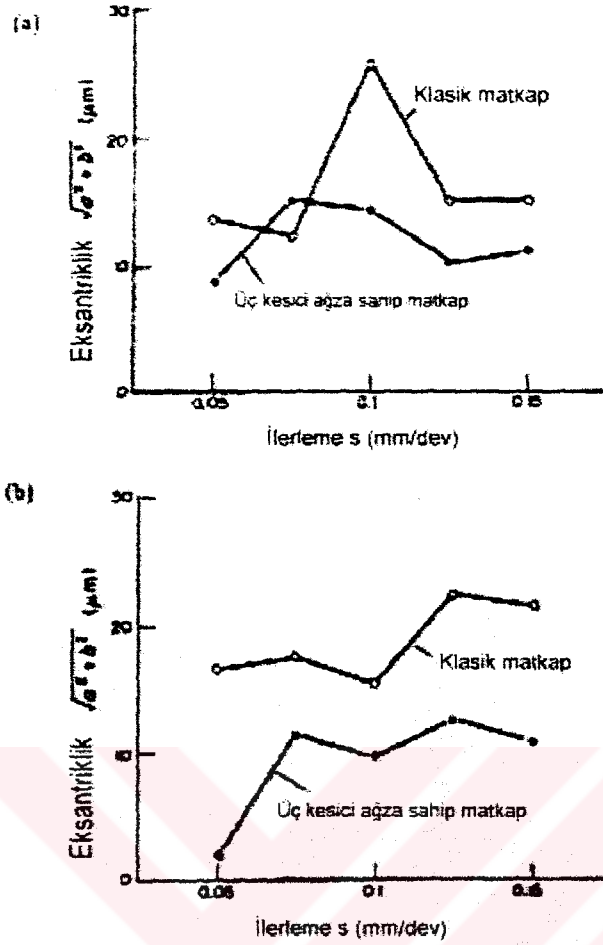
Şekil 3.113a ve 3.113b'de, merkezlenmiş deliklerin sırasıyla klasik matkap ve üç kesici ağza sahip HSS matkap ile delinmesiyle oluşan profiller görülmektedir. İş parçası 2.5 mm merkezleme çapı ile delinmiştir. Seçilen devir değeri 790 rpm ve ilerleme oranı 0.125 mm/dev'dir. Klasik matkap kullanıldığında delik girişinde beş kenara sahip daire şekli oluşmuştur. Üç kesici ağızlı HSS matkap ile oluşturulan delik Şekil 3.113b'de görülmektedir. Şekilden de anlaşılacağı gibi delik şekli daire şekline çok yakındır. Üç kesici ağza sahip matkabın deldiği deliğin hassasiyeti, klasik matkapla delinen deliğin hassasiyetinden daha yüksektir.

Şekil 3.114a'da klasik matkap kullanıldığında matkap uç hareketinin izi görülmektedir. Şekil 3.114b'de ise üç kesici ağza sahip matkap kullanıldığında matkap uç hareketinin izi görülmektedir. Bu izler matkap eksenine dik bir yüzeyde, sap tarafından bakışla oluşturulmuştur. Delme koşulları ise, iş parçası için 480 rpm devir ve 0.132 mm/dev ilerleme değeridir.



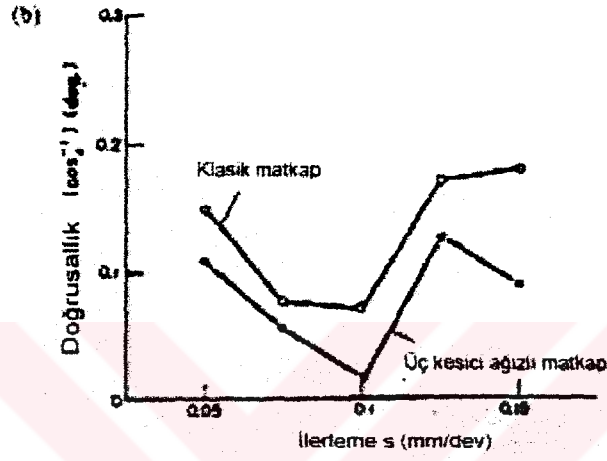
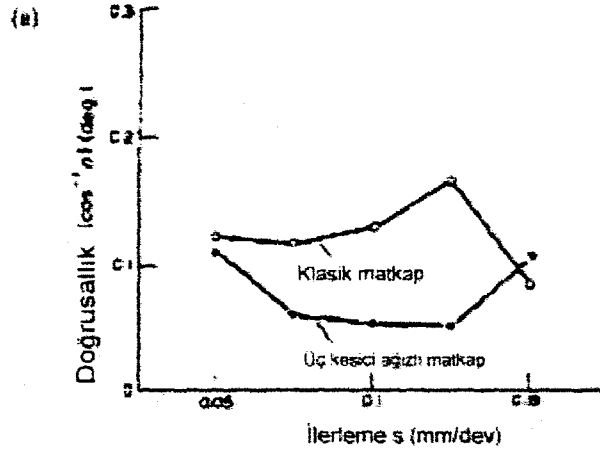
Şekil 3.114 Matkap ucunun izi a) Klasik matkap b) Üç kesici ağza sahip matkap (Kato vd., 1998)

İş parçası 2.5 mm merkezleme çapına sahiptir. Klasik matkabın yörüngesi yan yatırılmış elipse benzemektedir. Girdaplı vibrasyon adı verilen bu vibrasyon Şekil 3.112a ve Şekil 3.113a'da görülen bozulmuş daire şekillerini meydana getirmiştir. Fakat üç kesici ağza sahip matkabın yörüngesi X ve Y düzlemlerinin merkezindedir. Bu deneysel sonuçlardan, klasik matkap kullanımı sonucunda oluşan girdaplı vibrasyonların üç kesici ağza sahip matkap kullanıldığında ortadan kalktığı görülür. Böylece Şekil 3.109b'de görülen bozulmuş daire şekli delik girişinde oluşmaz. Sonuç olarak delikler yüksek dairesellikte ve düzgünlüktedir.

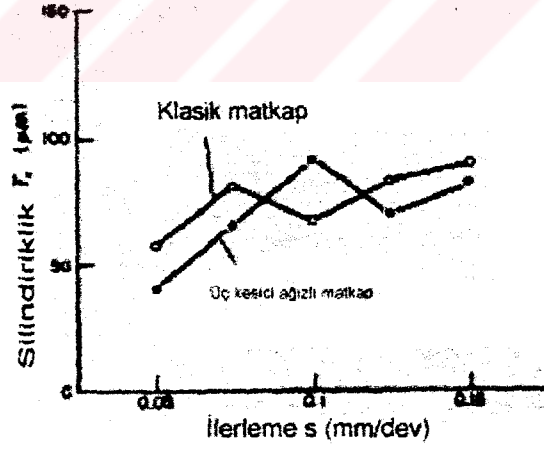


Şekil 3.115 Delinen delik için eksantriklik değeri a) 480 rpm için
b) 790 rpm için (Kato vd., 1998)

Şekil 3.112 ve 3.113'de gösterilen profillerden yararlanarak değişen ilerleme değerleri S için delik hassasiyetleri test edilmiştir. Klasik matkap ve üç kesici ağza sahip matkapla elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Şekil 3.115, 3.116, 3.117'de sırasıyla $\sqrt{a^2 + b^2}$ eksantriklik, doğrusallık $\cos^{-1}n$ ve silindiriklik Tc belirtilmiştir. Her şekil a ve b iş parçası için sırasıyla 480 rpm ve 790 rpm devir için elde edilen sonuçlardır. Şekil 3.115'de açık olarak görülmektedir ki siyahla gösterilen üç kesici ağza matkabın eksantriklik değeri klasik matkabın eksantriklik değerinden düşüktür. Devirler değiştirilmeden yapılan diğer deneylerde doğrusallık değerleri Şekil 3.116'da, silindiriklik sonuçları Şekil 3.117'de gösterilmiştir.



Şekil 3.116 Delinen delik için doğrusallık a) 480 rpm b) 790 rpm (Kato vd., 1998)



Şekil 3.117 Delinen delik için silindiriklik (790 rpm) (Kato vd., 1998)

Üç kesici ağızlı matkapla delinen deliklerin klasik matkapla delinen deliklere göre hassasiyeti daha yüksektir. Bu deneysel sonuçlara ek olarak klasik matkap kullanımına göre %20 daha fazla moment ve aksenal kuvvet oluşur.

Delme işleminin performansını arttırmak için üç oluklu, üç kesme ağızlı, üç radyal ağızlı yeni tip matkap geliştirilmiştir. Klasik iki kesme ağızlı matkap kullanıldığında çoğunlukla oluşan girdaplı vibrasyonlar bu yeni tip matkap kullanıldığında oluşmamıştır. Biçimi bozulmuş çokgen şekiller ve yivler delik yüzeyinde meydana gelmez. Sonuçta delinen delik yüksek hassasiyet, eksantriklik ve silindirikliktedir.

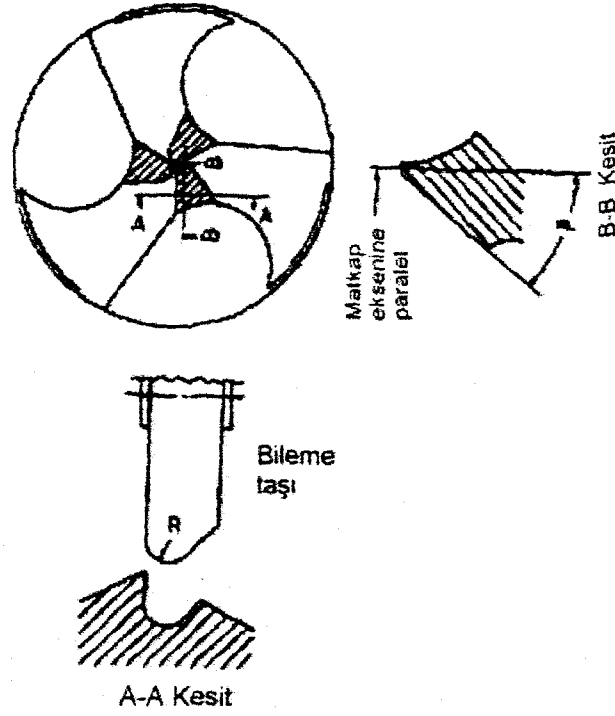
3.2.7.1.3 Üç Kesme Ağızına Sahip Matkabin Delme Performansı

Geliştirilen yeni tip HSS matkabin özellikleri ve klasik matkapla karşılaştırılması bir önceki bölümde yapıldı, bu bölümde ise geliştirilen yeni tip matkabin delme performansı ve radyal ağızın delme performansına etkisi araştırılacaktır.

Ema vd. (1991) tarafından yapılan araştırmalarda bundan önceki çalışmada kullanılan üç kesme ağızlı matkabin gelişmiş olan inceltme operasyonu ile üretilmiş altı değişik radyal ağza sahip matkap kullanılmıştır. Matkaptaki köşe radyüslerinin ve kalın oyuk kenarının eğimli açılarının kesme performansına etkisi araştırılmıştır. Bu deneylerle delme işleminde eksantriklik, doğrusalılık, deliğin silindirikliği, yüzey bozukluğu, moment ve aksel kuvvet ölçülmüştür. Bu üç kesme ağızına sahip altı çeşit matkabin kesme performansı değişik analizlerle değerlendirilip klasik matkabin kesme performansıyla karşılaştırılmıştır.

Üç kesme kenarına sahip matkabin kesme performansına radyal ağız şeklinin etkisini araştırmak için değişik radyal ağız şekline sahip altı çeşit matkap hazırlanmıştır. Bu matkaplar iki değişkenle gruplanmıştır.

Şekil 3.118'de konik taşlama işlemiyle kesici kenarların, inceltme işlemiyle radyal ağızların meydana getirildiği matkabin üstten görünüşü görülmektedir. İnceltme işlemiyle oluşturulan oyuklar üç parça olarak resimlenmiştir. İnceltme işlemi çok dikkatli yapıldığından oyukların uzunluğu sabittir. Yine oyukların ucu komşu radyal ağza yaklaşır, fakat hiç temas etmez. Radyal ağızlar oyuk içermektedir ve bu çalışmada bunlara inceltmiş radyal ağızlar denilecektir (Şekil 3.118). Bileme işlemi uç radyüsü r olan, radyal ağza dik konumdaki A-A kesitinde gösterilen elmas bileme taşıyla yapılmıştır. İnceltmiş radyal ağızda aksel talaş açısı 0° , radyal ağızın oyğunun derinliği radyal ağız boyunca değişmekte olup en dış kenarda radyal ağız fazla derinliğe sahip, matkabin merkezindeyse en az derinlik mevcuttur. Radyal ağza paralel, matkap eksenine inceltmiş radyal ağızın aşağı kısmı arasındaki açı B-B kesitinde görüldüğü gibi eğim açısı β olarak belirtildi. Bu yüzden inceltmiş radyal ağızın şekli iki değişkene bağlıdır.



Şekil 3.118 Matkap şekli ve radyal ağızları inceltme metodu (Ema vd., 1991)

Bunlar uç radyüsü R ve eğim açısı β 'dir. Bu deneyde uç radyüsü R 1 mm ve 2 mm olarak iki seviyede değişecektir. Eğim açısı β 29° , 34° ve 39° olarak üç seviyede değişecektir. Çizelge 3.9'da iki değişkenin ve değişik seviyelerdeki değişkenlerin değerlerinden bahsedilmiştir. Bu deneyde değişkenlerin altı değişik kombinasyonu ile dizayn yapılmıştır. Değişik analizler yapılarak iki değişkenin üç kesici ağızlı matkaplar için etkisi araştırılmıştır. Düz kesici kenar konik taşlama yöntemiyle üretildiğinden deneyde kullanılan matkapların oyukları aynı şekildedir. Matkapın ölçüleri ve kesme açıları Çizelge 3.10'da gösterilmiştir. Serbest açı kesici kenarın dış ucundan ölçülmüştür (Çizelge 3.10). Matkap eksenine kesme kenarı arasında uç açısı çift açılmış gibi belirtilmiştir. Matkaplar yüksek hız çeliği takımlardır.

Çizelge 3.9 Deneyin fonksiyonel dizayn ve test parametrelerinin değerleri (Ema vd., 1991)

Değişkenler	Farklı düzeydeki değişkenler		
	1. Düzey	2. Düzey	3. Düzey
Köşe radyusu R (mm)	1	2	--
Eğim açısı	29	34	39

Üç kesici ağızlı matkapla klasik iki kesici ağızlı matkapların kesme performanslarının ölçülmesinde spiral matkap kullanılmıştır. Ölçüler ve kesme açıları Çizelge 3.10'da gösterilmiştir. Öz kalınlıklarındaki önemli farklılıklar hariç üç kesici kenara sahip matkapla klasik matkap arasındaki ölçüler ve kesme açıları birbirine yakındır.

Çizelge 3.10 Deneyde kullanılan matkapların ölçüleri ve kesme açıları (Ema vd., 1991)

	Çap (mm)	Talaş kanal boyu (mm)	Tüm boy (mm)	Öz kalınlığı (mm)	Uç açısı (der.)	Serbest açısı (der.)	Helis açısı (der.)
Üç ağızlı matkap	10	90	130	3,6	117	15	30
Klasik matkap	10	90	130	1,45	118	12	31

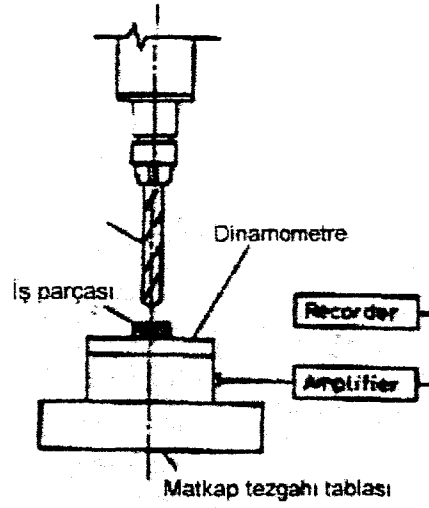
Bu araştırmada delinen deliğin hassasiyeti, yüzey pürüzlülüğü, moment ve eksenel kuvvet üç kesme kenarlı matkabın kesme performansının tayin edilebilmesi için bulunmuştur. Matkapların kesme performanslarını karşılaştırmak için iki seri delme testleri yapılmıştır ve detayları aşağıda belirtilmiştir.

Delme testi Şekil 3.110'da gösterilen torna tezgahında yapılmıştır. Torna puntası mili DC motorla kontrol ve hareket ettirilmekte ve değişken hızda çalıştırılabilmektedir. Bütün delme işlemlerinde matkaplar iş parçasını 25 mm delmiştir. Şekil 3.111'de gösterildiği gibi delme işleminden sonra deliğin çevresel yönde dalgalanması elektrik mikrometreyle ölçülmüştür. Torna mili 10° döndüğünde girişten derinlik, sırasıyla 2,5 mm, 12,5 mm ve 22, 5 mm için deliğin profili üç kesitli ölçülmüştür.

Deliğin hassasiyetinin kesin değerlendirilmesi için uygun teknik kullanılmıştır. Yukarıda belirtilen metotla en küçük kare silindirlerle delik profili ölçülmüştür. En küçük kare silindirlerle deliğin eksantrikliği, doğrusallığı ve silindirikliği ölçülmüştür. Burada kare silindirlerin detayları verilmemiştir, bu bilgiler önceki araştırmada verilmiştir. Delik girişinde ana torna milinde küçük kare silindirlerin merkezinden sapması eksantriklik olarak tanımlanır. Doğrusallıksa ana torna miliyle küçük kare silindirlerin eksenini arasındaki eğim açısı olarak tanımlanır. Silindiriklik ise belirtilen silindirle sınırlandırılan koaksiyel silindir arasındaki radyüs farkıdır.

