AI 7075 VE AI 6013 ALÜMİNYUM MALZEMELERİN DELME OPERASYONLARI ESNASINDAKİ KESME PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ

Ayşegül ÇAKIR

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA EĞİTİMİ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEMMUZ 2009
ANKARA

AI 7075 VE AI 6013 ALÜMİNYUM MALZEMELERİN DELME OPERASYONLARI ESNASINDAKİ KESME PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ

Ayşegül ÇAKIR

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA EĞİTİMİ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEMMUZ 2009
ANKARA

Ayşegül ÇAKIR tarafından hazırlanan "Al7075 ve Al 6013 Alüminyum Malzemelerde Delme Operasyonlarındaki Kesme Parametrelerinin İncelenmesi" adlı bu tezin Yüksek Lisans / Doktora tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doc. Dr. Abdullah DURAN ……
Tez Danışmanı, Makina Eğitimi Anabilim Dalı
(Ünvanı, Adı ve Soyadı) …….
Tez Danışmanı, ….Anabilim Dalı

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

Prof. Dr. Muammer NALBANT …….
Makina Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi
Yrd. Doc. Dr. Abdullah DURAN …….
Makina Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi
Doc. Dr. İhsan KORKUT …….
Makina Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi
Doc. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ …….
Makina Eğitimi Anabilim Dalı, Karabük Üniversitesi
Yrd. Doc. Dr. Halil DEMİR …….
Makina Eğitimi Anabilim Dalı, Karabük Üniversitesi

Tarih: 10/07/2009

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

Prof. Dr. Nail ÜNSAL …….
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

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

Ayşegül ÇAKIR

AL 7075 VE AL 6013 ALÜMİNYUM MALZEMELERİN DELME OPERASYONLARI ESNASINDAKİ KESME PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Ayşegül ÇAKIR

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Temmuz 2009

ÖZET

Talaşlı üretimin bir parçası olan delik delme işlemi, kesicinin geometrik yapısından ve talaş akışındaki zorluktan dolayı karmaşık bir süreçtir. Delik delme işleminde kesici takım türü, iş parçası malzemesi ve kesme parametreleri matkapta oluşan kuvvet ve momentleri etkilemektedir. Değişen kuvvet ve momentler de delik delme performansını doğrudan etkilemektedir.

Bu çalışmada konuyla ilgili bundan once yapılan araştırmalara yer verilmiştir. Bu araştırmaların ışığında kesici takım türü, işparçası malzemesi ve kesme paramatrelerinin matkapta oluşan kuvvet ve momentlere etkisi deneysel olarak incelenmiştir.Bu kapsamda; Al 7075 ve Al 6013 alüminyum malzemeler HSS ve karbür matkaplarla, kesme şartlarından sadece kesme hızı ve ilerleme değerleri değiştirilmek suretiyle en az 4 deney yapılarak gerçekleştirilmiştir. Deneyler Gazi Üniversitesi Makina Bölümündeki CNC dik işleme merkezli tezgahlarda yapılmıştır. Kurulan deney düzeneği; sıcaklık, titreşim, kesme kuvvetleri ve momentleri incelenecek biçimde oluşturulmuştur. Deneyler tam faktöriyel tertibinde yapılmış olup sonuçlar varyans analizi ile yorumlanmıştır. Bu

sonuçlara göre F_z maksimum kuvvetlerine iş parçası malzemesinin kesici, kesme hızı ve ilerleme kadar etkili olmadığı belirlenmiştir. Ayrıca M_z momentlerine malzeme ve kesme hızının, kesici ve ilerleme kadar etkili olmadığı belirlenmiştir.

Bilim Kodu : 708.3.028
Anahtar Kelimeler : Alüminyum , delik delme, kesme parametreleri, kesme kuvveti, moment
Sayfa Adedi : 130
Tez Yöneticisi : Yrd. Doc. Dr. Abdullah DURAN

CUTTING PARAMETERS ANALYZE AT AL 7075 VE AL 6013 ALUMINIUM MATERIALS DURING DRILLING OPERATIONS

(M.Sc. Thesis)

Ayşegül ÇAKIR

GAZİ UNIVERSITY

INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

July 2009

ABSTRACT

Drilling a part of manufacring is complex process due to geometrical structure of cutting tools and difficult chips fallow. Cutting tools, work piece materials and cutting parameters affect torque and cutting force on cutting tool during drilling process. So be changed thorque and cutting force values affect directy drilling performance.

In this study was placed resourches about this subject until now.In light of the resourches was investigation to empirical on cutting tools, work piece materials and cutting parameters effect to drilling performance. In this context was made drilling experiments on Al 7075 and Al 6013 with having two cutting leaps HSS and carbide drills. Four different cutting speed and feed rate were applied during drilling process. Experiments were carried out with CNC vertical working machine tools which in Machine Department of Gazi University. The experiment setting was measured torque and cutting force on cutting tool and occuring temperature on work material. Result were commentated with regression analysis.

According these resuls, work piece materials don't affect than cutting tools, feedrate and cutting speed on F_z cutting force. Besides workpiece materials and cutting speeds don't affect than cutting tools and feedrate on M_z torque.

Science Code : 708.3.028
Key Words : Aluminium, drilling, cutting parameters, cutting force, torque
Page Number: 130
Adviser : Yrd. Doc. Dr. Abdullah DURAN

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren hocam Yrd. Doc. Dr. Adullah DURAN'a yine kıymetli tecrübelerinden faydalandığım hocalarım Prof. Dr. Muammer NALBANT ve Öğr. Gör. Dr. Hasan Basri ULAŞ'a ayrıca deney sürecinde beraber çalıştığım çalışma arkadaşım Yavuz KAPLAN'a, manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan çok değerli ailem ve dostlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET ……..iv