Bu testlerde ilerleme değeriyle devir sabit olup 0,1 mm/rpm ve 480 rpm'dir. Her matkap için bu deney beş kez tekrar edilmiştir. Bu testlerden sonra delik eksenini boyunca yüzey pürüzlülüğü R_a değeri her iş parçası için iki kere ölçülmüştür.

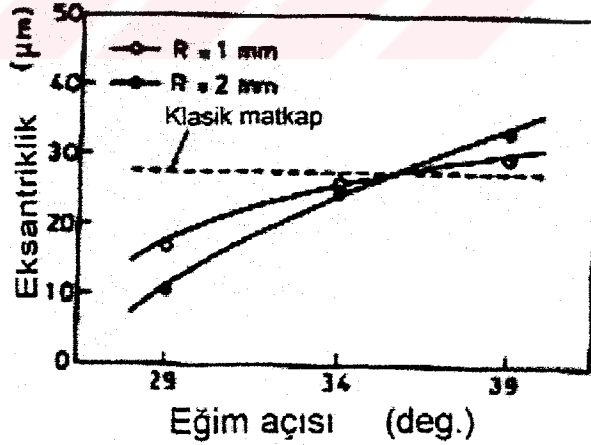
Delme işleminde moment ve eksenel kuvvetin bulunması torna tezgahındaki dinamometre ile yapılmaktadır. Bu deney düzeneği Şekil 3.119'da gösterilmektedir. Bu deneyde ilerleme değeri sabit olup 0,1 mm/rpm ve devir 405 rpm, 530 rpm ve 630 rpm değerlerindedir. Bu deneyler her kesme koşulu için dört defa tekrarlanmıştır.



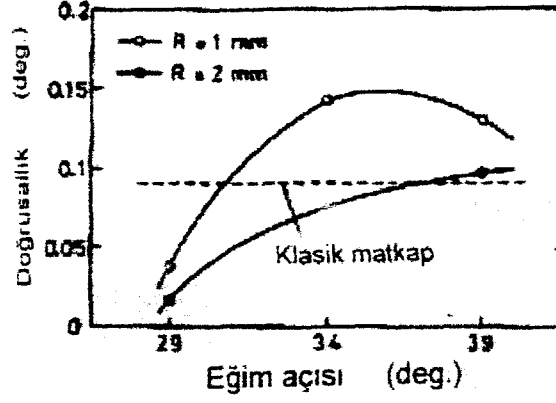
Şekil 3.119 Moment ve aksel kuvvetin ölçülmesi için düzenek (Ema vd., 1991)

Deneyde kullanılan iş parçaları 25 mm çap ve uzunluktadır. Malzeme haddelenmiş çelik olup gerilme dayanımı 450 Mpa'dır. Tüm deneyler kesme sıvısı kullanılmadan yapılmıştır.

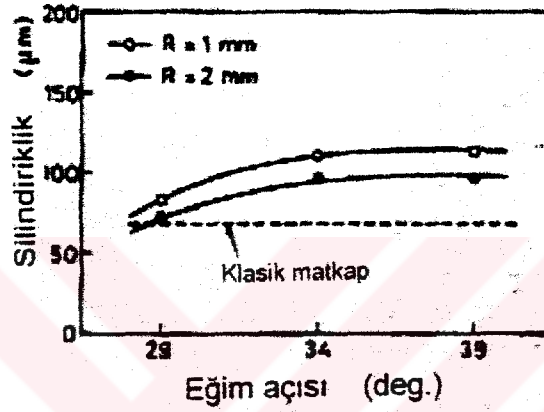
Deney sonuçlarında elde edilen eksantriklik, dairesellik, pürüzlülük ve silindiriklik değerleri eğim açısına göre grafike edilmiştir. Kullanılan bütün matkaplar için bulunan delik hassasiyeti değerlerini içeren tablolar Şekil 3.120 ile 3.123 arasında gösterilmiştir. Bunlar sırasıyla eksantrikliği, silindirikliği ve deliğin yüzey pürüzlülüğünü göstermektedir. Her matkap için sonuçların ortalama değerleri şekillerde grafikleştirilmiştir.



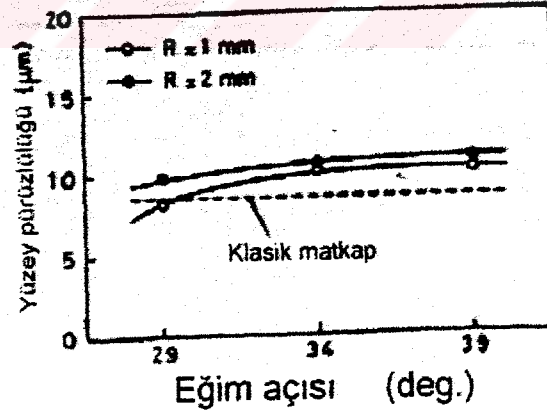
Şekil 3.120 Delinen deliklerin eksantrikliği (Ema vd., 1991)



Şekil 3.121 Delinen deliklerin doğrusallığı (Ema vd., 1991)



Şekil 3.122 Delinen deliğin silindirikliği (Ema vd., 1991)



Şekil 3.123 Delinen deliğin yüzey pürüzlülüğü (Ema vd., 1991)

İki ana değişkenin (uç radyüsü R ve eğim açısı β) eksantrikliğe olan etkisi ve aralarındaki ilişki araştırılmıştır. Bulunan sonuçlar incelenerek eksantriklik, doğrusallık, silindiriklik ve yüzey pürüzlülüğünün değişim değerleri özetlenmiştir. Bu değişken analizleri sonucunda ince radyal ağızların eğim açısının eksantrikliğe olan etkisi belirlenmiştir. Sonuçlar Şekil 3.120 -

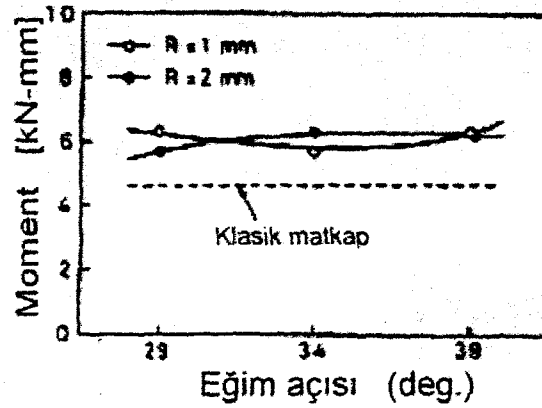
123 arasında gösterilmiştir. Eğim açısındaki küçülme eksantriklik, doğrusallık ve yüzey pürüzlülüğünü azaltır. Uç radyüsündeki azalma yüzey pürüzlülüğünü azaltır.

Şekillerdeki kesikli çizgiler klasik matkaplar kullanıldığında elde edilecek sonuçları içermektedir. Bu veriler yedi sonucun ortalama değerleridir. Eksantriklik ve doğrusallık bakımından 29° eğim açısına sahip matkaplar klasik matkaplara göre daha yüksek kesme performansına sahiptir. Bununla beraber silindiriklik ve yüzey pürüzlülüğü yönünden 29° eğim açısına sahip matkaplar daha küçük kesme performansına sahiptir. Fakat 34° ve 39° eğim açısına sahip matkaplar genel olarak klasik matkaplara göre daha az etkilidir. Uç radyüsünün delik hassasiyetine ve yüzey pürüzlülüğüne önemli etkisi yoktur.

Yukarıdaki deneysel sonuçlardan ince radyal ağızlı matkapların eğim açısının delik hassasiyetine ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi dikkate değerdir. Uç radyüsünün delik hassasiyeti ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi önemsizdir. Bununla birlikte, küçük eğim açılı matkaplar klasik matkaplara göre daha etkilidir.

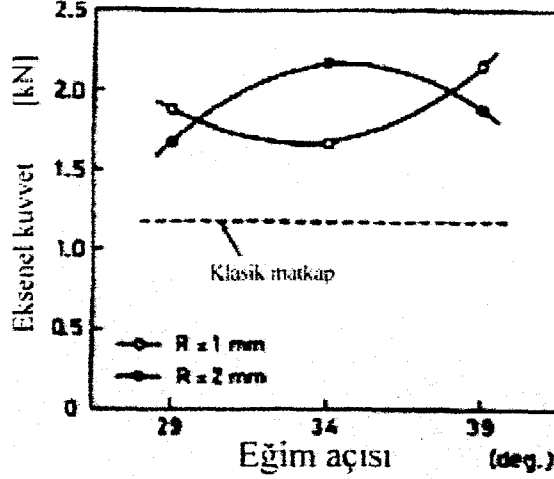
Diğer araştırma ise delme esnasında oluşan aksenal kuvvet ve moment değerleri üzerine yapılmıştır. araştırma sonuçları eğim açısı değişkenine göre grafike edilmiştir. Şekil 3.124 ve 3.125'de 405 rpm devir için bulunan moment ve aksenal kuvvetin ortalama değerleri gösterilmiştir.

Bu değişim analizleri sonucunda uç radyüsünün moment ve aksenal kuvvete olan etkisinin önemsiz olduğu anlaşılmıştır. Eğim açısının moment ve aksenal kuvvete etkisi %5 değerindedir. Burada eğim açısıyla kesme kuvveti arasında pozitif ilişki vardır. Bununla birlikte kenar radyüsü ve kesme kuvveti arasında önemli bir ilişki yoktur.



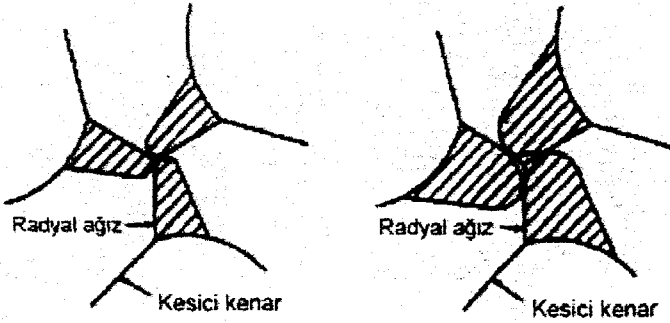
Şekil 3.124 Delme işleminde oluşan moment (Ema vd., 1991)

Yukarıdaki grafikler 405 rpm için oluşturulmuştur. Ayrıca 530 rpm ve 690 rpm devirlerde moment ve aksenal kuvvetin değişimi şekilsiz olarak incelenmiştir. Bu iki devirdeki sonuçlar 405 rpm devir değerindeki değerlerle aynı eğilimi göstermiştir.



Şekil 3.125 Delme işleminde oluşan aksenal kuvvet (Ema vd., 1991)

Eğim açısı β 'daki azalma kesme kuvvetini azaltır. Çünkü ince radyal ağızlarda oluşan talaş küçük eğim açısından dolayı talaş kanalından kolay akar. İnce radyal ağızların uç radyüslerinin moment ve aksenal kuvvete etki etmediği ilerde belirtilecektir. Şekil 3.126'nın solunda görüldüğü gibi küçük uç radyüslü bileme çarkı kullanıldığında matkabın merkezine doğru radyal ağızlar inceler.



Şekil 3.126 Değişen uç radyüsüyle oluşan ince radyal ağız şekli (Ema vd., 1991)

Ama dar yivler yüzünden ince radyal ağızlarda talaş akışı kolay olmaz. Bir başka yönden bakılırsa, aynı şeklin sağ tarafında gösterilen geniş uç radyüsleri geniş uç radyüslü bileme taşlarıyla elde edilmiştir. Radyal ağızlar yaklaşık 1/3 oranında inceltilmediğinden dolayı büyük negatif talaş açıları oluşur ve büyük kesme kuvvetleri meydana gelir. Buna rağmen ince radyal ağızlarda geniş yivler olduğundan talaş kolay akar.

Şekil 3.124 ve 3.125’de görüldüğü gibi üç kesici kenara sahip matkapların oluşturduğu moment klasik matkapların oluşturduğu momentlerden büyüktür. Yine üç kesici ağza sahip matkapların delme esnasında oluşturduğu aksenal kuvvetler klasik matkapların oluşturduğu aksenal kuvvet değerlerinden büyüktür. Aksenal kuvvetin üç radyal ağza sahip matkaplarda büyük olması, kesici ağızdaki çekirdek kalınlığının klasik matkapların çekirdek kalınlığından epeyce büyük olmasından kaynaklanır. Bununla birlikte küçük eğim açılı matkaplar klasik matkaplara göre daha etkilidir. Bu iki matkap arasında, aksenal kuvvet değişimi açısından büyük farklar mevcuttur.

Radyal ağzın şeklinin delik hassasiyetine ve yüzey pürüzlülüğüne etki trendi radyal ağz şeklinin moment ve aksenal kuvvete olan etkisiyle aynıdır. Böylece, kesme kuvvetinin azaltılması, delik hassasiyeti ve yüzey pürüzlülüğünü yükseltir. Bu nedenle üç kesici ağza sahip matkapla kesme performansı yükselttilerek moment ve aksenal kuvvetin azalması sağlanır. Aksenal kuvvet ve momenti azaltmak için küçük çekirdek kalınlığı kullanılabilir. Bu da eğim açısını küçültür ve bu yüzden matkap ucu zayıflar.

Ema, S. vd. tarafından yapılan deneylerde altı değişik radyal ağza sahip matkabın delik hassasiyeti, yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvveti ölçülmüştür. Değişik analizler yapılarak üç kesme ağızlı matkapta değişik radyal ağızlı şekiller kullanılarak kesme performansına olan etkisi araştırılmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen grafikler incelendiğinde şu neticeler alınmıştır:

- İnce radyal ağzın eğim açısı değerinin delik hassasiyetine ve yüzey pürüzlülüğüne önemli etkisi vardır. Fakat kenar radyüslerinin delik hassasiyetine ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi önemsizdir. Küçük eğim açılı matkaplar klasik matkaplara göre daha etkilidir.
- Eğim açısının moment ve aksenal kuvvete olan etkisi kayda değerdir. Fakat köşe radyüslerinin moment ve aksenal kuvvete olan etkisi önemsizdir. Üç kesme ağızlı matkabın moment ve aksenal kuvvet değeri klasik matkaba göre epeyce büyüktür.
- Üç kesme ağızlı matkaplarda, yalnızca küçük çekirdek kalınlığına sahip uç geometrisi kullanılarak moment ve aksenal kuvvetin azaltılması mümkündür. Bu sayede kesme performansında da artışlar sağlanır.

3.2.7.2 Sert Metal Malzemeli Üç Kesici Ağza Sahip Spiral Matkap

Yüksek hız çeliğinden imal edilmiş spiral matkaplar en çok kullanılan ve çoğunlukla pratik delik delme işlemlerinde tercih edilen takımlardır. Geçmişte, matkap uç şeklini değiştirerek kesme performansını arttırmak için birçok araştırma yapılmıştır. Spiral uçlu matkap (Ernst 1958) , split uçlu matkap (Radhakrishanan, 1983), çok yüzeyli matkap (Wu, 1983) ve yassı matkap (Rubenstien, 1989) v.b. gibi birçok matkap dizaynı geliştirilmiştir. Tüm bu matkaplar klasik iki kesme ağızlı ve iki radyal ağızlı matkaplardı. Bu delme işlemlerinde kullanılan matkaplarda delik girişindeki vibrasyondan dolayı çok sayıda köşegene sahip bozuk dairesel şekilli delik oluşmuştur (Fujii, 1986). Bu vibrasyonlar takım ömrünün ve deliğin hassasiyetinin artırılmasını büyük ölçüde engellemektedir. Araştırmacılar 1988 yılında vibrasyonları önlemek ve kesme performansını arttırmak için üç kesici kenara sahip ve üç talaş kanallı yüksek hız çeliğinden imal edilmiş matkap geliştirilmişlerdir. Bu üç kesici kenara sahip matkapla yapılan deneylerde vibrasyon oluşmamış ve klasik matkaplara göre daha üstün değerler elde edilmiştir. Bunun yanında; radyal ağız için uygun bileme şekli, talaş akışı için yeterli talaş kanal genişliği, matkap ucu için şekillendirmeyi tamamlama veya takım malzemesi için kesme hızının sınırlandırılması gibi birçok problem çözülememiştir. Bu sayılan problemlerin araştırılıp çözülmesi gerekmektedir.

Son yıllarda, hızlı ve verimli çalışmayı arttırmak, deliğin işleme hassasiyetini yükseltmek için sert metal alaşımli üç kesici ağza sahip takımlar geliştirilmiştir. Daha sonra bu matkaba kısaca sert metal matkap denmiştir. Geçtiğimiz yıllarda, sert metal matkapların birçok üretim dalında kullanım alanı yaygınlaşmıştır. Fakat delme hassasiyetine etki eden kesme koşulları, yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri hakkında yeterli açıklama ve aydınlanma henüz olmamıştır.

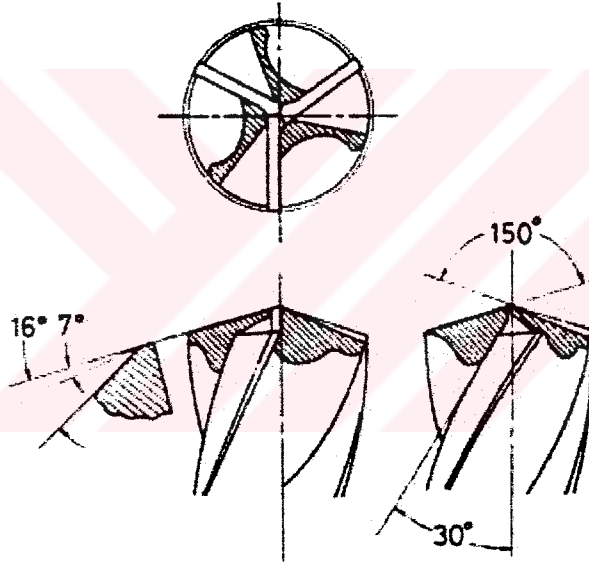
3.2.7.2.1 Delik Hassasiyetinin Belirlenmesi İçin Yapılan Çalışmalar

Yukarıdaki bölümde de belirtildiği gibi sert metal malzemeli üç kesici ağza sahip matkapla ilgili detaylı araştırmalar yapılmamıştır. Bu konu hakkında ilk araştırma 1992 yılında Ema ve Marui tarafından yapılmıştır. Bu bölümde, yapılan bu çalışma ve deneyler belirtilmiştir.

Sert metal matkabın kesme performansını geliştirmek için, delinmiş deliğin eksantrikliğini, doğrusalığını, silindirikliğini, daireselliğini ve yüzey pürüzlülüğünü ölçen testler yapılmıştır (Ema ve Marui, 1992). Daha sonra sert metal matkabın kesme performansı değerlendirilip, klasik matkabın kesme performansı ile karşılaştırılmıştır.

Delik hassasiyetinin ölçülmesi için kullanılan deney aparatı Şekil 3.110 ve Şekil 3.111'de gösterilmiştir. Şekildeki gibi iş parçası torna aynasına, matkap ise torna miline tutturulmuştur. Torna puntası mili değişken hızda çalışabilmekte, DC motorla kontrol ve hareket ettirilmektedir. Bütün delme işlemlerinde delme derinliği 25 mm alınmıştır. Delme işleminden sonra deliğin çevresel yönde dalgalanması elektrik mikrometreyle ölçülmüştür. Torna mili 10° döndüğünde girişten derinlik, sırasıyla 2,5 mm, 12,5 mm ve 22,5 mm için deliğin profili üç kesitli ölçülmüştür.

Bu deneyde, standart daire belirlenerek deliğin ölçülmesi mümkündür. Delme işleminden önce standart 10 mm çapında daire gauge torna aynasına tutturulur. Düzeltilmiş elektrik mikrometreyle ölçüm yapılır. Bu testlerden sonra her iş parçası için yüzey pürüzlülüğü Ra değeri kullanılarak ölçülür.



Şekil 3.127 Üç kesici ağza sahip sert metal matkap (Ema ve Marui, 1992)

Şekil 3.127'de deneyde kullanılan sert metal matkabın şekli görülmektedir. Bu matkabın malzemesi P40 grubu sert metaldir. Matkabın çapı 10 mm, boyu 89 mm ve helis boyu 43 mm'dir. Şekildeki gibi matkap iki aşamalı serbest yüzeye sahiptir. Serbest açılar 7° ve 16° 'dir. Uç açısı 150° , bu açı matkap merkez eksenini ile kesme ağzı arasında çift açı olup, klasik iki kesme ağızlı matkaba göre uç açısı daha büyüktür. Çekirdek kalınlığı 3.9 mm olup klasik matkapların çekirdek kalınlığından oldukça büyüktür. Bu belirtilen kısımlardan talaş yüzeyleri bileme işlemiyle, radyal ağızlar ise inceltme işlemiyle oluşturulmuştur. Bu işlemler sert metal matkabı özel uç şekline sahip kılar. Bu uç şeklinde aksenal talaş açısı 0° , radyal ağız çapı yaklaşık 1 mm olup üç kesme ağızlı matkabın radyal doğrultusunda yerleştirilmiştir.

Sert metal matkapla klasik matkabın kesme performansını karşılaştırmak için yüksek hız çeliğinden imal edilmiş spiral matkap kullanılmıştır. Bu matkabın çapı 10 mm, boyu 130 mm, helis boyu 90 mm, boşluk açısı 12° , uç açısı 118° , çekirdek kalınlığı 1,45 mm ve helis açısı 31° dir.

Bu deneylerde devir sert metal matkap için sabit olup 1900 rpm'dir. Buna rağmen klasik matkapta iki seviyede değişmektedir; bunlar 480 rpm ve 790 rpm'dir. İlerleme değerleri ise her iki matkap için de 0.005 – 0.15 mm/dev arasında değişmektedir. Bu testler her matkap ve kesme koşullarında yedi defa tekrarlanmıştır. Delme işleminde kullanılan iş parçasının boyu ve çapı 25 mm'dir. İş parçası haddelenmiş çelik olup gerilme dayanımı 450 Mpa'dır. Bütün delme işlemleri soğutucu sıvısız yapılmıştır.

3.2.7.2.2 Delik Hassasiyeti Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Deliğin hassasiyet değerlendirilmesi en küçük kareler yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Şekil 3.128'de gösterilen en küçük kareler yöntemi olarak adlandırılan method olup deliğin profilinin ölçülmesinde kullanılır. Z eksenı tornanın asıl dönme eksenidir. Şekil 3.129'da standart silindir ile deliğin profili arasındaki geometrik bağıntı gösterilmiştir. Bu geometrik bağıntı aşağıdaki işaret ve değerler kullanılarak yapılmıştır:

a, b = Delik girişindeki en küçük kare silindirin x ve y koordinatlarındaki eksenı.

l, m, n = En küçük kare silindir ekseninin eş dikme doğrultusu.

R_0 = Standart silindirin radyusu (5 mm)

$R_0 + \Delta R$ = En küçük kare silindirin radyusu

S_i = Deliğim profili

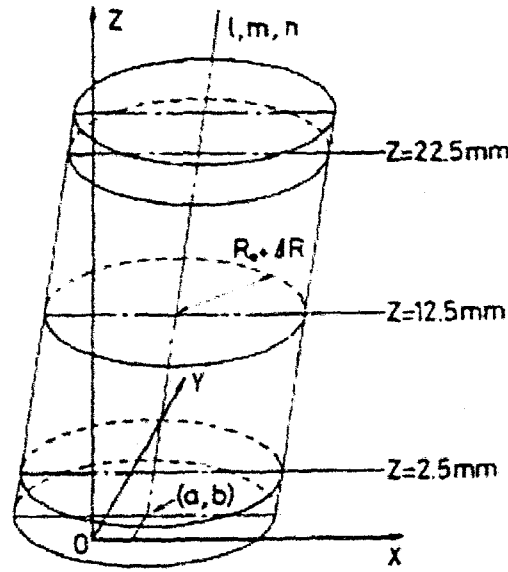
R_i = Kare silindir ise delik profili arasındaki sapma

ϕ = Ölçülen açı

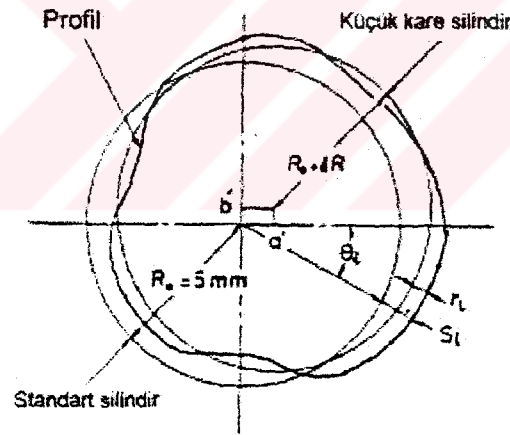
Kare silindir ile delik profili arasındaki sapma r değeri daha önce yapılan araştırmalarda bulunmuştur (Ema, 1988).

Kare silindirin temel dayanakları olan delik girişindeki eksantriklik ($e = \sqrt{a^2 + b^2}$) ve delikteki doğrusallık ($\cos^{-1} n$) belirtilmiştir. Deliğin konfigürasyonu ile ilgili hassasiyet incelemesi yapılmıştır. Delik profilinin silindirikliğinin kaydedilen silindir ile sınırlanan silindir arasında radyus değişimi elde edilir. İki silindir de kare silindir gibi aynı eksen çizgisine sahiptir. Ayrıca delme prosesinin delikte ilerleme esnasındaki hassasiyeti araştırılıp

her ölçümde kare silindiriklik elde edilmiştir. Pürüzlülük, kaydedilen daire ile delinen deliğin profilinin sınırlanmış dairesiyle arasındaki radyus farkından hesaplanır.

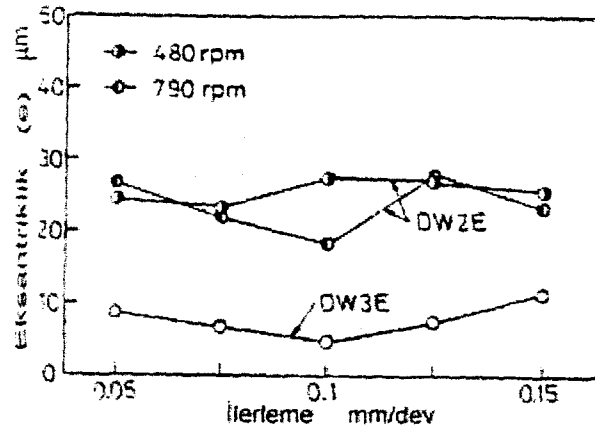


Şekil 3.128 En küçük kare silindir (Ema, 1988)

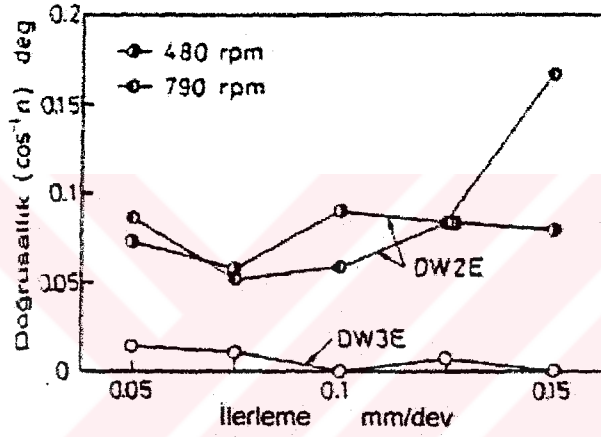


Şekil 3.129 Standart silindir ile delik profili arasındaki geometrik ilişki (Ema ve Marui, 1992)

Şekil 3.131, 3.132 ve 3.133'de sırasıyla, ilerleme değerinin eksantriklik, doğrusallık ve silindirikliğe olan etkisi görülmektedir. Bu üç şekil DW3E ile belirtilen sert metal matkap ile DW2E ile belirtilen klasik matkabin deney sonuçlarını içermektedir. Sert metal matkap ile delinen deliğin eksantriklik ve doğrusallığı, klasik matkapla delinen deliğe göre çok daha iyi olduğu Şekil 3.130 ve Şekil 2.131'den rahatça görülmektedir. Sert matkapla 0.1 mm/dev



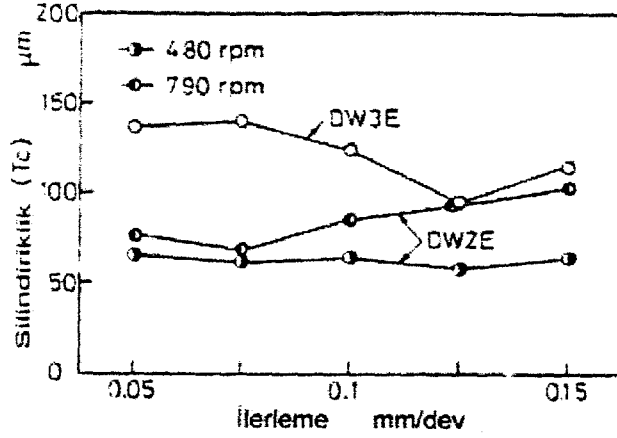
Şekil 3.130 Klasik ve üç kesen ağızlı sert metal matkaplar ile delinen deliklerin eksantrikliği (Ema ve Marui, 1992)



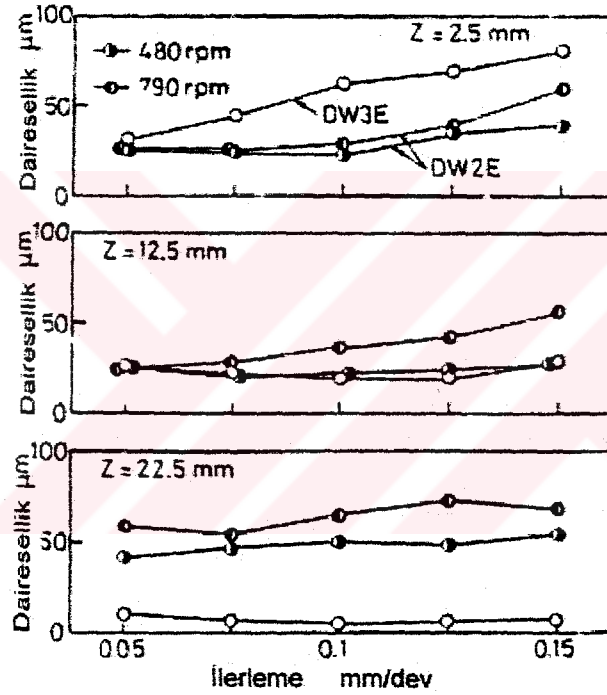
Şekil 3.131 Klasik ve üç kesen ağızlı sert metal matkaplar ile delinen deliklerin doğrusallığı (Ema ve Marui, 1992)

ilerleme değerinde delinen deliğin eksantriklik ve doğrusallık değerleri en düşük değerlerde olmaktadır. Bu sonucun nedeni ise belirtilen ilerleme değerinde talaşın talaş kanalından kolay akması olabilir. O nedenle, yüksek hassasiyetli delikler için delme işlemlerinde uygun ilerleme değerleri kullanılmalıdır. Fakat Şekil 3.132'de görüldüğü gibi sert metal matkabın silindirikliği klasik matkabın silindirikliğinden daha düşüktür. Niye yalnızca silindirikliğin düşük olduğu ileride açıklanacaktır. Kesme hızının klasik matkabın hassasiyetine önemli etki etmediği Şekil 3.130 ve 3.132'den görülmektedir.

Şekil 3.133'de gösterilen dairesellik değerleri Şekil 3.128'de belirtilen üç delik kesiti için ölçülmüştür. Şeklin üst kısmında delik derinliği sırasıyla $Z = 2.5$ mm, 12.5 mm, 22.5 mm için sonuçlar gösterilmiştir. Delik girişinde sert metal matkap için dairesellik değeri klasik matkaba göre daha düşüktür. Fakat delik derinliğinin artışıyla bu değer artmaktadır. Delik çıkışında çoğunlukla dairesellik değeri klasik matkaba göre daha yüksektir.



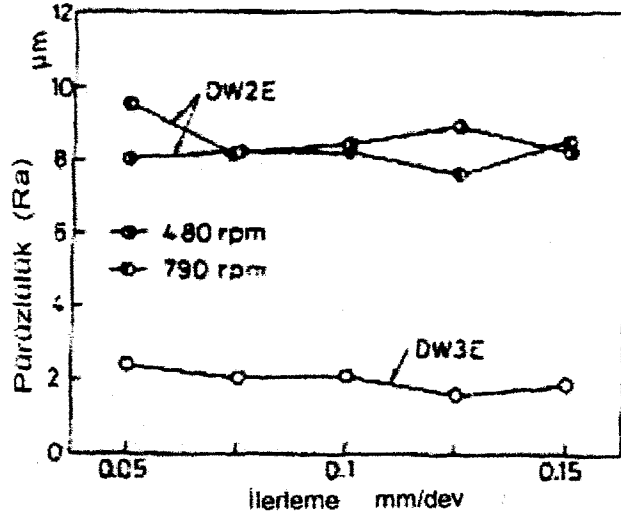
Şekil 3.132 Klasik ve üç kesen ağızlı sert metal matkaplar ile delinen deliklerin silindirikliği (Ema ve Marui, 1992)



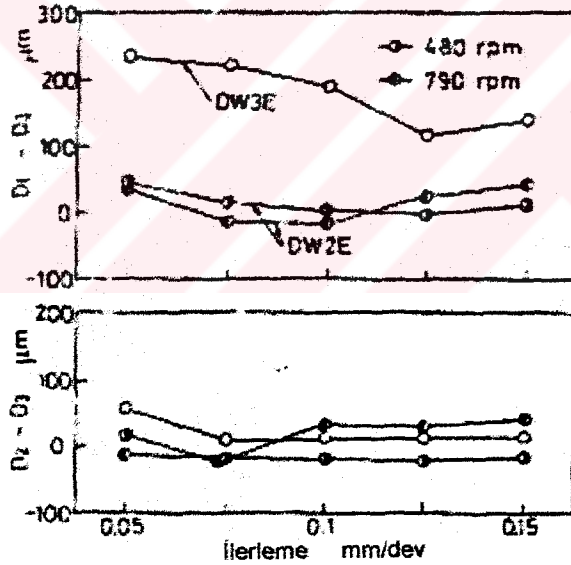
Şekil 3.133 Klasik ve üç kesen ağızlı sert metal matkaplar ile delinen deliklerin daireselliği (Ema ve Marui, 1992)

İki çeşit matkapla delinen deliklerin yüzey pürüzlülük değerleri R_a cinsinden Şekil 3.134'de gösterilmiştir. Sert metal matkapla işlenen deliğin yüzey kalitesi klasik matkabın işlediği delikten çok daha iyidir. Sonuçta ilerleme değerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi azdır, çünkü matkabın dış köşesinde yer alan kenarının yüzey kalitesine etkisi ortadan kaybolur. Deney sonuçlarından elde edilen standart sapmalar sırasıyla $11.6 \mu\text{m}$, 0.034° , $16.4 \mu\text{m}$, $11.5 \mu\text{m}$ ve $0.76 \mu\text{m}$ olup Şekil 3.130 – 3.134 arasında gösterilmiştir.

Sert metal alaşımli matkaplar kullanılarak küçük eksantrikli, doğrusal ve düzgün yüzeyli delikler elde edilmiştir. Fakat klasik matkaba göre delik girişinde silindiriklik ve dairesellik daha düşüktür. Bu tutarsızlığın sebebi aşağıda tartışılmıştır.