ABSTRACT……vi

TEŞEKKÜR……..viii

İÇİNDEKİLER……ix

ŞEKİLLERİN LİSTESİ……..……xii

ÇİZELGELERİN LİSTESİ…….……xv

SİMGELER VE KISALTMALAR…….…..xvi

1.GİRİŞ 1

2. LİTERATÜR TARAMASI..... 3

2.1. Literatür Araştırmasının Değerlendirilmesi 19

3. KURAMSAL TEMELLER 21

3.1. Kesme ve Talaş Kaldırma Olayı 21

3.1.1. Talaş kaldırma olayını etkileyen faktörler 24

3.1.2 Delik delme performansı..... 25

3.2. Matkap 31

3.2.1. Matkap geometrisi..... 31

3.3. Delik Delme İşleminde Kesme Kuvvetleri 37

3.4. Kesme Kuvvetlerini Ölçme Yöntemleri..... 44

3.4.1. Bilinen bir yükle dengelenerek kuvvet ölçme..... 44

3.4.2. Elastik cismin deformasyonu ile kuvvet ölçme 44

3.4.3. Fiziksel özelliklerin değişimi ile kuvvet ölçme 45

Sayfa

3.5. Alüminyum Alaşımları 47

3.5.1. Alüminyumun işlenebilirliği 48

4. MEVCUT MATKAP VE DELİK DELME MODELLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI 50

4.1. Matkap Geometrisinin Matematiksel Modelleri 51

4.1.1. Matkap ucu matematiksel modelleri 52

4.1.2. Matkap kanal modelleri 62

4.2 Matkap Kuvvet Modelleri 66

5. DENEYSEL ÇALIŞMA 75

5.1. Amaç ve Kapsam 75

5.2. Malzeme ve Metot 76

5.4. Hedeflenen Çalışmanın Bilim ve Uygulamaya Katkısı 82

6. BULGULAR VE TARTIŞMA 85

6.1. Deneylerden Elde Edilen Sonuçların Varyans Analizi 85

6.2. İşleme Parametrelerinin Kesme Kuvveti ve Momentler Üzerindeki Etkisi 86

6.3. Aynı Kesme Şartlarında HSS ve Karbür Takımların Karşılaştırılması 91

6.3.1. HSS ve karbür takımlardaki talaş sıkışmasının incelenmesi 94

6.4. Takım Aşınması-Sıvanması ile Çıkan Talaş Şekillerinin İncelenmesi 97

6.4.1. Takım aşınmasının incelenmesi 97

6.4.2. Talaş şekillerinin incelenmesi 100

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 104

KAYNAKLAR 107

Sayfa

EKLER 113
EK-1 Deney numunesinin çizilerek ölçülendirilmesi 114
EK-2 Malzeme, takım ve kesme parametrelerine bağlı olarak deneylerden elde edilen kuvvet ve moment verileri……...116
EK-3 Deney sürecinde kullanılan takımlar ve çıkan talaş resimleri 118

ÖZGEÇMİŞ 129

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 3.1. Takım modeli ve ortogonal kesme ……22

Şekil 3.2. Delik delme performansını belirleyen kriterler ve etkileyen faktörler…...26

Şekil 3.3. Matkap özelliklerinin delik delme performansı üzerindeki etkisi……..27

Şekil 3.4. İş parçası özelliklerinin delik delme performansına etkisi…….28

Şekil 3.5. Soğutma sıvısı özelliklerinin delik delme performansına etkirli……29

Şekil 3.6. Tezgah özelliklerinin delik delme performansına etkileri……..30

Şekil 3.7. Matkabın genel kısımları...…….....31

Şekil 3.8. Matkaptaki yüzey ve kesici kenarlar ……..…….....33

Şekil 3.9. Matkapta uç, helis ve enine kesme kenarı açıları…….……..…...34

Şekil 3.10. Matkapta kesme açıları……..……...34

Şekil 3.11. Matkapta ana kesici kenar üzerindeki bir noktanın izlediği yol ……..35

Şekil 3.12. Matkaptaki etken yön ve açıların kesitte görünüşü ..……...36

Şekil 3.13. Matkaptaki etken yön ve açıların perspektifte görünüşü……..36

Şekil 3.14. Matkapla delmede kesme kuvvetleri..……..38

Şekil 3.15. Talaş kaldırma işleminde talaş oluşumu ..…….…...40

Şekil 3.16. Talaş kaldırma işleminde kesme kuvvetleri ……40

Şekil 3.17. Piezoelektrik dinamometrenin patlatılmış montaj resmi ……46

Şekil 3.18. Piezoelektrik algılayıcılarda kullanılan silikon ve oksijen atomları.....47

Şekil 4.1. Konik bir matkap ucu……..…….…….…54

Şekil 4.2. Konik bir yanal yüzey için elips çizimi……..……55

Şekil 4.3. Çoklu yüzeyli matkap……..…..…..59

Şekil 4.4. Yüzey IIA ve IIB'nin yan görünüşü……..…..…….…....61

Şekil **Sayfa**

Şekil 4.5. Matkap kanal yüzeyinin polinomal olarak gözterilmesi…….…….....64

Şekil 5.1. İş akış şeması…….……..……..……..77

Şekil 5.2. Kurulan deney düzeneğinin fotoğrafı……..…..…..80

Şekil 5.2.. Deney düzeneği şeması….…….……..…..81

Şekil 6.2. Al 6013 malzeme ve HSSr matkap için
kuvvet ve moment grafikleri.....86

Şekil 6.2. Al 6013 malzeme ve karbür matkap için
kuvvet ve moment grafikleri……...87

Şekil 6.3. Al 7075 malzeme ve HSS matkap için
kuvvet ve moment grafikleri……...89

Şekil 6.4. Al 7075 malzeme ve karbür matkap için
kuvvet ve moment grafikleri…….……..91

Şekil 6.5. 6013 malzeme ve 80m/dak kesme hızı için kesme kuvveti grafikleri…....92

Şekil 6.6. 6013 malzeme ve 80m/dak kesme hızı için moment grafikleri……..93

Şekil 6.7. 7075 malzeme ve 80m/dak kesme hızı için kesme kuvveti grafikleri…....91

Şekil 6.8. 7075 malzeme ve 80m/dak kesme hızı için moment grafikleri……..94

Şekil 6.9. Al 6013 malzeme ve 65m/dak kesme hızı için
kuvvet ve moment grafikleri……...95

Şekil 6.10. Al 7075 malzeme ve HSS matkap ile delik delme sürecinde
zamana göre kuvvet-moment grafiği……...…….97

Şekil 6.11. Al 7075 malzeme ve karbür matkap ile delik delme sürecinde
zamana göre kuvvet-moment grafiği…….....97

Şekil 6.12. Al7075 malzemenin işlenmesinde kırılan karbür takımlar……...99

Şekil 6.13. Al 6013 malzeme işlenirken 35 m/dak da HSS takımlardaki sıvanma..100

Şekil 6.14. HSS matkaplarla 50 m/dak kesme hızı ve 0,3 mm/dev
ilerlemede delinmesi……...100