Şekil 3.134 Klasik ve üç kesen ağızlı sert metal matkaplar ile delinen deliklerin pürüzlülüğü (Ema ve Marui, 1992)



Şekil 3.135 Delik ekseninde oluşan vibrasyon çapları (Ema ve Marui, 1992)

Üç nokta metoduyla delinen deliğin gerçek çapının ölçülmesi zordur, çünkü deneyde kullanılan matkapların çapı 10 mm gibi küçük değerdedir. Her deliğin gerçek çapını ΔR değeri ile eşitlikten bulunmasıyla kesin bir sonuç elde etmek zordur, çünkü Şekil 3.111'de max 20 µm'lik sapma elektrik mikrometreyle gösterilmiştir. Delik girişine göre kare daireler her ölçme pozisyonu için ölçülmekte ve D_1 , D_2 , D_3 diye kodlanmaktadır. Delik çıkışında alınan D_3 çap değeri standarttır. Sert matkap için silindiriklik ve pürüzlülük değerlerinin

küçük olmasının delik boyunca delik çapının değişiminden olduğu tartışılmıştır. Şekil 3.135'de çap değerleri D1 – D3 giriş ve çıkış değerleri arasındaki farklılıklar gösterilmiştir. Aynı şekilde D2 – D3 çap değerleri için orta ve çıkış değerleri arasındaki fark gösterilmiştir. Klasik matkapla delinen delikler derinlik boyunca yakın çap değerlerine sahiptir. Diğer taraftan sert matkabın deliğin ortasında yakın çaplara, fakat giriş ile çıkış arasındaki çaplarda farklılıkların olduğu bulunmuştur.

Şekil 3.135'deki sonuçlardan, sert metal matkapla düşük silindiriklik ve pürüzlülük değerlerinin elde edilmesi şu şekilde açıklanabilir, delme operasyonunun başlarında sert vibrasyonlar oluşmasıdır. Bu vibrasyonlar Şekil 3.127'de gösterilen büyük uç açısına ve yüksek kesme hızı gerektirmesine bağlıdır. Yapılan deneylerden şu sonuç elde edilir: sert metal matkap eksantriklik, doğrusalılık ve yüzey kalitesi açısından klasik matkaplardan üstündür, fakat deliğin silindirikliği ve daireselliği klasik matkaba göre daha düşüktür. Bu dezavantajlar matkap ve matkap ucunun yeniden bilenmesiyle birlikte uygulamalarda etkili bir yararlanma sağlar. Bundan başka, klasik iki kesici ağza sahip matkap kullanarak vibrasyonların önlenmesi zordur. Bu konu çeşitli kesme açıları ve ölçüler kullanılarak açıklanmıştır (Fujii, 1986). Takım malzemesinden dolayı klasik matkabın çalışma hızını arttırmak zordur. Bu yüzden, küçük uç açısı kullanılarak sert metal matkabın kesme performansı artırılabilir, çünkü üç kesme ağızlı yüksek hız çeliğinden imal edilmiş matkapta vibrasyon olmamakta ve uç açısı 114° 'dir (Ema, 1988).

Ema ve Marui tarafından kesme performansını arttırmak için üç kesici ağza sahip sert metal matkap geliştirilmiştir. Bu matkap özel uç şekline sahip olup yüksek hızda delme işlemi yapabilmektedir. Delik hassasiyeti ve yüzey pürüzlülüğü ölçülerek şu sonuçlar elde edilmiştir:

- Üç kesici ağza sahip sert metal matkap iki kesici ağza sahip klasik matkaba göre eksantriklik, doğrusalılık ve yüzey pürüzlülüğü bakımından üstündür. Ancak delmenin başlangıcında meydana gelen vibrasyonlardan dolayı silindiriklik ve dairesellik değerleri daha düşüktür.
- Deneyler sırasında 0.1 mm/dev ilerleme değerinde en düşük eksantriklik ve doğrusalılıkta delikler elde edilmiştir.
- Araştırmalar sonucunda üç kesici ağza sahip sert metal matkabın klasik iki kesici kenara sahip matkaba göre silindiriklik hariç daha üstün olduğu bulunmuştur.

3.2.8 New Point Drill (NPD) Yeni Uçlu Matkap

Spiral matkaplar çok geniş kullanıma sahip kompleks kesici takımlardır. Matkap ve iş parçası için birçok faktör delme performansına etkir. Bunlardan biri de matkap uç şeklidir. Matkap uç geometrisi matkabın en kritik bölümüdür. Uç geometrisindeki küçük bir geometri değişikliği matkap performansını büyük ölçüde etkileyebilir.

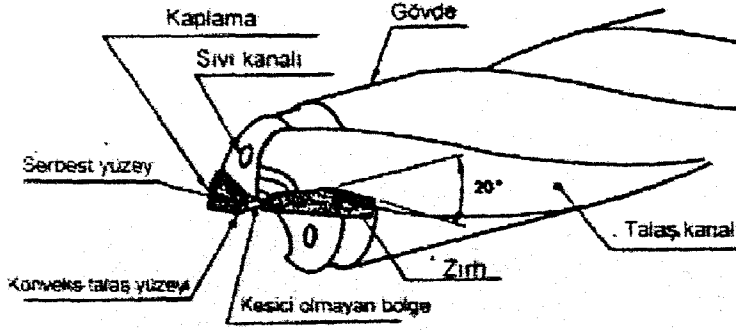
Matkap geometrisinin kesme kuvvetini azaltıcı ve matkap ömrünü arttırıcı birçok değişkeni birçok bilim adamı tarafından araştırılmıştır. Örnek olarak, uç inceltme metodu (point thinnig method) radyal ağzın köşesinde daha fazla boşluk oluşturur. Bu da matkap eksenel kuvvetini azaltır ve matkap ömrünü arttırır. Bir diğer matkap performansını değiştiren faktör ise öz kalınlığıdır. Kalın öz ise radyal ağz boyu artar, daha çok talaş kaldırılır fakat yüksek eksenel kuvvet oluşur. Bu örnekler çoğaltılabilir.

Matkap performansını araştırmak için önemli bir yol da sert metal uçlu matkap oluşturmaktır. Bu tür matkaplar HSS matkabının ucuz olması ile yüksek kesme performansına sahip sert metalin yüksek yüzey kalitesi sağlama avantajlarının birleştirilmesidir.

Sert metal uçlu matkapların aşınma miktarı yüksek hız çeliği matkaplara göre daha azdır. Daha yüksek hızlarda çalışma ve matkabın iş parçasına nüfuziyet miktarında artış sağlanır. Buna rağmen, sert metal uçlar özellikle radyal ağz bölgesinde talaş oluşumundan etkilenirler. Bu dezavantajdan dolayı uygun uç geometrisi oluşturmak için birçok araştırma yapılmıştır.

HSS (yüksek hız çeliği) matkap için uygulanan öz inceltme yöntemi sert metal uçlu matkaplar içinde uygulanmıştır. Belirtilen araştırmaların sonucunda Negishi tarafından 1983 yılında New Point Drill (NPD) sert metal uçlu matkap bulunmuştur. New Point Drill kesici olmayan merkezli sert metal uçlu matkaptır. Bu matkabın yapısı Şekil 3.136'da gösterilmiştir. Bu tür sert metal uca konveks talaş yüzeyi ve taşlanmış serbest yüzey eklenmiştir.

Sert metal içeren uç matkap gövdesine lehimlenmiştir. Bu lehimleme işlemi kesici olmayan merkez bölge ile temasta değildir. Oluşturulan sert metal uç, lehim edildikten sonra taşlamaya veya bilemeye tabi tutulmaz. Radyal ağzın elimine edilmesiyle matkabın bu bölgesindeki iş parçası ekstrüzyon yerine burulmaya (twisting) maruz kalır.



Şekil 3.136 New Point Drill matkabının yapısı (Deviries ve Crosheck,1988)

Matkabın yeniden bileme gerektirmesi delme operasyonunun ekonomikliğine zarar verir. Periyodik olarak yeniden bileme işlemi yüksek maliyet gerektirir. Fakat radyal ağız merkezinin elimine edilmesinden dolayı New Point Drill matkabının bilenmesi kolaylaşır. Sadece serbest yüzeyler bilenir. Bu serbest yüzeylerde kavisli kompleks yüzeyler olmadığından bileme işlemi kolay olur. Talaş yüzeyi şekilli (konveks yüzeyli) olduğundan bilenmesi uygun değildir.

3.2.8.1 Bu Konuda Yapılan Çalışmalar

The New Point Drill (NPD) sert metal uçlu ve merkezinde kesici olmayan bölgeye sahip matkaptır. İki kesici kenar tarafından merkez konik bölgede oluşan talaşlar SEM ve mikroskopla Devries, M.F. ve Crosheck, M.K. (1988) tarafından araştırılmıştır. Uygulanan deneylerle HSS spiral matkap ile New Point Drill sert metal uca sahip spiral matkapların kesme mekanizması ve performans karakteristikleri test edilmiştir. SEM ve mikroskop kullanılarak kesici kenarların kesme mekanizması ve New Point Drill'in merkez ara kısmı tarif edilmiştir. Değişik uç geometriye sahip NPD ile HSS spiral matkapların moment, aksenal kuvvet ve mil güçleri karşılaştırılmıştır.

Bu deney değişik geometriye sahip sert metal uçlu New Point Drill matkapları ile HSS spiral matkapların kesme performansı karakteristiklerini ve talaş yapısını içermektedir. Çizelge 3.11'de deneyde kullanılan matkapların listesi ve bazı özellikleri görülmektedir. Kullanılan ekipman ve deney sayısı ayrıca belirtilecektir.

Kullanılan matkap tezgahı, "DN – IV Toyada " model mümerik kontrollü kumanda merkezli, 11 KW motorlu ve mekanik hareket aksenlidir. Deney esnasında oluşan aksenal kuvvet ve

momentin ölçümü 9271 A model Kristler marka iki kanallı pizoelektrik dinamometreyle yapılmıştır.

Çizelge 3.11 Deneyde kullanılan matkap çeşitleri (Deviries ve Crosheck, 1988)

kodlar	Matkap geometrisi tanımı	Ölçüler (mm veya derece)						
		Çap	Tüm boy	Uç açısı	Helis açısı	Öz kalınlığı	Öz konikliği	Sap konikliği
C-1	Mailer uçlu (sert metal)	20	156	110	20	5,5	0,5/100	0,09/100
C-2	Mailer ve Maidensea uçlu (sert metal)	20	156	110	20	5,5	0,3/100	0,09/101
C-3	TiN kaplı ve öz inceltilmiş (sert metal)	20	156	140	20	7,5	0/100	0/100
C-4	TiN kaplı ve öz inceltilmemiş (sert metal)	20	156	140	20	6	0,2/100	0,2/100
C-5	NPD (New Point Drill) (sert metal)	20	156	140	20	5,5	2,2/100	0,4/100
H-1	Klasik uçlu öz inceltilmiş (HSS)	20	190	118	30	2,7	1,5/100	0/100
H-2	Split uçlu (Oxford tipi) (HSS)	20	190	118	30	2,7	1,5/100	0/100
H-3	Spiral uçlu (Ernst ve Haggerty tip) (HSS)	20	190	118	30	2,7	1,5/100	0/100
H-4	Klasik uçlu öz inceltilmemiş (HSS)	20	190	118	30	2,7	1,5/100	0/100



Dinamometre iş parçalarını kolay alabilmesi için üç ayna çenesine sahiptir. Eksenel kuvvet ve moment sinyalleri amplifikatör (yükselteç) ile kuvvetlendirilmekte ve YEW marka 2832 model photocorder ile ayrı olarak kaydedilmektedir. Delme esnasında su – solisyon oranı 5:1 olan emülsiyon tip kesme sıvısı kullanılmıştır. Kesme sıvısı 300 Kpa basınçta $5 \cdot 10^{-5}$ – $6 \cdot 10^{-5}$ m³/s akma hızıyla sert metal uçlu matkabın kesme sıvısı kanalından gönderilmiştir. HSS matkaplar için kesme sıvısı yaklaşık aynı akma hızıyla iki nozül vasıtasıyla uygulanmıştır.

İş parçaları iki ayrı çelikten oluşmaktadır. Bunlar S15C (AISI 1015) çeliği ve S45C (AISI 1045) çeliğidir. Bu iş parçalarının çapı 50 mm, uzunluğu ise 60 mm'dir. S45C iş parçası malzemesi ise iki değişik sertlik düzeyinde hazırlanmıştır. Üç çeşit sertlikten ve iki çeşit çelikten oluşan örnekler rasgele seçilerek enine ve boyuna şekilde mikro yapıları test edilmiştir. Diğer farklı sertlik değerlerine sahip iş parçaları rasgele seçilip Rockwell Sertlik testleri uygulanmıştır.

S15C iş parçası malzemesi 65 HRB sertliğe sahiptir. S15C malzemesini mikro yapısı incelendiğinde ferrit yapının hakim olduğu ve yaklaşık %20 oranında perlit yapı içerdiği bulunmuştur. S45C iş parçası malzemesi ise 96 HRB ve 104 HRB sertliklere sahiptir. 96 HRB

sertlikteki S45C iş parçası malzemesi perlit yapıya sahip olup, %25 oranında ferrit içermektedir. 104 HRB sertliğe sahip S45C iş parçası malzemesi ise martenzit yapıya sahiptir.

Deneysel prosedür ilk olarak S15C çeliği için, sonra sırayla 96 HRB sertlikteki çelik ve 104 HRB sertlikteki çelik için uygulanmıştır. Her iş parçası malzemesi için sert metal uçlu matkapların testleri HSS spiral matkapların testlerinden önce yapılmıştır. Toplam yirmi sekiz test koşulu uygulanmıştır. Her test koşulu için üç ila beş delik delinmiştir.

Sert metal uçlu matkap için kesme hızı 60 m/dak, ilerleme oranı 0.3 mm/dev seçilmiştir. Sert metal matkap için delme derinliği kullanılan matkabın çapının iki katı daha büyük yani 40 mm seçilmiştir. Ancak 104 HRB sertlikteki S45C çeliği için delik derinliği iş parçasının kısırlığından dolayı matkap çapının 1,3 katı yani 26 mm olarak sınırlandırılmıştır.

HSS spiral matkaplar için kesme hızı 20 m/dak, ilerleme oranı 0.4 mm/dev seçilmiştir. HSS matkap için delme derinliği kullanılan matkabın çapının 1.5 katı daha büyük yani 30 mm seçilmiştir. Ancak 104 HRB sertlikteki S45C çeliği için delik derinliği matkap çapının 1,3 katı olarak yani 26 mm olarak sınırlandırılmıştır.

Her matkap testi için oluşan talaşlar toplanmıştır. Bütün testlerde NPD yani sert metal uçlu matkaplar için C-5 matkabının talaşları numune olarak alınmıştır. Talaşlar geniş talaşlar ve core chip (öz talaş) şeklinde ayrılmıştır. Güç ise zamana bağlı olarak her delme testi için kaydedilmiştir.

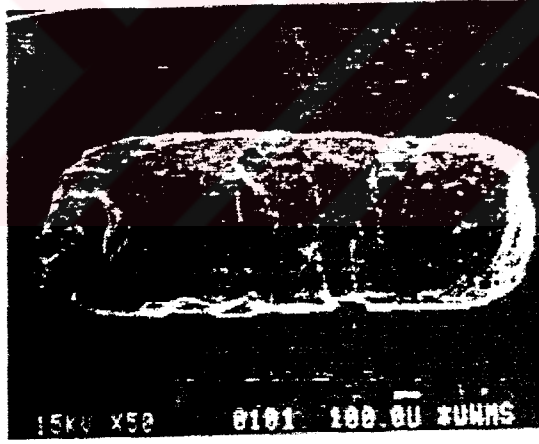
The New Point Drill kesici ağzın merkez bölgesinde kesici kenara sahip değildir, yani merkez bölgesinde ne talaş yüzeyi ne de serbest yüzey vardır. Delme işleminde meydana gelen aksenal kuvvetin azalmasının temel nedeni budur. Klasik spiral matkabın merkezinde bulunan kesme kenarı boyunca uzanan serbest yüzeyler, serbest yüzey ile iş parçası arasında sürtünme meydana getirir. Serbest yüzey boyunca bulunan uçlar ve dik ilerleme hızları aynı şekilde sürtünme oluşturur. Bunun yanında, yatay ve teğet kesme hız değişimleri matkaptaki radyusa bağlıdır.

Radyusun geniş olduğu ana kesici kenar boyunca normal kesme olduğundan serbest yüzeyle iş parçası alt yüzeyi arasındaki boşluk yeterlidir. Radyus küçüldüğünde, teğetsel kesme hızı azalır ve boşluk azaldığından serbest yüzeyde sürtünme oluşur. Bu problem matkap merkezinde daha da büyüktür. Büyük negatif boşluk açısından dolayı merkezde sıkışma

etkisi oluşur. The New Point Drill'de bu problem matkap merkez bölgesinde kesici kenar ve serbest yüzey elimine edilerek çözülmüştür.

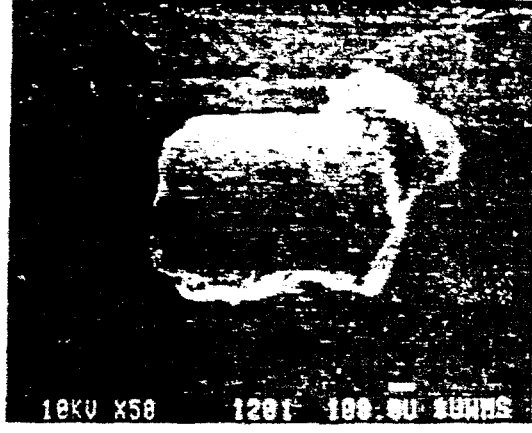
The New Point Drill yeni uç geometri ile matkapta twisting off mekanizması ile malzeme radyal ağız bölgesini çevresine gönderilir. Matkap deliğe temas ettiğinde core (öz talaş) boyu artar. Delme işlemi devam ettikçe core boyu 1mm olur veya ana malzemeden kopar. Sürtünme kuvvetlerinden dolayı gerilme oluşarak kırılmalar meydana gelir. Bu gerilmeler karşılıklı kenarlarda oluşur ve merkezdekenden daha büyük kayma gerilmesi oluşur. Delme işlemi devam ettikçe, başka öz talaşlar da oluşur, boyu büyür ve twisting off mekanizmasıyla kırılır. Bu kırılma stabil olarak devam eder.