Şekil **Sayfa**

Şekil 6.15. Al 6016 malzemenin HSS matkaplarla 0.2 mm/dev ilerlemede talaş takıma sarılması……...……...101

Şekil 6.16. Karbür takımla delik delerken takıma sarılan talaşın görüntüsü……102

Şekil 6.17. Kesme hızının talaş tipine etkisi……...……..102

Şekil 6.18. İlerleme oranının talaş tipine etkisi…….103

Şekil 6.19. Aynı kesme şartlarında farklı matkaplar kullanılmasının talaş tipine etkisi……...……...103

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 5.1. Deneyde kullanılan iş parçası malzemesi,
kesici takım, ve uygulanan kesme parametreleri……....82

Çizelge 6.1. AL 6013 ve AL 7075 malzemenin 8 mm çaplı matkapla
delinmesinde ortaya çıkan Fz maks kuvvetlerinin varyans analizi…….85

Çizelge 6.2. AL 6013 ve AL 7075 malzemenin 8 mm çaplı matkapla
delinmesinde ortaya çıkan Mz maks momentinin varyans analizi…….85

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada, kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	**Açıklama**
h	Kaldırılacak talaş derinliği (mm)
h'	Çıkan talaş kalınlığı(mm)
b	Talaş genişliği (mm)
b'	Çıkan talaş genişliği(mm)
A	Talaş kesiti(mm^2)
d	Matkap çapı(mm)
r	Matkap uç yarı çapı(mm)
$\mathbf{A_\alpha}$	Matkap serbest yüzeyi
$\mathbf{A_\gamma}$	Matkap talaş yüzeyi
$\mathbf{A_s}$	Kesme düzlemi
α	Boşluk açısı (^{o})
β	Kama açısı (^{o})
Φ	Kesme açısı (^{o})
ε	Kayma açısı (^{o})
γ	Talaş Açısı (^{o})
ψ	Uç açısı (^{o})
φ	Enine kesici kenar açısı (^{o})
θ	Helis açısı(^{o})
η	Eğim açısı(^{o})
$\mathbf{\alpha_e}$	Etken yaklaşma açısı(^{o})
$\mathbf{\gamma_e}$	Etken Talaş açısı(^{o})
λ	Kesme düzlemi ile toplam kuvvet arasındaki açı(^{o})
V	Kesme hızı(m/dak)

Simgeler	Açıklama
f	İlerleme(mm/dev)
M	Eğilme momenti (Nmm)
R	Toplam kuvvet (N)
F	Takım Talaş yüzeyine paralel kuvvet (N)
N	Takım talaş yüzeyine dik kuvvet (N)
F_a	İlerleme kuvveti (N)
F_r	Radyal kuvvet (N)
F_c	Asıl kesme kuvveti (Kesme yönüne paralel kuvvet) (N)
F_v	Takım hareket yönüne dik kuvvet (N)
F_s	Kayma düzlemine paralel kuvvet (N)
F_n	F_s 'ye dik kuvvet (N)
F_d	Dinamometrede ölçülen kuvvet (N)
A_k	Kristalin enine kesit alanı (mm^2)
t	Kristalin kalınlığı (mm)
Δt	Kristal kalınlığındaki değişim
E	Elastikiyet modülü (N/mm^2)
k_s	Özgül kesme kuvveti (N/mm^2)
u	Özgül kesme enerjisi
r_l	Talaş boyu oranı
r_b	Talaş genişliği oranı
r_h	Talaş kalınlığı oranı

Kısaltmalar	Açıklama
HSS (YHÇ)	High Speed Steel (Yüksek Hız Çeliği)
TS	Türk Standartları
HB	Brinell Hardness (Brinell Sertliği)
İn	inch

1.GİRİŞ

Son yıllarda endüstriyel alanda kullanımı hızla artan alüminyum, eşsiz özellik kombinasyonuna sahip olan çok yönlü yapı ve mühendislik malzemelerinden biri haline gelmiştir. Alüminyumun hafif olması ve birçok alaşımlarının da çok iyi mukavemete, elektriksel ve ısıl iletkenliğine sahip olması; bilgisayar, uçak ve otomobil endüstrisindeki önemini de artırmıştır. Ayrıca korozyona karşı direnci de sağlık sektörü için bu malzemeyi önemli hale getirmiştir. Çok çeşitli özellik kombinasyonlarına sahip bu malzemenin işlenme sürecindeki davranışları üzerine bu güne kadar pek çok çalışma yapılmış olup halen bu konudaki araştırmalar da devam etmektedir.

Mühendislik faaliyetlerinin sürdürüldüğü bütün alanlarda emniyetli bir çalışma ortamının gerçekleştirilmesi, üretilecek ürün ve sistemin uzun ömürlü, kaliteli ve ekonomik olabilmesi için kesici takım ve tezgahları etkileyen bütün kuvvetlerin doğru ve hassas olarak ölçülmesi gerekmektedir. Birçok nedenle teorik olarak bulunan gerilme değerleri ile uygulamalı olarak elde edilen değerler örtüşmemektedir. Bu nedenle kuvvetlerin deneysel olarak analizi ve ölçülmesi gerekir. [1].

Üretimde kaliteyi düşürmeden üretim girdilerini düşürmek ve dolayısıyla maliyeti minimize etmek temel hedeflerden biridir. Talaşlı üretimin temel elemanları olan makina, kesici takım ve işlenecek malzeme üzerinde yıllardır devam eden araştırma ve geliştirmeler talaş kaldırma esnasında meydana gelen kesme kuvvetlerinin analizini ve doğru olarak ölçülmesini de gerekli kılmıştır.

Talaş kaldırma olayı; iş parçası malzemesi, takım geometrisi ile malzemesi kesme hızı ve ilerleme oranı gibi faktörlerin etkilediği karmaşık bir olay olduğu için talaş kaldırmada kesme kuvveti tüm bu faktörlerden etkilenir.

Bu çalışmada bir delik delme işleminde kesici türünün, kesme parametrelerinin ve işlenen malzeme türünün delik delme performansına etkileri, işleme esnasında oluşan kesme kuvvetleri, incelenmiştir. Gerekli verileri elde etmek için yapılan deneyde AI7570 ve AI6013 gibi iki farklı alüminyum deney numunesi, 8mm çaplı HSS ve Karbür gibi iki farklı matkap türüyle, dört farklı ilerleme ve kesme hızında işlenmiştir. Farklı her durum için oluşan kuvvetlerin ölçülmüştür. Bu şekilde takım türü, iş parçası malzemesi ve kesme parametrelerinin delik delme performansına etkileri incelenmiştir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Oxford ve arkadaşları, karmaşık bir yapıya sahip olan delik delme işleminde kesici geometrisinin kesmeye olan etkisini ve talaş geometrisini incelemişlerdir. Bunun için yaptıkları deneysel çalışmada ön hazırlık olarak hazırladıkları deney düzeneği; oluşan talaşın gözlenmesi için kesme işleminin istenilen safhada durdurmaktadır. Deney düzeneğinde ilerleme, deney numunesinin bağlı olduğu tablanın altından basınçlı hava ile sağlanmaktadır. AISI 1020, AISI 3245 çelik malzemeli deney numuneleriyle 250dev/dak devir sayısı ve devir başına 0.013in/dev ilerme ile ¾" çapında matkap kullanarak delik delme işleminde talaş oluşum sürecini incelemiştir. Yazar, matkap geometrisi ile ilgili unsurlara değinip bu unsurların birbirleriyle olan ilişkilerini yaptığı farklı analizlerde matematiksel olarak ifade etmiş ve bulduğu sonuçları Staple'nin kuralları ile karşılaştırmıştır [2].

Shaw ve arkadaşları, delik delme işleminde eğilme momenti ve itme kuvvetinin hesaplanması problemini boyutsal faktörlere bağlı olarak inceleyip iki boyutta kesme kuralları geliştirmiştir. Bir matkap dinamometresi kullanarak yaptığı deneylerde 20m/dak kesme hızında, farklı çaplarda (1",1/2", ¼", ¾", 3/8", 5/8") SAE3245 krom nikel kaplamalı 6 adet matkap ile 7 farklı ilerleme (0.002, 0.0033, 0.005, 0.0068, 0.0097, 0.0145, 0.0192 in/dev) uygulayarak yaptığı araştırmada sıradan bir delik delme işleminde kuvvet ve momentlerin çapa ve ilerlemeye bağlı olarak değiştiğini gözlemlemiştir. Yaptığı deneylerde elde ettiği verileri genel denklemlerde saplanan eğilme momenti ve itme kuvveti ile örtüştüğünü gözlemiştir. Ayrıca matkabın çekirdek kalınlığının eğilme momenti ve itme kuvvetinin belirlenmesinde önemli bir faktör olduğu tespitine varıp, helis açısının ise çekirdek kalınlığı kadar önemli olmadığını gözlemiştir. Delik delme işleminde her yerdeki özgül kesme enerjisi (u), ilerleme (f) ve matkap çapına (d) bağlı olarak farklı bulmuştur [3].

Galloway ve arkadaşları, delik delme tekniklerinin gelişmesiyle ilgili endüstride kullanılabilecek temel bilgileri elde etmek için çeşitli araştırmalar yapmışlardır. Delik

delme performansının asıl kriterleri ve bu kriterleri etkileyen başlıca faktörler üzerinde durulmuştur. Bu faktörlerden özellikle kesici geometrisi üzerinde durup ve kendiliğinden gerilemeli titreşim (self-regeneratif vibration) teorisini incelemiş, delik ölçülerinde ve doğruluğunda meydana gelen hatalar üzerine araştırmalar yapmıştır [4].

Eggleston ve arkadaşları, düşey kesme olayını çeşitli deneyler yaparak incelemiştir. Tornada 18-4-1 yüksek hız çeliği üç takımla, SAE 1112 çelik, 2024-T4 ve 6061-T6 alüminyum alaşımları ile 85 Cu-15 Zn prinç deney numunelerini 0,002 - 0,001in/dev ilerleme aralığında işleyerek kesme performansını incelemiştir. Deneylerde ilerleme ve kesme hızı işlenen malzemeye ve takıma göre belirli değerlerde sabit tutulmuştur. Yazar kesme esnasında oluşan kuvvetler ve bu kuvvetlerin yönünü tayin eden açılar arasındaki ilişkiler üzerinde durmuştur. Açılar arasındaki bu ilişkiyi belirlerken; farklı durumlar için üç farklı talaş oranı kullanmıştır. Sürekli talaşlarda talaş boyu oranı (r_l), kesikli talaşlarda talaş ağırlığı oranı (r_b), az ilerleme ve fazla talaş derinliğinde talaş kalınlığı oranı (r_h) kullanarak en uygun kesici geometrisini elde etmeyi amaçlamıştır. Yazar bulduğu sonuçları Ernst ve Merchan`ın minimum kesme teoremi, Loe ve Shaffer`in ideal plastik-katı çözümü ve Hill`in tespitleriyle karşılaştırmıştır [5].

Haggerity, bu araştırmalarda matkap uç geometrisinin ve boyutsal simetrisinin matkap performansına etkilerini araştırmıştır. Yazar matkaptaki kesme performansını arttırmak için yeni bir uç geometrisi tasarlamıştır. Farklı 4 malzeme ve uygun ilerleme oranıyla yaptığı deneyde modifiye edilmiş matkaplarda geleneksel matkaplara karşılaştırmış ve modifiye edilmiş matkaplarda diğer matkaplara oranla aynı şartlarda itme kuvvetinde %15 - 35; eğilme momentine %4 oranında iyileştirmeyi sağlamıştır. Ayrıca delme işlemi başlangıcında delik konumlandırılmasında kaymalar azalmış, delik ölçüsünde ve delik hassaslığında daha iyi sonuçlar almıştır. Yazar yaptığı başka bir deneyde ani-durdurma tekniği kullanarak A-151, B-1112 çelik malzemeyi 118° uç açısı ve 0,001 ile 0,006 in arasında değişen kenar yüksekliğinde 0,007 in/dev ilerleme ve 520 dev/dak devir sayısı kullanarak relatif kenar yüksekliği farkını her iki matkap türü için karşılaştırmıştır. Deney sonucunda her iki tür matkap için kenar yüksekli farkı delme işleminde kayma, ölçülerde büyümeye ve düzgün olmayan talaş çıkışına

sebep olduğunu görmüştür. Yazar aynı matkaplar üzerinde relatif kenar yüksekliğinde olduğu gibi çekirdek eksantrikliği üzerinde benzer deneyler yapıp benzer sonuçlar almıştır. Kiriş eksantrikliği her iki tür matkap gurubu için, delik ölçülerinde büyüme talaş çıkışında matkap rijitliğine ve takım ömrüne olumsuz etkileri olduğunu gözlemlemiştir [6].