Her test koşulu için yapılan deneylerde New Point Drill tarafından core talaşlar oluşmaktadır. Her test için core talaşları JEOL marka JSM - 35C marka Scanning Electron Microscope (SEM) ile araştırılmıştır. Şekil 3.137'de iki değişik resim görülmektedir. Bu şekiller 50 kat büyütülmüş ve resimde görülen silindirik şekillerin core talaşlar olduğu sanılmaktadır. Core talaşının ortalama çapı 0.75 mm olup bu çap kullanılan 200 mm çaplı matkabın oyuk genişliğiyle aynıdır.



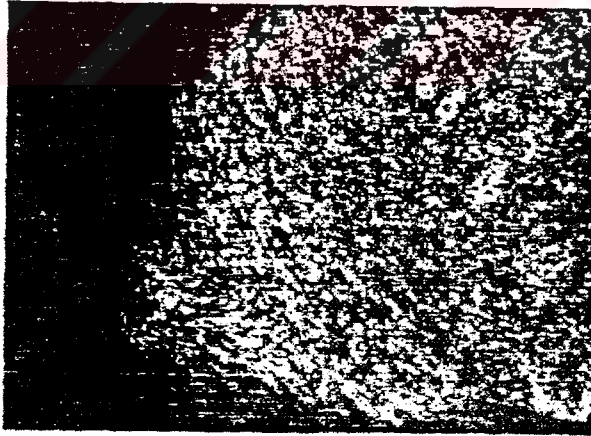
Şekil 3.137a 65 HRB S15C çeliğinin NPD ile delinmesinde oluşan öz talaş formu (Deviries ve Croscheck, 1988)

Şekil 3.137b'de açıkça görülen öz talaş, malzemenin kırıldığını açıkça gösterir ve bunların twisting off mekanizmasıyla ilişkili olduğu düşünülmektedir. İş parçası ile matkap arasında, dairesel kazıma sonucu relatif dönme kuvvetleriyle malzeme yapışması oluşur.



Şekil 3.137b 96 HRB S45C çeliğinin NPD ile delinmesinde oluşan öz talaş formu (Deviries ve Croscheck, 1988)

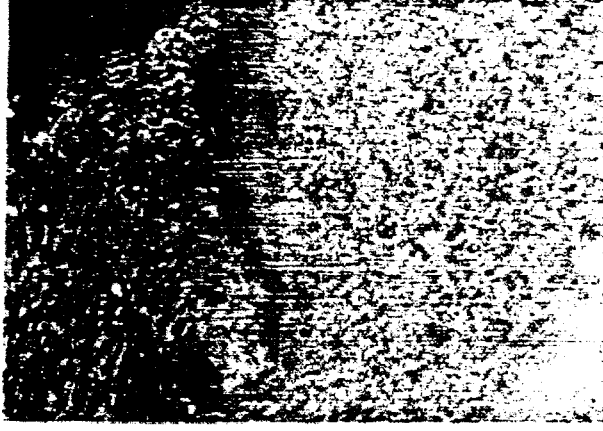
Üç ayrı sertlikteki malzemelerden alınan öz talaşlar parlatılarak ışıklı optik mikroskopla test edildi. Şekil 3.138a'da yirmi kat büyütülmüş 104 HRB S45C (AISI 1045) çeliğinin öz talaşı görülmektedir. Bu şekildeki öz talaş zerrelerinin dış sınırında oluşan dönme ve uzamalar kaymanın olduğunu belirtir. Şekil 3.138b'de 96 HRB sertlikteki S45C (AISI 1045) çeliğinin öz talaşı görülmektedir. Bu şekilde öz talaş kenarlarındaki zerrelerde görülen düzgün yuvarlaklık yumuşak kırılmayı ve zerrelerin uzunluğu ise kaymayı belirtir. Şekil 3.138c'de 65 HRB sertlikteki S15C (AISI 1045) çeliğinin öz talaşı (core chip) görülmektedir. Burada yumuşak kırılma ve kayma mevcuttur.



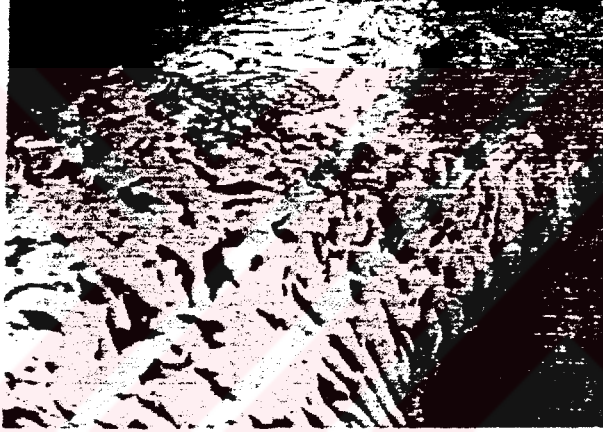
Şekil 3.138a 104 HRB S45C çeliğinin NPD ile delinmesinde oluşan öz talaşın mikroyapısı (Deviries ve Croscheck, 1988)

Şekil 3.139'da görüldüğü gibi HSS spiral matkap tarafından oluşturulan talaşın şekli sert metal uçlu matkabin talaş şeklinden farklıdır. Bu talaştaki biçim farklılıklarının ana nedeni ise farklı takım geometrileridir. HSS spiral matkap büyük helis ve talaş açısına sahiptir. Yine, HSS spiral matkap sert metal uçlu matkaba göre 1/3 oranında kesme hızıyla delme işlemini gerçekleştirmektedir. Genel olarak HSS spiral matkabin oluşturduğu talaş şekli spiral ve uzun

şekillidir. Sert metal uçlu matkabın oluşturduğu talaş şekli ise kısmi kıvrımlı kuyruk biçimindedir.



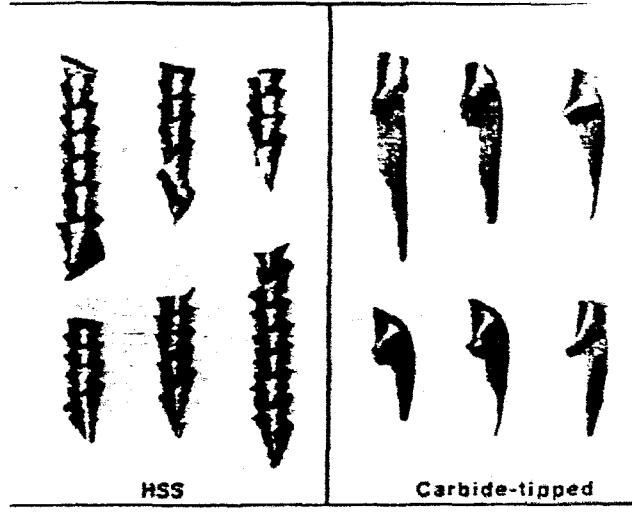
Şekil 3.138b 96 HRB S45C çeliğinin NPD ile delinmesinde oluşan öz talaşın mikroyapısı (Devries ve Croscheck, 1988)



Şekil 3.138c 65 HRB S15C çeliğinin NPD ile delinmesinde oluşan öz talaşın mikroyapısı (Devries ve Croscheck, 1988)

Şekil 3.140'da New Point Drill sert metal uçlu matkap için oluşan ardışık talaş formları görülmektedir. Talaşın bitim noktası talaş kanalının kenarına çarptığında, talaş kıvrımlaşır. Talaş, talaş kanalından ilerledikçe kesici kenarın yanından oyuğun başladığı yerde kopmaya başlar. Talaş, talaş kanalı boyunca ilerlerken, kopma boyu artar ve bu şekilde karakteristik kuyruk şekli oluşur.

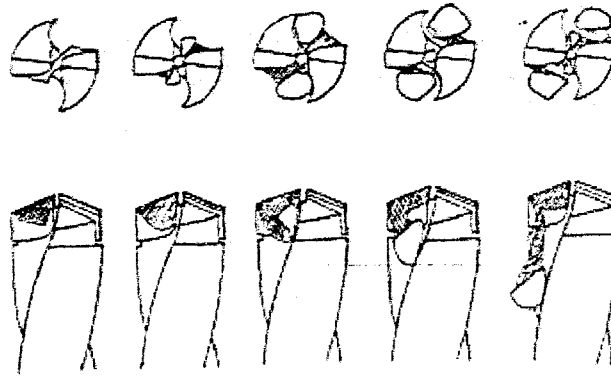
Deneyde kullanılan farklı uç geometrisine sahip HSS spiral matkaplar için (H-1, H-2, H-3, H-4) oluşan talaş şekilleri birbirine yakın geometriye sahiptir. Sert malzeme olan S45C iş parçası malzemesi delindiğinde oluşan talaş biçimi sık ve küçük şekillidir. S15C iş parçası malzemesinin delinmesi esnasında oluşan talaş şekli ise daha uzun olup 2/6 oranında daha az



Şekil 3.139 65 HRB S15C malzemesinin HSS ve sert metal kaplı matkapla delinmesinde oluşan talaşların karşılaştırılması (Deviries ve Croscheck, 1988)

kıvrımlıdır. 104 HRB sertlikteki S45C iş parçası malzemesinin oluşturduğu talaşın renginin saman rengi olması ve bazı bölümlerinde ise koyu mavi rengin oluşması aşırı ısınmaya delil teşkil eder.

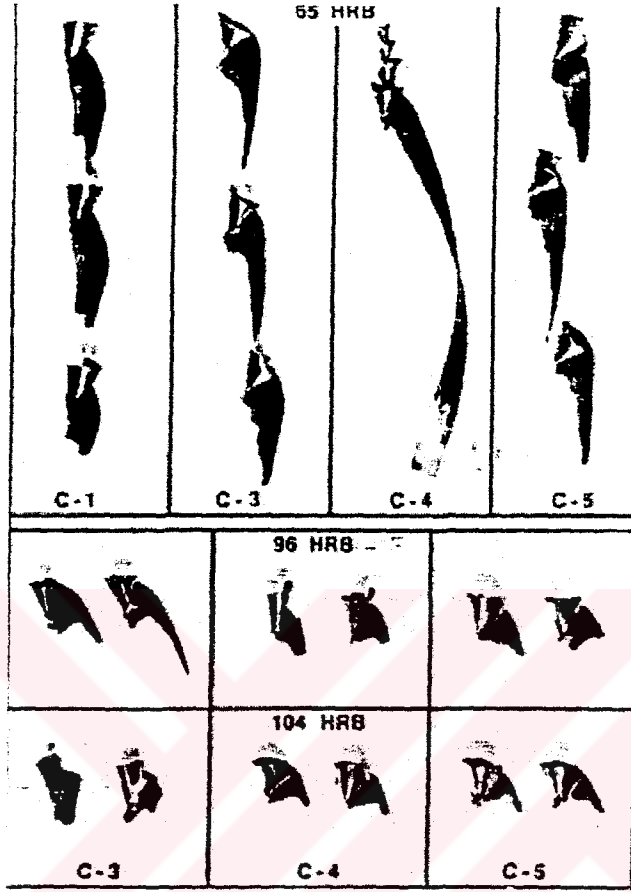
Sert metal malzemeli matkapla delme işleminde iş parçası malzemesinin sertlik değeri de talaş formuna etki eder. Oluşan talaş tipleri Şekil 3.141'de görülmektedir. İş parçası malzemesinin sertliğindeki artış talaş boyutunu ve kuyruk boyunu azaltmaktadır. 65 HRB sertlikteki S15C iş parçası malzemesi delindiğinde talaş boyutu en büyük değerini almakta ve iş parçası malzemesinin sertliği arttıkça talaş boyutu azalmaktadır. Aynı sertlik değerlerindeki S45C iş parçası malzemeleri için talaş şekillerinde farklılıklar yoktur. Çünkü bu aynı malzemenin sertliklerindeki farklılıklar büyük oranda değildir.



Şekil 3.140 NPD için talaş oluşum aşaması (Deviries ve Croscheck, 1988)

Delme işleminde kullanılan, sert metal uçlu spiral matkaplardan biri olan C-3 matkabının radyal ağız geometrisi farklı olduğundan yüksek sertlikte oluşan talaşlarda eğrilme açıkça

görülmektedir. Bu talaşların bazılarında saman rengi ve koyu mavi rengin olması aşırı ısının oluştuğunun delilidir. C-4 matkabında ise düşük sertlikte uzun boya sahip talaşlar oluşmaktadır. Genel olarak bu çeşit sert metal uçlu matkap bu çeşit talaş oluşturmaktadır.



Şekil 3.141 NPD ile değişik sertlikteki malzemelerin delinmesinde oluşan talaş formlarının karşılaştırılması (Deviries ve Croscheck, 1988)

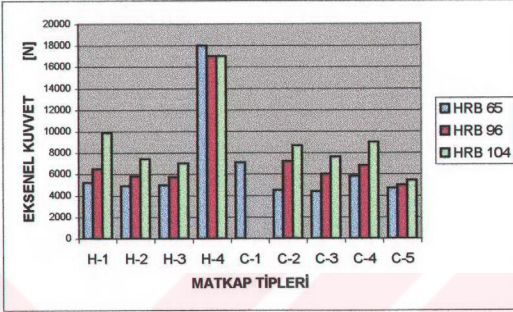
3.2.8.2 Klasik HSS Matkap ile Kesme Performansının Karşılaştırılması

Performans karakteristiklerinin analizi ortalama aksenal delme kuvveti, moment ve mil gücünün bulunmasıyla yapılır. Çizelge 3.12-13-14'de ortalama aksenal kuvvet, moment ve mil gücü sütun grafik olarak gösterilmiştir. Sütun grafikler incelendiğinde görüleceği gibi C-1 matkabı sadece bir sertlik değeri için teste tabi tutulmuştur. Bunun nedeni ise deney için sadece bir matkabın uygun olması ve bu matkabın 65 HRB sertlikteki S15C iş parçası malzemesi için denenmesidir.

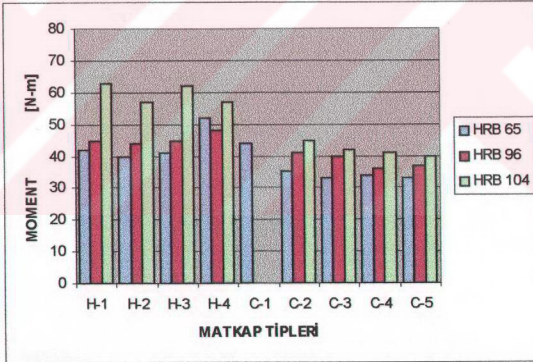
Çizelge 3.12-13-14'deki grafikler incelendiğinde Rockwell B sertliği arttığında her üç performans değerlerinin de arttığı görülmektedir. Bu genellemenin tek istisnası öz inceltmesiz klasik HSS spiral matkabıdır (H-4). Diğer bir genelleme ise H-4 matkabı hariç delme aksenal

kuvvetin eğilim artışının, moment ve mil gücünün eğilim artışından daha büyük oranda olmasıdır.

Çizelge 3.12 HSS ve NPD matkaplar için delme esnasında oluşan aksenal kuvvetler (Deviries ve Croscheck, 1988)

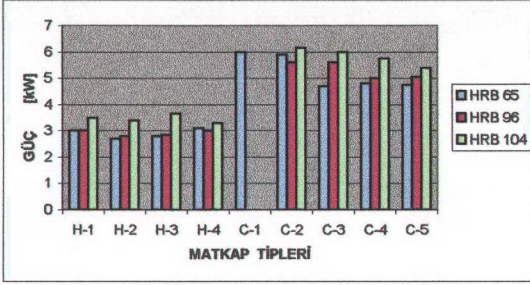


Çizelge 3.13 HSS ve NPD matkaplar için delme esnasında oluşan moment değerleri (Deviries ve Croscheck, 1988)



Eğer New Point Drill (C-5 Matkabı) diğer sert metal uçlu matkaplarla karşılaştırılırsa C-5 matkabında sertliğin artmasıyla ortalama aksenal kuvvet ve mil gücündeki artış, diğer sert metal uçlu matkapların ortalama aksenal kuvvet ve mil gücündeki artışlarından daha küçük olduğu görülür. New Point Drill (C-5) için iş parçası malzemesinin sertliği 65 HRB'den 104 HRB'ye yükseldiğinde ortalama aksenal kuvvet %25 oranında artar. Diğer sert metal kaplı matkaplarda sertliğin artışına göre aksenal kuvvet artış oranı %63 ile %97 arasındadır. New Point Drill (C-5 Matkabı) ve diğer sert metal kaplı matkaplar için sertliğe bağlı olarak moment değerinde önemli bir artış olmaz.