Pal ve arkadaşları, yaptıkları bu araştırmalarda sünek malzemelerde delme işlemlerine işlenen malzemenin özelliklerini, matkabın geometrisini ve kesme şartlarını baz alarak eğilme momentinin hesaplanması için teoriksel bir metot geliştirmiştir. Yazar teorik çalışmasında araştırma konusuyla ilgili incelemeler yapmış olan Baston ve Gilbert`in çeliklerde delik delme olayı için ortaya koydukları eşitliğe dayanıp, Sathe ve Laledze`nın araştırmalarını referans alarak, Abuladze`nin kesme-gerilim faktörünü kullandı ve talaş kalınlığının katsayılarını genelleştirdi. Yazar bu teorik sonuçlarını desteklemek için, çapları 1" ve ¾" olan farklı iki HSS matkap ile yumuşak çelik deney numunesini iki ayrı 80 ve 40 m/dak kesme hızı ve 0.12 in/dev, 0.20 in/dev, 0.30 in/dev gibi üç farklı ilerleme oranı uygulayarak yaptığı deneylerde bulduğu sonuçların, araştırmalarında elde ettiği teorik verilerle örtüştüğünü gözlemlemiştir [7].

Williams, bu çalışmasında iki uçlu matkabın durağan haldeki açılarıyla hareket halinde sahip olduğu açıları inceleyip Oxford`un çalışmalarına dayanarak bulduğu eşitliklerle bu açıları ifade etmektedir. Asıl kesici kenar ve radyal kesici kenar ile ilgili olarak, matkabın dinamik geometrisini incelerken ilerleme hızının matkabın asıl kesme kenarına olan etkisinin göz ardı edilebileceği fakat radyal kesici kenarda dinamik kesme geometrisinin statik kesme geometrisinden ciddi farkları olduğunu tespit etmiştir [8].

Fujii ve arkadaşları, matkap ucu geometrisini bilgisayar destekli tasarımla çeşitli düzlemler kullanarak incelemişlerdir. Genel olarak matkap ucunu düşey kesme düzlemi ve meyilli kesme düzlemi olmak üzere iki düzlemde incelemiş ve bu şekilde matkap ucundaki açıları daha ayrıntılı bir şekilde gözlemleyebilmişlerdir. Yazar düşey talaş açısını ifade ederken matkap talaş kanalı ve eğik kesme düzlemini kullanmıştır.

Nominal boşluk açısını ifade derken ise ana serbest yüzey ile eğik kesme düzlemini kullanmıştır. Yazar bu çalışmasında Galloway'ın "Some experiment on the influence of various factor on drill performance" ve Oxford'un "On drilling of metal basic mechanic of process" yayınlarını referans almıştır [9].

Fujii ve arkadaşları, matkap uç geometrisinde radyal kesici kenar analizini yapmışlardır. Takım dış çeperindeki nominal yaklaşma açısı, radyal kesici kenar açısından faydalanılarak taşlama konisi yarım açısı (θ), koni köşesinin x koordinatındaki mesafe (-d) arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Bu ilişkiyi matkap ucu geometrisinde taşlama konisi parametresinin etkisi üzerinde çalışarak ortaya koymuşlardır. Bu analizde yazar en iyi matkap performansı için optimum koni açısı (Ɵ) değerinin ne olması gerektiğini vurgulamaktadırlar [10].

Armarego ve arkadaşları, geleneksel matkaplarda ana kesici ağızların talaş akış yüzeylerinin düzleştirerek eğik kesme modeline dayanan bir kesme analizi yapmışlardır. Oxford ve Gallowayın konuyla ilgili araştırmalarından yola çıkarak modifiye edilen matkaptaki kesme hızı ve kesme açıları üzerinde incelemeler yaparak bazı matematiksel eşitlikler geliştirmişlerdir. İki tür matkap üzerinde yaptıkları kesme analizlerinde modifiye edilmiş matkapta geleneksel matkaba oranla kuvvetlerde; buna bağlı olarak deformasyonda azalmalar olduğunu vurgulamaktadırlar. Optimum matkap geometrisinin yanında matkaba etki eden moment ve kuvvetlerin belirlenmesi için de bu konuda yapılan çeşitli araştırmalara dayanan kuvvet ve moment eşitlikleri geliştirmişlerdir. Yazar ve arkadaşları helis matkapların tasarımında benzerlik kavramını inceleyerek benzer geometrilere sahip farklı çaplardaki matkap gurupları ile kuvvet ve moment eşitlikleri geliştirmiş ve genel kullanılan eşitliklerle bulgularını karşılaştırıp çıkan sonuçların benzerliğini gözlemlemişlerdir [11].

Armerego ve arkadaşları, geleneksel ve modifiye edilmiş farklı ölçülerdeki matkaplara etki eden kuvvet ve momentleri daha önceki çalışmalarda teorik olarak incelemiş ve geometrik benzerlik ile kuvvet ve moment tahminini bu çalışmada yaptığı deneylerde doğrulamışlardır. Deneyde üç farklı çaptaki (1, 1.25 ve 0.75")

matkap ile 65S-T6 alüminyum alaşımı olan deney numunesini üç farklı ilerlemeyle (0.005, 0.008 ve 0.012in/dev) delerek bir dinamometre ile tepki kuvvetlerini ölçmüşlerdir. Geleneksel matkaplar ile modifiye edilmiş matkaplar için kuvvetlerin bir kıyaslamasını yapmış ve elde ettiği verileri istatistiksel metotlar kullanarak yorumlamışlardır. Buna göre modifiye edilmiş matkaplarda % 40-42 oranında kuvvet; % 15 oranında momentte azalmayı tespit etmişlerdir. Yazar ve arkadaşları bu çalışmalarında bilinen basit eğik kesme parametrelerinden faydalanarak matkap asıl kesici kenarlarındaki kuvvet ve momentlerin hesaplanabileceğini ortaya koymuştur [12].

Yuzo ve arkadaşları, delme işleminde kullandıkları alüminyum AI (1100-0)'da artan talaş kalınlığı ve talaş şekli yönünden 4 farklı çap ve 6 farklı delik boyunda kesme kuvvetini incelemişlerdir. İnceleme sonucunda momenti ve kesme kuvvetini delik boyutu, delik çapı ve ilerlemeye karşı değerlendirmişlerdir [13].

Williams, bu çalışmasında matkapta kesme olayını incelemiş bu konuda daha önce araştırma yapan Oxford, Bera ve Bhattaryya'nın kesme modellerini referans alarak konuya yaklaşmıştır. Oxford'un kesme modelinde olduğu gibi yazar matkabı iki kesme bölgesiyle tanımlamıştır. Birinci bölge için asıl kesme kenarlarını, ikinci bölge için radyal kesici kenarı göstermiştir. Yazar Oxford'un ikinci kesici bölge olarak tanımladığı radyal kesici kenarı iki kesme modeliyle açıklamaya çalışmıştır. Bunlardan ilki radyal kesici kenar modeli diğeri çentik bölgesi modelidir. Radyal kesici kenarda ve ana kesici kenarlarda kesme açılarının farklı olmasından dolayı bu bölgelere etki eden kuvvet ve moment değerlerinin farklı olduğunu tespit etmiştir. Matkaba etki eden toplam kuvvet ve momenti hesaplarken bu iki farklı kesici kenara etki eden kuvvet ve momentleri ayrı ayrı değerlendirip bulduğu sonuçları birleştirerek toplam kuvvet ve momentleri hesaplamıştır [14].

Watson ve arkadaşları, ISO Sistemini kullanarak tek uçlu takımların ve iki kenarlı matkapların kesme geometrisini incelemişlerdir. Makina referans sistemine dayanarak

yaptıkları bu teorik çalışmada torna takımlarının değişik açıları ile iki ana kesici kenarlı matkabın açıları arasındaki ilişkiyi vurgulamışlardır [15].

Subramanian ve arkadaşı, iki kesici kenarlı HSS kesicinin ömür tahmini ve aşınması üzerine yaptıkları çalışmada; 175 HB sertlikteki döküm malzemeyi incelemişlerdir.Çalışmada 10,32 mm çapındaki kesici ile 690 dev/dak olarak seçilen parametreleri kullanmışlardır [16].

Wiriyacasol ve arkadaşı, delik işlemedeki kesme mekaniğini, kuvvet ve moment tahmini yapmak için incelemektedirler. Kesme mekaniğini kesicinin kenar, uç ve açılarının etkisini analiz ederek yorumlamaktadırlar. İki tür deney numunesi malzemesini üç farklı ilerleme ve kesme hızı oranı ve matkap teknik özelliklerini göz önüne alarak test edip kesme modelinde tahmin ettiği kuvvet ve momentleri yaptığı deneyde elde ettiği verilerle karşılaştırmışlardır [17].

Tsai ve arkadaşları, bu çalışmasında matkap uç tasarımı ve taşlama parametreleri ile ilgili matematiksel bir model geliştirmiştir. Matkap performansını uç geometrisinin birebir etkilediği bilgisinden yola çıkıp, şu ana kadar yapılan matkap ucu geometrisine ait matematiksel modellerin matkap ucu tasarımı konusunda yetersiz kaldığını gözlemleyerek konik, hiperbolik ve eliptik uç geometrisine sahip matkap modellerini de kapsayan daha geniş bir model geliştirmeyi amaçlamıştır. Bu çalışma aynı zamanda matkap ucu geometrisi ve taşlama parametrelerinde daha kesin tahminler yapmayı mümkün kılmaktadır [18].

Billau ve arkadaşları, silindirik ve konik şekilde tasarlanmış iki kenarlıl matkapların ana serbest yüzey çevresinin geometrisinin analizini yapmıştır. Matkap performansı üzerine yaptıkları araştırmalarda birinci ve ikinci kenarlarda tahmin edilen aşınmanın yanında matkap ana serbest yüzeyinde de aşınmalar olduğunu gözlemlemişlerdir. Armarego ve Rotenberg'in önceki çalışmalarında işaret ettiği gibi çevresel yaklaşma açısının değerinin her zaman pozitif olduğu yaklaşımından yola çıkan yazar bu kabulün eksik olduğu sonucuna ulaşmıştır. Yazarların yaptığı analiz, iki kenarlı

matkaplarda birinci kenarın ikinci kenara göre uygun bir açıyla konumlandırılarak optimum matkap tasarımını mümkün kılmaktadır [19].

Radhakrishnan ve arkadaşları, dinamik veriler kullanılarak kompozit malzemelerde delik delme işlemi için delik içi kalitesini değerlendirmiştirler. Delik içi kalitesinin matkap aşınmasına bağlı olarak değiştiğini vurgulayan yazar ve arkadaşları bu çalışmayla Dinamik Veri Tekniğini kullanarak yaptığı analizde matkap şartlarının çevirim içi izlenebilirliği için katman sıklığındaki değişimin delik delme kuvvetleri ile ilişkilerini tespit ederek, delik delme esnasında yüzeydeki bu katman sıklığının ilerleme ve hıza bağlı olduğu kadar, kompozit malzemenin özelliklerine de bağlı olduğunu savunmaktadırlar [20].

Kaldor ve arkadaşları, matkap performansına önemli etkisi olan matkap ucu geometrisi unsurlarından; yaklaşma açısı, radyal kesici kenar şekli, çekirdek kalınlığı ve simetri hatalarının optimizasyonu üzerine bir araştırma yapmışlardır. Bu çalışma ile matkap ucu dizaynı için geliştirdikleri matematiksel ifadeler ile optimum matkap ucu taşlama parametrelerini belirlemişlerdir. Empirik ve teorik yaklaşımlarla uç tasarımı yaptığı yeni matkap modeli ile geleneksel matkapları uyguladığı testlerde karşılaştırıp bu testler sonucunda tasarlanan yeni matkap ucundaki optimum yaklaşma açısı, geleneksel uçlu matkaba oranla takım ömründe dikkate değer bir artış sağladığını gözlemlemişlerdir [21].

Braun ve arkadaşları, takım ömrü, ses, kuvvet arasındaki ilişkiyi incelemektedirler. Takım ömrü olarak kesici kenarı incelenmiştir. Çalışmada 180 HB sertlikte AISI 1045 çelik malzemeyi 9.5 mm çapındaki HSS kesici ile işlemişlerdir. Sabit delik boyunda, iki farklı ilerleme karşısında değişik kesme hızları incelenmiştir [22].