Çizelge 3.14 HSS ve NPD matkaplar için delme esnasında oluşan güç değerleri (Devries ve Croscheck, 1988)



Sertliğe bağlı olarak New Point Drill için mil gücünde ortalama %12 artış olurken, bu artış diğer sert metal uçlu matkaplar için %17 ile %27 arasındadır. Sonuçta, New Point Drill (C-5 matkabı) ile diğer sert metal uçlu matkaplar arasındaki en önemli fark performans karakteristiklerini belirleyen aksel kuvvettir. NPD'nin delme aksel kuvveti diğer sert metal uçlu matkaplara göre daha azdır. Elde edilen bilgilerle HSS klasik spiral matkap ile NPD karşılaştırılırsa:

- Sert metal uçlu matkapların oluşturdukları talaş formları birbirine yakındır ve çoğunda kısmi kıvrım ve karakteristik kuyruk mevcuttur. İş parçası malzemesindeki sertlik artışı talaş şekline az miktarda etkir. Aynı kesme koşulları kullanıldığında New Point Drill (NPD) matkabının oluşturduğu talaş formu, sert metal uçlu matkapların oluşturduğu talaş formundan daha uniformdur.
- HSS spiral matkap ile delme işleminde oluşan talaş sıkışık spiral şeklinde olup, uzunluğu delme esnasında değişir. İş parçası malzemesinin sertliği arttıkça daha kısa spiralli talaşlar oluşur.
- New Point Drill ile yapılan delme işleminde oluşan aksel kuvvet, kesici kenarı merkezine kadar uzanan diğer sert metal uçlu matkaplara göre önemli miktarda daha küçüktür. İş parçası malzemesinin sertliği arttıkça New Point Drill (NPD) ile diğer sert metal uçlu matkaplar arasındaki aksel kuvvet farkı büyür. Diğer sert metal uçlu matkaplara göre New Point Drill ile S15C (65 HRB) iş parçası malzemesi delindiğinde oluşan aksel kuvvet %18 daha az, S45C (96 HRB) iş parçası malzemesi için aksel kuvvet %26 daha az, S45C (105 HRB) iş parçası malzemesi için aksel kuvvet %35 daha azdır.

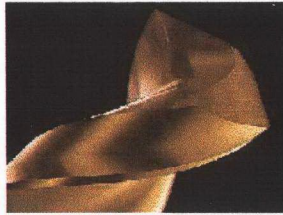
- HSS spiral matkaplarda öz inceltmesi aksel kuvveti %50 oranında azalır.
- HSS spiral matkap ve sert metal uçlu matkaplarda merkez bölgesi uç geometrisindeki değişikliklerin moment ve mil gücüne etkisi azdır.

3.2.9 Yüksek Performans Matkapları

Teknolojideki ilerlemeler doğrultusunda talaş kaldırma işlemi için yeni tip takım tezgahları geliştirilmiştir. Günümüzde yüksek hızda talaş kaldırma işlemi (high speed machining) yapan tezgahlar üretilmektedir. Endüstriyel gelişmelerle birlikte artık yüksek sertlikte malzemeler sanayide kullanılmaktadır. Delme işleminde de bu gelişmeler yaşanmaktadır. Bu doğrultu da delme işlemi için yüksek sertliğe sahip, yüksek kesme hızlarında çalışabilen, dayanıklı ve uzun ömürlü matkaplar üretilmesi ihtiyacı duyulmuştur. Bu amaçla üretilen matkaplar yukarıdaki bölümlerde belirtilen üstün özelliklere sahip matkaplardır. Bu tür matkaplara yüksek performans matkapları denilmektedir. Aşağıda çeşitli yüksek performans matkapları incelenmiştir.

- 8xD Delme Derinliği için geliştirilmiş yüksek performans matkabı (D-Matkap çapı):

Şekil 3.142'de 8xD delme derinliği için geliştirilmiş yüksek performans matkabı görülmektedir. Bu matkap türü daha çok dökme demir, çelik, bronz ve pirinç gibi malzemelerin delinmesinde tercih edilir ve TiN kaplıdır. İki kesici kenarı olup parabolik talaş kanalına sahiptir. Büyük delme derinlikleri için kullanılmaktadır. Şekil incelendiğinde matkabın sahip olduğu parabolik talaş kanalı sayesinde, yüksek hızlı delme işleminde oluşacak talaşların kolayca akabileceği sonucuna varılabilir.

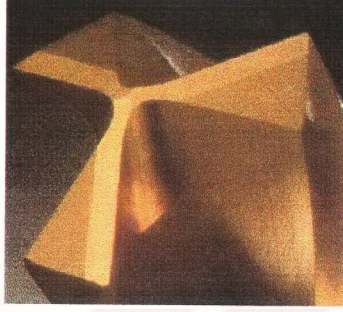


Şekil 3.142 8xD delme derinliği için geliştirilmiş yüksek performans matkabı

- D Delme Derinliği için geliştirilmiş yüksek performans matkabı:

Bu matkap çeşidi üç kesici ağza sahiptir. Üç talaş kanalı vardır. Genel amaçlı kullanım tasarlanmıştır. Alüminyum ve dökme demir alaşımlı malzemeler için geliştirilmiştir. Uç açısı 150° olup düz sapa sahiptir. Üç talaş kanalı sayesinde talaş akışı hızlıdır. Şekil 3.143'de matkabın uç geometrisi görülmektedir. Üç kesici ağız sayesinde daha küçük talaşlar oluşur ve

yüksek hızlarda talaş kaldırma işlemi yapılabilir. TiN kaplamaya sahip olduğundan klasik matkaplara göre aşınma dayanımı ve takım ömrü yüksektir. Bu sayede delik başına maliyet miktarında azalma sağlanır.



Şekil 3.143 D delme derinliği için geliştirilmiş yüksek performans matkabı

- 4xD Delme Derinliği için geliştirilmiş yüksek performans matkabı:

Bu matkap türü gri dökme demirin delinmesi için geliştirilmiştir. Matkap iki kesici ağıza sahiptir. K40 sert metal malzemeden imal edilmiş olup uç açısı 120° 'dir. Delme işlemi sonucunda raybalamada elde edilebilecek IT7 yüzey kalitesi elde edilir. Delik pürüzlülüğü düşük olup delik kalitesi çok yüksektir. Bu özellikler bu matkabı üstün kılar.



Şekil 3.144 4xD delme derinliği için geliştirilmiş yüksek performans matkabı

Şekil 3.144 incelendiğinde talaş kanalının düz olduğu görülür. Talaş kanalı içeri doğru oyuk olup çift zırha sahiptir. Bu sayede talaş akışı hızlı gerçekleşir. Ayrıca matkabın iki kesme sıvısı kanalı mevcuttur, bu sayede kesme sıvısı istenilen bölgeye akar. Kesme sıvısı boşa

azalmaz, matkap ile iş parçası arasındaki sürtünmede ve sıcaklıkta azalma olur. Bunun sonucunda aşınmada azalma ve matkap ömründe artış sağlanır.

Sonuçta yüksek performanslı matkaplarla daha hızlı kesme, daha iyi boyutsal ve dairesel delik hassasiyeti sağlanmaktadır.

3.2.10 Kesme Sıvısı Kanallı Spiral Matkaplar

Kesme sıvısı kanallı spiral matkaplar, delme işleminde kullanılan kesme sıvısı veya gaz gibi soğutucu maddeleri kanal vasıtasıyla direkt olarak ileten delme takımlarıdır. Bu da belirli delme işlemleri için birçok avantaj sağlar. Yıllarca derin delikler için yağ kanallı matkap (oil – hole drill) kullanılmıştır. Bu tür matkaplar daha çok yatay uygulamalarda kullanılmasına rağmen talaş akışında istenilen başarı elde edilememiştir.

Günümüzde, kesme sıvısı kanallı yeni tip matkap geliştirilmiştir. Bu matkap geniş kullanım alanı bulmaktadır. Uygulama alanı fazla derin olmayan delikler olmaktadır. Daha fazla delme oranı ve uzun takım ömrü sağlanmıştır. Merkezleme amacıyla da birçok uygulama alanı bulmaktadır. İş parçasının aynaya bağlandığı torna tezgahlarında ve revolver torna tezgahlarında küçük yüzeyel delikler oluşturmak için kullanılmaktadır. Özellikle uçak endüstrisinde birçok uygulama alanı bulmuştur.

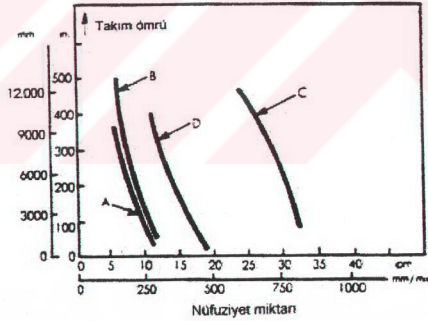
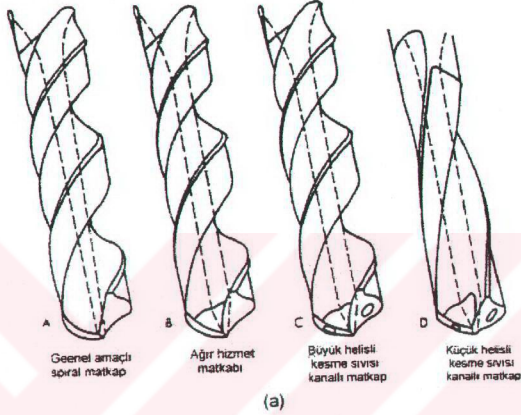
3.2.10.1 Avantajları ve Sınırlamaları

Birçok delme uygulamalarında, kesme sıvısı gerekli alana gönderilemez ve bir kısmı boş gidebilir. Bunun sonucunda kesme sıvısından elde edilen fayda azalır, maliyet artar. Bunun yanında kesme sıvısı kanallı matkapta, kesme sıvısı kesici kenarla direkt temastadır. Bunun sonucunda aşınmada azalma, matkap ömründe artış sağlanır. Değiştirme zamanı azaldığından delik başına maliyet azalır.

Kesme sıvısı kanallı uygulamalarda, klasik matkaba göre daha yüksek hız ve ilerleme oranı kullanılır. Bunun sonucunda talaş kaldırma hızı ve üretkenlik artar. Şekil 3.145’de iki adet klasik spiral matkap ve iki adet kesme sıvısı kanallı matkapların delme işlemi sonuçları grafik olarak verilmiştir. Matkabın iş parçasına nüfuziyet miktarı (penetration rate) bakımından kesme sıvısı kanallı matkaplar daha üstündür. Deney 127 Bhn sertlikteki SAE 1018 çeliği için, 4” (102 mm) delik derinliği için, 22 mm çapındaki iki adet spiral matkap ve iki adet 22 mm çapındaki kesme sıvısı kanallı matkaplarla yapılmıştır. Deney sonuçlarında birinci tür A klasik matkap 8890 mm delme derinliği için iş parçasına nüfuziyet miktarı 152 mm/dak’dır.

Bu değerler B klasik matkabında, 1270 mm delme boyu için iş parçasına nüfuziyet miktarı 305 mm/dak'dır.

Kesme sıvısı kanallı D matkabı 10160 mm delme boyu için 279 mm/dak iş parçasına nüfuziyet miktarı (penetration rate) sağlamaktadır. C matkabı ise 10160 mm delme boyu için 584 mm/dev iş parçasına nüfuziyet miktarı sağlamaktadır.



Şekil 3.145 a) Çalışmada kullanılan iki spiral matkap ve iki kesme sıvısı kanallı matkaplar
b) Kesme sıvısı kanallı matkap kullanımıyla nüfuziyet oranı değişimi
(Drozda ve Wick, 1983)

Yukarıdaki grafik incelendiğinde, kesme sıvısı kanallı C matkabının bu uygulama için en iyi seçim olduğu görülür. C matkabının talaş akışı normal, ilerleme oranı üç kat daha fazladır. Kesme sıvısı 9,5 L/dak hızla, 4834 Pa basınçlı pompa ile sağlanmıştır. Deney esnasında, kesme sıvısı kanallı matkap için klasik spiral matkaba göre %10 daha yüksek başlangıç hız ve %25 daha yüksek ilerleme oranı kullanılmıştır.

Kesme sıvısı kanallı matkaplarda genel olarak talaş akışı daha hızlıdır. Sonuçta, takım ve iş parçası arasındaki ısı transferi azalmış, deliklerin konum ve yüzey hassasiyetleri daha üstün olmuştur. Sıcaklık ve sürtünmenin azaltılmasıyla hava kirliliği minimize edilmiştir.

Nükleer sanayi endüstrisinde, uçak ve uzay endüstrisindeki uygulamalarda kesme sıvısı kanallı matkap yüzey kalitesini arttırmaktadır.

Yukarıda sayılan avantajlar yanında kesme sıvısı kanallı matkapların sınırlamaları da vardır. Sınırlamaları şu şekilde sıralanabilir:

- Kesme sıvısı kanallı matkapları fiyatlarının pahalılığı ve ekipman gerekliliği kullanım alanının genişliğine engel teşkil eder.
- Deneyler sonucunda kesme kanallı spiral matkapların çoğunlukla produktiviteyi arttırdığı, uzun takım ömrü sağladığı ve birçok fayda getirdiği saptanmıştır. Fakat bu sonuçlar delik başına düşen maliyettir. Matkapın maliyeti değildir.
- Kesme sıvısı kanallı matkapın matkap tezgahına yerleştirilmesi klasik spiral matkaba göre daha uzun zaman alır.
- Matkap tezgahının kesme sıvısı kanallı matkap için uygun donanımına sahip olması gerekir.
- Matkap tezgahının kesme sıvısı kanallı matkap için gerekli yüksek ilerleme ve hız değerlerini sağlaması gerekir. Bu da tezgah maliyetini artırır.

3.2.10.2 Çeşitleri

Birçok çeşit kesme sıvısı kanallı matkap mevcuttur. Kesme sıvısı kanallı matkaplar düz saplı veya konik saplı olabilirler. Geniş ölçü serbestisine sahiptirler. 3,2 – 7,6 mm çap aralığında ve ekstra uzun boya sahip olabilirler. Birçok uygulama için paralel öz konstrüksiyona sahip ağır hizmet matkapları en kullanışlı matkaplardır.

Helis açısı yaklaşık 14° – 22° olan düz helis açılı kesme sıvısı kanallı matkaplar daha çok matkap stabil haldeki delik delme işlemlerinde, yatay delme işlemlerinde ve dökme demirlerin delinmesinde kullanılır. Küçük helis açısı, talaş ve sıvı akışı için dar yol bırakır, fakat bunun yanında daha yüksek moment ve eksenel kuvvet gerektirir. Dik delme işlemleri için 30° – 34° helis açılı orta helisli kesme sıvısı kanallı matkaplar kullanılır. Orta helisli matkap türü düşük sertlikteki yumuşak malzemelerin delinmesinde ve matkapın dönel hareketli olduğu delme işlemlerinde tercih edilir.

Genel olarak kesme sıvısı kanallı matkaplar 118° uç açısına sahiptir. Bazen çeşitli malzemeler için inceltme işlemi yapılarak aksel kuvvet azaltılabilir. Radyal ağızdaki öz kalınlığı matkap çapının %5 - %10'u arasındadır. Bu oran matkap boyuna göre değişir.

Talaş akış hızını arttırmak için matkap uç geometrisinde ufak değişiklikler yapılabilir. 135° uç açılı matkap dizayn edilerek talaş genişliği azaltılır ve kalınlık artar, bu sayede talaş kanalından talaş akışı kolaylaşır. Delinecek derinlik için kullanılacak en kısa matkap kullanılarak rijitlik ve hassasiyet artırılır.

Birçok kesme sıvısı kanallı matkap için malzeme olarak yüksek hız çeliği kullanılmaktadır. Sert metal malzemeli kesme sıvısı kanallı matkap ise daha çok büyük delik çaplı dökme demir ve sert malzemelerden için tercih edilmektedir. Bu sayede daha uzun takım ömrü sağlanmaktadır.

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

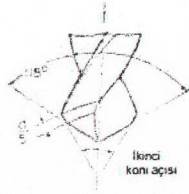
Klasik spiral matkap ile çift konili matkap, yapılan deneysel çalışmada karşılaştırılmıştır. Denejde, klasik spiral matkap ile iki farklı konik açılı çift konili matkap ve iki farklı kesme hızı kullanılmıştır. Matkapların aşınma miktarları ölçülerek aşınma eğrileri oluşturulmuştur. Daha sonra aşınma miktarına ve kesme hızına bağlı olarak logaritmik ömür eğrisi bulunmuştur.

4.1 Denej Şartları ve Düzenegi

Denejde üç çeşit matkap kullanılmıştır. Matkapların özellikleri Çizelge 4.1 'de belirtilmiştir. Bu matkapların biri klasik spiral matkap olup H1 olarak kodlanmıştır. Diğer iki matkap ise çift konili matkap olup ikinci koni açısı 90° olan matkap H2, ikinci koni açısı 60° olan matkap ise H3 olarak adlandırılmıştır. Kullanılan matkapların malzemesi yüksek hız çeliğı olup çapları 12 mm'dir. Çift konili matkaplarda ikinci açı serbest yüzeyin bitiminden 2.4 mm kadar içeride oluşturulmuştur. Çift konili matkapın şekli ve açıları Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Çift konili matkaplar Hassas Mühendislik Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti. tarafından bilennmiştir.

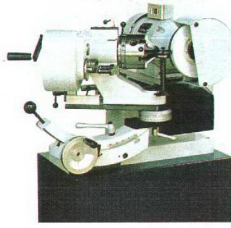
Çizelge 4.1 Denejde kullanılan matkap çeşitleri

Matkap kodu	I. Koni açısı	II. Koni açısı	II. Koni açığı bölgesi genişliğı	Malzeme	Çap
H1	118°	—	0	HSS	12 mm
H2	118°	90°	d/5	HSS	12 mm
H3	118°	60°	d/5	HSS	12 mm



Şekil 4.1 Çift konili matkap

Bileme işlemini için TB-32A Üniversal matkap bileme tezgahı kullanılmıştır. Bileme makinasının motor gücü 0.37 kw, motor devri 2800 dev/dak, taş kesme hızı 25 m/s, bilenebilen uç açıları $40^{\circ} - 180^{\circ}$ arasındadır. Bileme makinası Şekil 4.2'de görölmektedir.