Thangaraj ve arkadaşları, delik delme sürecinde iki kenarlı matkaplarda oluşan sıcaklık dağılımı metalografik ve mikro-sertlik teknikleri yardımıyla incelemişlerdir. Yaptıkları deneylerde ani-durdurma düzeneği kullanarak matkabın talaş yolundan metal akış düzenini kontrol edip, matkaptaki aşınma durumunu talaş akışı ve sıcaklığı

bilgisinden yola çıkarak değerlendirmişlerdir. Matkap performansının iyileştirilmesi için optimum matkap geometrisinin yanında, malzeme sertliği, tokluğu ve sıcaklığa karşı davranışının da dikkate değer bir önem arz ettiğini vurgulamışlardır [23].

Watson, yaptığı bu çalışmada radyal kesici kenar ve asıl kesici kenarlar için bir delik delme modeli üzerinde durmuştur. Bu modeli destekleyen bir bilgisayar progamı oluşturmuştur. Bu proram ile matkap kesici kenarındaki unsurlarla ilgili çeşitli tahminler yapmıştır. Matkap ucu açılarından normal talaş açısı, normal kesme açısı, kesme hızı, ilerleme, kesme derinkiği, delik çapı değerlerine karşılık gelen momen ve kuvvetletin aldığı değerleri bu proram yardımıyla belirlemeye çalışmıştır. Teorik sonuçlarını Bhattacharya'nın konu ile ilgili benzer bir çalışmasının verileri ile kıyaslayıp buna göre malzemenin özelliklerinden sıcaklık ve gerilim davranışını göz ardı ederek kuvvet ve moment hesabı yapmıştır. Yazar geliştirdiği kesme modelinde artan kesme hızı için kesme kuvvetinin azaldığını savunmaktadır. Aynı değerleri deneysel olarak incelediğinde bazı değerlerin örtüşmediğini gözlemlemiştir. Deneysel çalışmada, malzeme özelliğinden kaynaklanan talaş oluşum şekli talaş akış açısında; dolayısıyla kesme açısında farklılıklara sebep olarak talaş akışındaki zorlanma değiştiği için moment ve kuvvetler yazarın kesme modelindeki tahmininden farklı çıkmıştır [24].

Watson, bir önceki alışmasında geliştirdiği radyal kesici kenar ve asıl kesici kenarlarla ilgili delik delme modelinde elde ettiği sonuçları yetersiz bulup bu çalışmada talaş oluşum sürecini dikkate alarak geliştirdiği modelde iyileştirmeler yapmıştır. Bu yeni çalışma ile yazar değişken unsurları bir bütün olarak yeniden ele alıp hesaplaması ile, elde edilen teorik verilerin deneysel bulgulara çok daha yakın tahminler olduğunu ortaya koymaktadır. Bu teori ile matkap ve delik delme ile ilgili değişkenler değiştiğinde de uygun sonuçlar elde ettiğini ortaya koymuştur [25].

Constantinides ve arkadaşları, dik freze tezgahında takım aşınması ile aktif takım ömrü sonu için mil motor gücü ölçümlerinden yola çıkarak incelemeler yapmıştır.. Spectral analiz yöntemi kullanılarak değerlendirdikleri motordaki birikmiş toplam

gücün spektrum değerlerinin, tahmini aşınmaya etkisi incelemişlerdir. Özel bir kesici takım (Braver NC5) ve deney numunesi malzemesi(Paslanmaz Çelik) için özel test şartları altında yaptıkları deneylerde yazar ve arkadaşları, harcanan tezgah mili motor gücündeki değişken dalgalanmalara bağlı olarak spektral enerji değişiminin, takım aşınma oranıyla doğrudan ilişkili olduğu savunmaktadırlar [26].

Stephenson ve arkadaşı, tarafından tornalama ve delme işlemlerinde üç boyutlu kesme mekaniği için bir bilgisayar modeli oluşturulmuştur. Moment, kesme hızı ve ilerlemeye karşılık talaş kalınlığı ve talaşın şekli incelenmiştir. Yapılan deneylerde AI 6061 25mm ve 29 mm çapındaki iki kesici ağızlı HSS takım ile 2 farklı devir sayısında ve 2 farklı ilerleme ile işlenerek elde edilen veriler yorumlanmaktadır. Çalışma sonucunda teorik ve deneysel çalışma sonucunda elde edilen veriler karşılaştırılmıştır [27].

Thangaraj ve arkadaşı, delme işleminde dik itme kuvvetini ölçerek bilgisayar yardımı ile takımdaki zayıflamanın tahmini üzerinde inceleme yapmışlardır. Çalışmada 8 mm çapında 2 kesici ağızlı HSS kesici ile AISI 1045 çelik malzeme işlenmekte olup 24 mm derinlikteki delik, bir kesme hızı ve ilerlemeye karşı incelenmiştir [28].

Liu ve arkadaşı, yaptıkları çalışmada ivme ve kuvvet sinyallerini analiz ederek takımdaki aşınmayı yorumlamaktadırlar [29].

Rubbenstein, delik delme işleminde matkap ucunda oluşan kuvvet ve momentlerin tahmini için teorik bir çalışma yapmıştır. Yazar aynı konuda çalışma yapan Watson Armerago ve Cheng'in çalışmalarından yola çıkararak yaptığı analizlerde iki kenarlı helisel matkap ile yassı matkapdaki geometrik unsurların benzerliğini gözlemlemiş ve kuvvetlerin tespitinde bu benzerlikten faydalanmıştır [30].

Stephenson ve arkadaşı, gri dökme demiri karbür takımla işleyerek kesici kenardaki moment, dik kuvvet, radyal kuvveti incelemişlerdir. Çalışmada; kesici takım farklı

kesme talaş açılarında ve soğutma sıvısı ile kullanılarak kuvvet denklemleri elde edilmiştir [31].

Ogawa ve arkadaşları, alüminyum 5056 da küçük deliklerin kesme performansının araştırılmasında; talaş şekli, moment, delme kuvveti, deliğin yüzey pürüzlülüğünü incelemişlerdir. Kesici kenarın uzunluğunun ve ilerlemenin talaş şekline olan etkisini de dikkate alınmamıştır [32].