Şekil 4.2 Matkap bileme tezgahı

Deneyde kullanılan malzeme ise St 37 imalat çeliğidir. İş parçası kalınlığı ise 10 mm'dir. İş parçası genişliği 40 mm olup iş parçasında iki sıra delik delinmiştir. Delme işleminde 800 dev/dak'lık devir kullanılmıştır. İlerleme sabit olup 0.1 mm/dev seçilmiştir. Delme işleminde kesme sıvısı kullanılmamıştır. Delme işleminin yapıldığı matkap tezgahı Şekil 4.3'de gösterilmiştir. Matkap tezgahı Tezsan marka olup 130 – 1750 dev/dak arasında kademesiz



Şekil 4.3 Matkap tezgahı

olarak çalışabilmekte, 2.2 kw'lık motara sahiptir. 180 mm stroku olup mandrenine 26 mm çapa kadar matkap bağlanabilmektedir. Tezgahta üç ilerleme değeri olup 0.1 mm/dev, 0.2 mm/dev ve 0.3 mm'dev'dir.

Her matkap için delikler delindikten sonra kesici kenar aşınmaların bilgisayar ortamına aktarılabilmesi için Şekil 4.4'de görülen deney düzeneği kullanılmıştır. Aşınmaların belirlenebilmesi için İntel marka 200 kata kadar büyütme yapabilen mikroskop kullanılmıştır. Mikroskopta x10, x60 ve x200 büyütme yapılabilir. Kesici kenardaki aşınmalar 10 kat büyütülerek bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Kullanılan PC, İntel Pentium III 700 Mhz işlemciye, 128 MB 133 MHz SDRAM'e, 16 MB Voodoo 3 DFX ekran kartına ve 14" monitöre sahiptir.



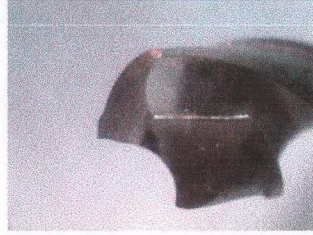
Şekil 4.4 Deney düzeneği

4.2 Deneyin Uygulanışı

İlk deney 800 dev/dak'lık devirde yapılmıştır. İlerleme sabit olup 0.1 mm/dev alınmıştır. Üç değişik matkap için belli delme sayısından sonra aşınma ölçümü yapılmıştır. Delme işlemleri için zamana göre üç matkabın kesici ağızlarında oluşan aşınmalar on kat büyütme şeklinde zamana bağlı olarak H1 matkabı için Şekil 4.5'de, H2 matkabı için Şekil 4.6'da, H3 matkabı için Şekil 4.7'de gösterilmiştir.



a) t = 1.2 dak.



b) t = 3.4 dak.



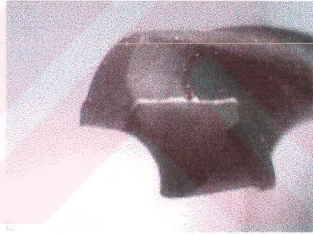
c) 6.8 dak.



d) 10.2 dak.



e) 13.6 dak.



f) 18.7 dak.

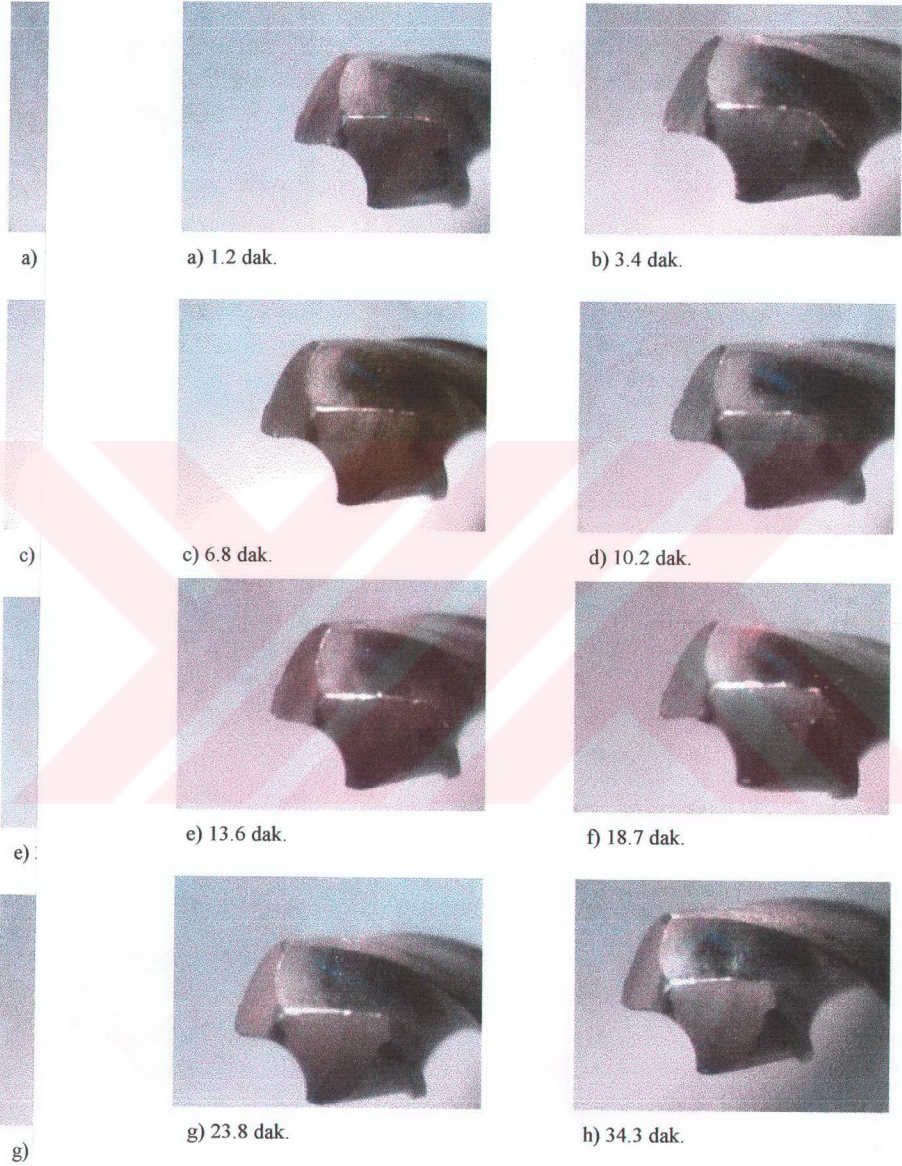


g) 23.8 dak.



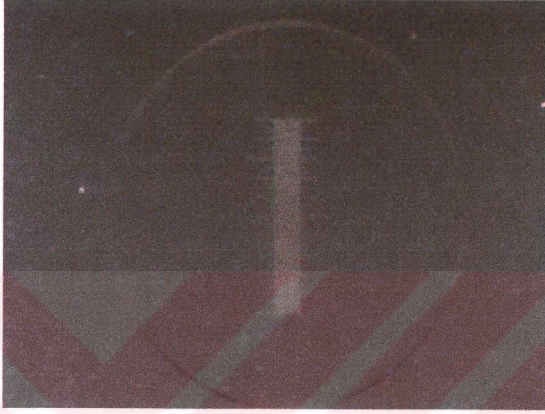
h) 31.62 dak.

Şekil 4.5 H1 matkabı için zamana göre kesici ağızdaki aşınmalar (800 dev/dak)



Şekil 4.6 H2 matkabı için zamana göre kesici ağızdaki aşınmalar (800 dev/dak)

Matkaplarda oluşan aşınmalar görüntülenip bilgisayar ortamına aktarılmasından sonra objektif mikrometresiyle ölçülmüşlerdir. Objektif mikrometresinde 1 mm uzunluk 100 eşit parçaya bölünmüştür. Objektif mikrometresinin 60 kat büyütülmüş görüntüsü Şekil 4.11'de verilmiştir. Objektif mikrometresiyle 0.05 mm hassasiyette ölçüm yapılabilmektedir.



Şekil 4.11 Objektif mikrometresi (60 kat büyütülmüş)

Ölçümün yapılabilmesi için elde edilen aşınma resimlerinin de 60 kat büyütülmesi gerekmektedir. Bunun için elde edilen aşınma resimleri Ulead Photo Express resim programıyla 6 kat büyütülmüştür. Aşınma değerleri araştırmacılar (Subramanian ve Cook, 1977) tarafından belirtildiği gibi kesici ağız boyunca radyal ağza yakın bölge ile kesici ağız uç bölgesine yakın yerlerden alınarak belirlenen iki değerlerin ortalaması alınarak bulunmuştur. Şekil 4.12'de ise H3 matkabı için ölçüm örneği gösterilmiştir. Ölçüm H3 için onikinci ölçümdür (800 dev/dak). elde edilen ölçüm değerleri 0.85 mm ve 0.33 mm'dir.



Şekil 4.12 H3 matkabı için ölçüm örneği

İlk deneyde 800 dev/dak'lık devir kullanılarak H1, H2 ve H3 matkabı için Çizelge 4.2, Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4'deki ölçüm sonuçları elde edilmiştir.

Çizelge 4.2 H1 matkabı için elde edilen aşınma değerleri (800 dev/dak)

Matkap türü	Kullanılan devir	Ölçüm zamanı	Aşınma miktarı (I.bölge)	Aşınma miktarı (II.bölge)	Aşınma miktarı (ortalama)
H1 matkabı	800 dev/dak	t1 = 1,2 dak.	0,15 mm	0,10 mm	0,125 mm
		t2 = 3,4 dak.	0,25 mm	0,17 mm	0,210 mm
		t3 = 6,6 dak.	0,26 mm	0,21 mm	0,235 mm
		t4 = 10,2 dak.	0,34 mm	0,22 mm	0,280 mm
		t5 = 13,6 dak.	0,34 mm	0,23 mm	0,285 mm
		t6 = 18,7 dak.	0,34 mm	0,27 mm	0,305 mm
		t7 = 23,8 dak.	0,40 mm	0,29 mm	0,345 mm
		t8 = 30,6 dak.	0,43 mm	0,30 mm	0,365 mm
		t9 = 31,6 dak.	Ömür sonu	Ömür sonu	Ömür sonu

Çizelge 4.3 H2 matkabı için elde edilen aşınma değerleri (800 dev/dak)

Matkap türü	Kullanılan devir	Ölçüm zamanı	Aşınma miktarı (I.bölge)	Aşınma miktarı (II.bölge)	Aşınma miktarı (ortalama)
H2 matkabı	800 dev/dak	t1 = 1.2 dak.	0,14 mm	0,08 mm	0,110mm
		t2 = 3.4 dak.	0,25 mm	0,14 mm	0,185 mm
		t3 = 6.6 dak.	0,38 mm	0,14 mm	0,260 mm
		t4 = 10,2 dak.	0,40 mm	0,16 mm	0,280 mm
		t5 = 13,6 dak.	0,40 mm	0,20 mm	0,300 mm
		t6 = 18,7 dak.	0,41 mm	0,23 mm	0,320mm
		t7 = 23,8 dak.	0,43 mm	0,24 mm	0,335 mm
		t8 = 30,6 dak.	0,52 mm	0,24 mm	0,380 mm
		t9 = 31,6 dak.	0,54 mm	0,26 mm	0,400 mm

Çizelge 4.4 H3 matkabı için elde edilen aşınma değerleri (800 dev/dak)

Matkap türü	Kullanılan devir	Ölçüm zamanı	Aşınma miktarı (I.bölge)	Aşınma miktarı (II.bölge)	Aşınma miktarı (ortalama)
H3 matkabı	800 dev/dak	t1 = 1,2 dak.	0,10 mm	0,08 mm	0,125 mm
		t2 = 3,4 dak.	0,17 mm	0,11 mm	0,210 mm
		t3 = 6,6 dak.	0,24 mm	0,14 mm	0,235 mm
		t4 = 10,2 dak.	0,27 mm	0,14 mm	0,280 mm
		t5 = 13,6 dak.	0,30 mm	0,16 mm	0,285 mm
		t6 = 18,7 dak.	0,40 mm	0,16 mm	0,305 mm
		t7 = 23,8 dak.	0,44 mm	0,22 mm	0,345 mm
		t8 = 30,6 dak.	0,44 mm	0,24 mm	0,365 mm
		t9 = 35,7 dak.	0,50 mm	0,26 mm	0,380 mm
		t10 = 41,6 dak.	0,61 mm	0,28 mm	0,445 mm
		t11 = 44,2 dak.	0,67 mm	0,31 mm	0,490 mm
		t12 = 53 dak.	0,85 mm	0,33 mm	0,590 mm

İkinci deneyde ise 1000 dev/dak'lık devir kullanılarak H1, H2 ve H3 matkabı için ölçüm sonuçları aşınma eğrileri üzerinde belirtilmiştir.

4.3 Elde Edilen Sonuçlar

Delme esnasında her matkap için delme işleminin başında talaş örnekleri alınmıştır. Delme işleminin başında alınan talaş örnekleri H1, H2 ve H3 matkapları için sırasıyla Şekil 4.13, Şekil 4.14 ve Şekil 4.15'de gösterilmiştir. H3 matkabıyla son delme işlemi yapıldığında elde edilen talaş formları Şekil 4. 16'da görülmektedir.



Şekil 4.13 H1 matkabının ilk delikte oluşturduğu talaş (800 dev/dak)



Şekil 4.14 H2 matkabının ilk delikte oluşturduğu talaş (800 dev/dak)

Talaşlar incelendiğinde klasik spiral matkapta oluşan talaşlar tam helis oluşturmamaktadır. Çift konili matkapta oluşan talaşlar daha küçük boyuta sahiptir. Talaşlar helislerini tamamlamıştır. H3 matkabıyla delinen son delikte oluşan talaşlar incelendiğinde (Şekil 4.16) talaşların çok uzun olduğu, helislerini tamamlamadığı ve aşırı ısıl etkiler altında bulunmuş

olduğu görülmektedir. Bu da özellikle radyal ağız ve kesici ağız aşınan matkapların talaş oluştururken zorlandıklarını göstermektedir.



Şekil 4.15 H3 matkabının ilk delikte oluşturduğu talaş (800 dev/dak)



Şekil 4.16 H3 matkabının son delikte oluşturduğu talaş (800 dev/dak)

Birinci deney sonucunda elde edilen aşınma değerleri kullanılarak H1, H2 ve H3 matkapları için delme zamanına bağlı aşınma eğrileri Şekil 4.17, Şekil 4.18 ve Şekil 4.19'da oluşturulmuştur.

H1 matkabı için oluşturulan aşınma eğrisinin fonksiyonu ;

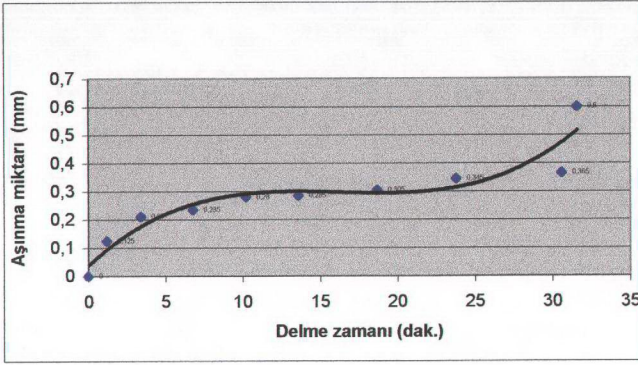
$$y = 7E-05x^3 - 0.0032x^2 + 0.0511x + 0.0371$$

H2 matkabı için aşınma eğrisinin fonksiyonu;

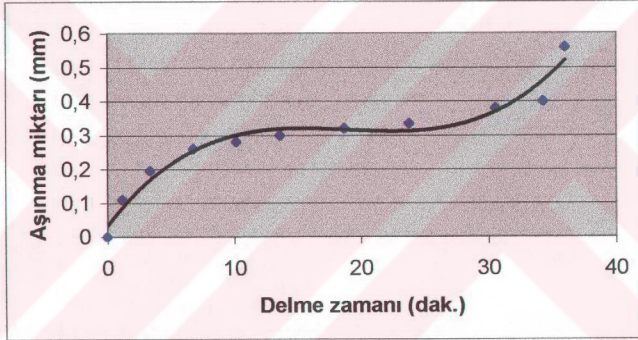
$$y = 5E-05x^3 - 0.0027x^2 + 0.0486x + 0.0324$$

H3 matkabı için aşınma eğrisinin fonksiyonu ;

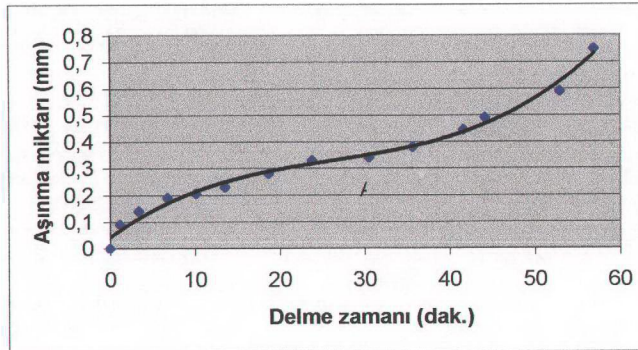
$$y = 9E-06x^3 - 0.0007x^2 + 0.0486x + 0.0324 \text{ olarak bulunmuştur}$$



Şekil 4.17 H1 matkabı için delme zamanına bağlı aşınma eğrisi (800 dev/dak)



Şekil 4.18 H2 matkabı için delme zamanına bağlı aşınma eğrisi (800 dev/dak)



Şekil 4.19 H3 matkabı için delme zamanına bağlı aşınma eğrisi (800 dev/dak)

Aynı şekilde ikinci deney sonucunda elde edilen aşınma değerleri kullanılarak H1, H2 ve H3 matkapları için delme zamanına bağlı aşınma eğrileri Şekil 4.20, Şekil 4.21 ve Şekil 4.22'de oluşturulmuştur.

H1 matkabı için oluşturulan aşınma eğrisinin fonksiyonu ;

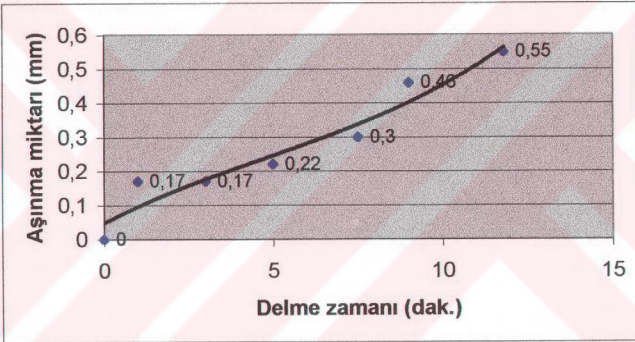
$$y = 0.0002x^3 - 0.0035x^2 + 0.0511x + 0.0481$$

H2 matkabı için aşınma eğrisinin fonksiyonu;

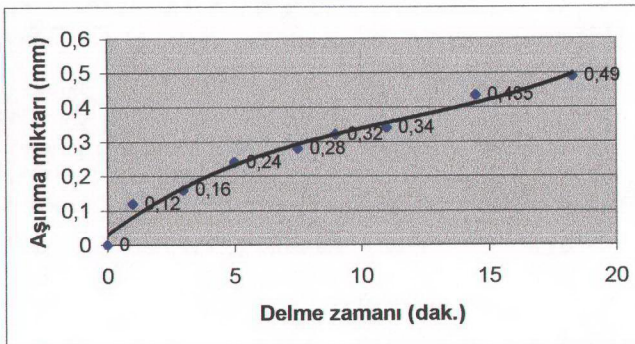
$$y = 9E-05x^3 - 0.0033x^2 + 0.0545x + 0.0286$$

H3 matkabı için aşınma eğrisinin fonksiyonu ;

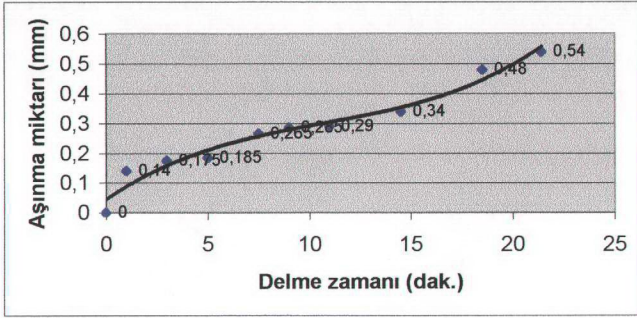
$$y = 1E-06x^3 - 0.0032x^2 + 0.0486x + 0.0445 \text{ olarak bulunmuştur.}$$



Şekil 4.20 H1 matkabı için delme zamanına bağlı aşınma eğrisi (1000 dev/dak)



Şekil 4.21 H2 matkabı için delme zamanına bağlı aşınma eğrisi (1000 dev/dak)



Şekil 4.22 H3 matkabı için delme zamanına bağlı aşınma eğrisi (1000 dev/dak)

Aşınma eğrilerinde sınır aşınma miktarı 0.4 mm alınarak, her üç matkap için ömür eğrileri oluşturulmuştur. Ömür eğrisi, zaman ve kesme hızına bağlı logaritmik eğridir.

İlk deneyde kullanılan devir 800 dev/dak idi. İkinci deneyde ise 1000 dev/dak kullanılmıştır. Buna göre kesme hızları (4.1) eşitliği kullanılarak hesaplanır.

$$v = \frac{\pi D n}{1000} \quad (4.1)$$

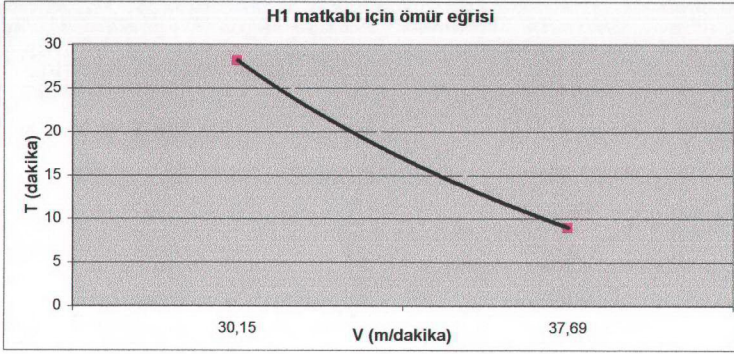
Birinci deney için kesme hızı;

$$v_1 = \frac{\pi * 12 * 800}{1000} = 30.15 m / dak$$

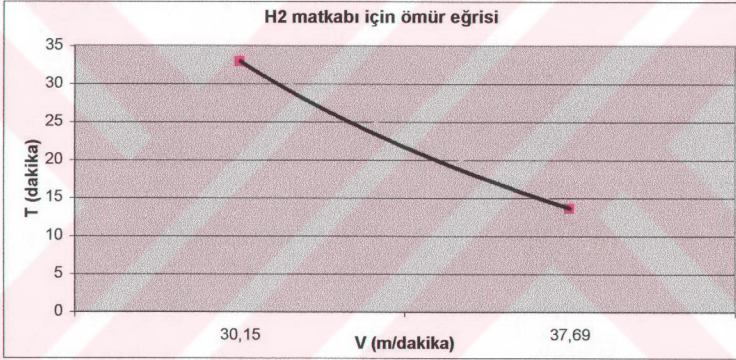
İkinci deney için kesme hızı;

$$v_2 = \frac{\pi * 12 * 1000}{1000} = 37.69 m / dak \text{ bulunur.}$$

Kesme hızları x ekseninde tanımlanarak logaritmik ömür eğrisi oluşturulmuştur. H1 matkabı için bulunan logaritmik ömür eğrisi Şekil 4.23'de, H2 matkabı için bulunan logaritmik ömür eğrisi Şekil 4.24'de, H3 matkabı için bulunan logaritmik ömür eğrisi Şekil 4.25'de gösterilmiştir.



Şekil 4.23 H1 matkabı için bulunan logaritmik ömür eğrisi



Şekil 4.24 H2 matkabı için bulunan logaritmik ömür eğrisi

H1 matkabı için oluşturulan ömür eğrisinin logaritmik fonksiyonu ;

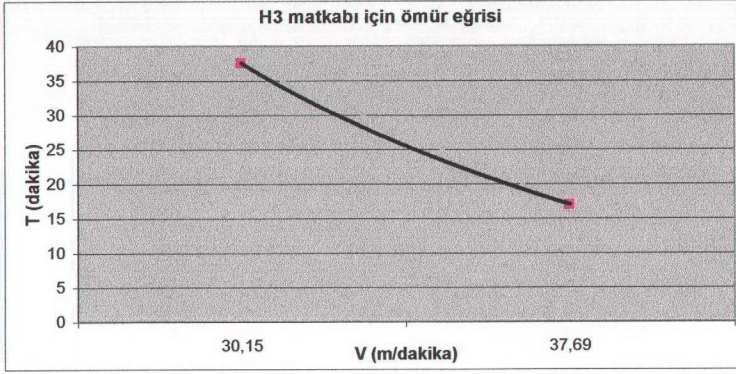
$$y = -84.58 \ln(x) + 315.78$$

H2 matkabı için ömür eğrisinin logaritmik fonksiyonu ;

$$y = -82.6 \ln(x) + 313.84$$

H3 matkabı için ömür eğrisinin logaritmik fonksiyonu ;

$$y = -93.63 \ln(x) + 355.9 \text{ olarak belirlenir.}$$



Şekil 4.25 H3 matkabı için bulunan logaritmik ömür eğrisi

Ömür eğrileri incelendiğinde H1 matkabının ömrünün daha az olduğu görülür. Çift konili matkapların takım ömrü klasik spiral matkaba göre daha üstündür. Yine 90^0 ikinci koni açısına sahip H2 matkabın takım ömrü, 60^0 ikinci koni açısına sahip H3 matkabına göre daha azdır.

Radyal ağza yakın kesici ağız bölgesinde aşınmanın daha fazla olduğu deney sonuçlarından anlaşılmaktadır. Kesici ağzın olduğu uç bölgesindeki aşınma ise radyal ağza yakın bölgeye göre daha azdır. Çift konili matkaplarda, kesici ağız uç bölgesinde yani ikinci koni açısının bulunduğu yerdeki aşınma değerleri klasik spiral matkaba göre daha düşüktür. Matkap ömrü açısından en uzun ömre sahip olan matkap ikinci koni açısı 60^0 olan H3 matkabıdır. En düşük takım ömrüne sahip matkap ise klasik spiral matkap olan H1 matkabıdır. Matkapta kesici ağızda aşınma olduğu gibi radyal ağızda da aşınmalar meydana gelmektedir. Bu yüzden matkap merkezleme fonksiyonunu kaybetmekte ve aşırı ısınmaktadır. Bu nedenle de görev yapamaz hale gelmektedir.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Klasik spiral matkabın patenti 1863 yılında Morse tarafından alınmıştır (patent no:38). Spiral matkap çok geniş kullanım alanına sahip kompleks kesici takımdır. Talaş kaldırma işlemlerinde çok yaygın kullanım alanı bulmaktadır. Spiral matkaplar hakkında birçok araştırma yapılmıştır.

Matkap ve iş parçası için birçok faktör delme performansına etkir. Bunlardan biri de matkap uç şeklindedir. Matkap uç geometrisi matkabın en kritik bölümüdür. Uç geometrisindeki küçük bir uç geometri değişikliği matkap performansını büyük ölçüde etkileyebilir. Geçmişte matkap uç şeklini değiştirerek kesme performansını arttırmak için birçok araştırma yapılmıştır. Split uçlu matkap, çok yüzeyli matkap, talaş kırma yivli matkap, üç kesici ağza sahip matkap vd. gibi birçok matkap çeşidi araştırmacılar tarafından geliştirilmiştir.

Bu çalışmada talaş kırma yivli matkabın düşük delme momenti, daha iyi yüzey kalitesi, delik dışında daha az pürüzlülük ve daha uzun takım ömrü sağladığı, çok yüzeyli matkap dizaynının klasik spiral matkaba göre daha düşük kesme kuvveti, ısı transferinde, talaş akış hızında ve delik kalitesinde artış, yüksek produktivite ve uzun takım ömrü sağladığı bulunmuştur. Split uçlu matkabın, pozitif talaş açısına ve talaş kırıcı uca sahip olması delme esnasında oluşan gezinme eğilimini ve aksel kuvveti azalttığı sonucuna varılmıştır. Üç kesici ağza sahip matkap kullanılarak oluşacak girdaplı titreşimlerde azalma, daha hassas delik geometrisi ve takım ömründe artış sağlanmıştır. Aynı kesme koşulları kullanıldığında New Point Drill (NPD) matkabının oluşturduğu talaş formu, sert metal uçlu matkapların oluşturduğu talaş formundan daha uniform olduğu, delme işleminde oluşan aksel kuvvetin diğer sert metal uçlu matkaplara göre önemli miktarda daha küçük olduğu, kesme sıvısı kanallı matkaplarda ise genel olarak talaş akışının daha hızlı olduğu, takım ve iş parçası arasındaki ısı transferinin azaldığı, deliklerin konum ve yüzey hassasiyetlerinin daha üstün olduğu sonucuna varılmıştır.

Günümüzde, yukarıda belirtilen delme performansını arttırmak için geliştirilen değişik uç geometrili matkapların çoğu uygulama alanı bulamamıştır. Bunun nedeni ise yeni geliştirilen matkap uç geometrilerinin komplike olması ve bileme işlemi için gelişmiş ekipman gerektirmesidir.

Deneyisel çalışmada klasik spiral matkapla çift konili matkaplar aşınma ve ömür bakımından karşılaştırılmıştır. Deneyde üç matkap kullanılmıştır. Bu matkapların ikisi, sırasıyla 60° ve 90° ikinci koni açısına sahip çift konili matkap, diğeri ise klasik spiral matkaptr. Çift konili

matkapların ömrünün klasik spiral matkaba göre daha uzun olduğu belirlenmiştir. Çift konili matkaplarda, kesici ağız uç bölgesinde yani ikinci koni açısının bulunduğu yerdeki aşınma değerleri klasik spiral matkaba göre daha düşüktür. Matkap ömrü açısından en uzun ömre sahip olan matkap ikinci koni açısı 60° olan matkaptır. En düşük takım ömrüne sahip matkap ise klasik spiral matkaptır. Bu sonuçlardan çift konili matkabın kullanımının daha avantajlı ve daha ekonomik olduğu ortaya çıkmaktadır.

Özellikle ülkemizde klasik spiral matkap halen yaygın olarak kullanılmaktadır. Daha verimli delme işlemi yapabilmek ve üretkenliği arttırmak için değişik uç geometriye sahip matkaplar kullanılmalıdır. Önümüzdeki yıllarda geliştirilecek bilgisayar kontrollü ve ekonomik bileme makinaları sayesinde değişik uç geometrili matkap kullanımı artacaktır. Bu sayede daha hassas ve kaliteli delikler elde edilecek, delik maliyeti azalır ekonomiklik sağlanacaktır.

KAYNAKLAR

Akkurt, M. (1991), Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları, Birsen Yayınevi, İstanbul.

Armarego, E.J.A., Smith, A.J.R. ve Gong, Z.J. (1990), "Four Plane Facet Point Drills – Basic Design and Cutting Model Predictions", Annals of the CIRP Vol. 39/1., 41-45.

Avuncan, G. (1998), Talaş Kaldırma Ekonomisi ve Kesici Takımlar, Makina Takım Endüstrisi A.Ş., İstanbul.

Bhattacharyya, A. (1984), Metal Cutting Theory and Practice, New Centrel Book Agency, Calcutta.

Chen, L.H. ve Wu, S.M. (1984), "Further Investigation of Multifacet Drills (MFD's)-Mathematical Models, Methods of Grinding, and Computer Plotting", Journal of Engineering for Industry, Vol. 106., 313-324.

Devries, M.F. ve Croscheck, M.K. (1988), "An Investigation of the Cutting Mechanisms of the New Point Drill", Annals of the CIRP Vol. 37/1., 73-78.

Drozda, T.J. ve Wick, C. (1983), Tool and Manufacturing Engineers Handbook, Volume 1 Machining.

Ema, S., Fujii, H. ve Marrui, E. (1986a), "Whirling Vibration in Drilling. Part 1: Cause of Vibration and Role of Chisel Edge", Journal of Engineering for Industry, Vol. 108., 157-162.

Ema, S., Fujii, H. ve Marrui, E. (1986b), "Whirling Vibration in Drilling. Part 2: Influence of Drill Geometries, Particularly of the Drill Flank, on the Initiation of Vibration", Journal of Engineering for Industry, Vol. 108., 163-168.

Ema, S., Fujii, H. ve Marrui, E. (1988a), "Chatter Vibration in Drilling", Journal of Engineering for Industry, Vol. 110., 309-314.

Ema, S., Fujii, H. ve Marrui, E. (1988b), "Whirling Vibration in Drilling. Part 3: Vibration Analysis in Drilling Workpiece with a Pilot Hole Drill Geometries", Journal of Engineering for Industry, Vol. 110., 315-321.

Ema, S., Fujii, H. ve Marrui, E. (1991), "Cutting Performance of Drills with Three Cutting Edges", Int. J. Mach. Tools Manufact., Vol. 31. No. 3., 361-369.

Ema, S. ve Marrui, E. (1992), "Cutting Performance of a Cerment Carbide Drill with Three Cutting Edges", Journal of Engineering for Industry, Vol. 114., 116-119.

Hoshi, T. ve Zhao, H. (1989), "Study of a High Performance Drill Geometry", Annals of the CIRP Vol. 38/1., 87-90.

Kato, S., Ema, S., Fujii, H. ve Marrui, E. (1988), "New Type Drill with Three Cutting Edges", Int. J. Mach. Tools Manufact., Vol. 28. No. 4., 461-473.

- Lorenz, G. (1979), "Helix Angle and Drill Performance", *Annals of the CIRP* Vol. 28/1., 83-86.
- Ogawa, M. ve Nakayama, K. (1985), "Effects of Chip Splitting Nicks in Drilling", *Annals of the CIRP* Vol. 34/1., 101-104.
- Radhakrishnan, T., Wu, S.M. ve Lin, C. (1983), "A Mathematical Model for Split Drill Flanks", *Journal of Engineering for Industry*, Vol. 105., 137-142.
- Ranganath, B. (1993), *Metal Cutting and Tool Design*, National Institute of Eng. Mysore.
- Singh, U.P. ve Miller, P.P. (1988), "Finite Element Analysis of Drill Point Geometry", *Annals of the CIRP* Vol. 37/1., 69-72.
- Subramanian, K. ve Cook, N.H. (1977), "Sensing of Drill Wear and Prediction of Drill Life", *Journal of Engineering for Industry*, May 1977, 295-301.
- Tonshoff, H.F., Spintig, W., Konig, W. ve Neises, A. (1994), "Machining of Holes Developments in Drilling Technology", *Annals of the CIRP* Vol. 43/2., 551-560.
- Wu, S.M. ve Shen, J.M. (1983), "Mathematical Model for Multifacet Drills", *Journal of Engineering for Industry*, Vol. 105., 173-181.
- Wu, S.M. (1985), "Multifacet Drills", *Handbook of High-Speed Machining Technology*, Chapter 13, 305-316.

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	30.11.1977	
Doğum yeri	İstanbul	
Lise	1992-1995	Ataköy Lisesi
Lisans	1995-1999	Yıldız Teknik Üniversitesi, Mak. Fak. Makine Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2000-2001	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Ens. Makine Müh. Anabilim Dalı, İmal Usulleri Prog.