Haung ve arkadaşları yaptıkları bir teoriksel çalışmada çoklu kesici uç yüzeyine sahip matkaplarda kesici kenarlar boyunca talaş açısı ve yaklaşma açısının analizini yapmışlardır. Bunun için geliştirdikleri matematiksel modeller ile çoklu yüzeylere sahip matkaplarda geometrik parametrelerdeki değişimin kesici kenarlardaki yaklaşma ve talaş açısına etkisini belirlemeye çalışmışlardır.Yapılan geometrik analizde bilgisayar ortamında uygulanan bir program kullanılarak optimum kesici uç geometrisini belirlemeyi amaçlamışlardır. Geleneksel matkaba oranla çoklu yüzeyli matkaplarda uç açısı ve kesici kenar uzunluğu azalmakta bunun yanında geleneksel matkaptaki asıl kesici kenarlara karşılık olarak çoklu yüzeyli matkaplarda birden çok kesici kenar oluşmaktadır. Bunlar iç kesici kenar, dış kesici kenar, yay şeklinde kesici kenar ve geçiş kesici kenarıdır. Yazar ve arkadaşları yaptıkları analizlerde işte bu farklı kesici kenarlarda oluşan farklı talaş ve yaklaşma açılarını irdelemişlerdir [33].

Salvam ve Sjutha, bu çalışmalarında iki ağızlı helisel matkapta oluşan deformasyonları ve optimum matkap geometrisini sonlu elemanlar metodu ile analiz ederek belirlemeye çalışmışlardır. Yaptıkları teoriksel çalışmada geleneksel matkap modelleri için kesici uç noktası üzerinde yirmiden fazla düğüm noktası belirlemişlerdir. Matkaptaki temel parametreler ve otomatik ağ geliştirme yönteminin kullanılması, çeşitli ölçülerdeki matkaplara da aynı modeli uygulama imkanı sağlamaktadır. Sonlu elemanlar yöntemini kullanarak yaptıkları analizlerde matkap ucuna gelen yükleri belirlemişler ve buna bağlı olarak matkap ucunda meydana gelen açısal, eksenel ve radyal yer değiştirmeleri tespit etmişlerdir. Ayrıca optimum matkap geometrisi için helis açısı, enine kesici kenar açısı, uç açısı ve marjin(çap boyunca

yaklaşma ölçüsü) değerlerini belirlemişlerdir. Analizlerin sonunda farklı matkap çaplarında optimum helis açısını farklı bulmuşlardır. 25mm çap için optimum helis açısını 39.776^{o}, 10mm çap için 43.403^{o}, 8mm çap için 43.921^{o} olarak belirlemişlerdir. Optimum kesici kenar açısını $54\text{-}80^{o}$, küçük çaplı matkaplarda bu değer $60\text{-}70^{o}$ olarak tespit etmişledir. Optimum uç açısını 120° ve optimum marjin değerini sıfır olarak belirlemişlerdir. Yazarlar çalışmalarında son olarak iş parçası sertliği ve ilerleme oranının matkap üzerindeki etkileri yine açısal, eksenel ve radyal yer değiştirmelere dayanarak değerlendirmişlerdir. Bu konuda yaptıkları analizlerin sonucunda iş parçası sertliği ve ilerleme oranının özellikle küçük çaptaki matkaplarda etkili olduğu sonucuna ulaşmışlardır [34].

Lin ve arkadaşları helis uçlu matkap olarak ifade ettikleri yeni bir matkap uç geometrisi uzerinde teoriksel olarak çalışmışlardır. Özellikle micro delik delme yönteminde kullanmayı amaçladıkları bu yeni uç geometrisi için yeni bir matematik model ortaya koymuşlardır. Bu matematiksel model mevcut matematiksel modellerden daha geneldir. Mikro-delik delme yönteminde kullanma amacıyla tasarlanan helis uçlu matkap için oluşturulan bu matematiksel model aynı zamanda geleneksel matkaplar için de kullanılabilme imkanı sağlamaktadır. Yazar ve arkadaşları bu çalışmalarında Armarego ve Wright'ın konuyla ilgili yayınlarını referans almışlardır. Matematiksel modeli oluştururken uç geometrisi unsurlarından; serbest yüzey, talaş yüzeyi, enine kesici kenar açısı ve asıl kesici kenar yaklaşma açısını dikkate alarak matemetik modeli oluşturmuşlardır. Ayrıca bu modele bağlı olarak 6 adet taşlama parametresi belirleyip bunları 3 kriterlere göre taşlama sürecinde değerlendirmişlerdir. Kesme davranışları, kontrol edilebilirlik ve hassasiyetlik olarak nitelendirilebilecek bu kriterleri baz alarak çeşitli analizler yapmışlardır [35].

Routio ve arkadaşı, paslanmaz çeliklerde 10 mm çapında hem kaplamalı (TiN) hem de kaplamasız HSS kesici ile delme işlemini incealemişlerdir. Deneylerde 7 farklı kesme hızı ve 7 farklı ilerleme miktarı kullanılmıştır [36].

Salama ve arkadaşı, iki kesici ağızlı takımın dinamik geometrisi ve mekaniğini araştırarak teorik bir çalışma yapmışlardır [37].

Chen ve arkadaşları yarık uçlu matkaplara etkiyen kuvvet ve moment tahmini yapmak için yarma parametrelerini de içeren bir matematiksel model geliştirilmiştir. Bu matematiklsel modelde birinci ana kesici kenar, ikinci kesici kenar ve enine kesici kenar için ayrı ayrı kuvvet ve moment modelleri tanımlamışlardır. Bu matematik modelde ana kesici kenarlar uzunlukları ve enine kesici kenarlardaki negatif talaş açısını da dikkate almışlardır.Bu modellere göre matkap ucuna etkiyen toplam kuvvet ve momentleri hesaplamışlardır. Sonlu Elemanlar metodu kullanarak düzenledikleri bu matematiksel modelden elde ettikleri minimum kuvvet ve momentlerini referans alarak optimum yarık-uçlu matkap geomerisini belirlemeye çalışmışlardır. Ayrıca konuyla ilgili yaptıkları deneysel çalışmada çentik açısı değişiminin matkap ucuna etkiyen kuvvet ve momentlerin etkisini incelemişlerdir. Yaptıkları deneyde 180x40mm boyutunda JIS 45C karbon çelik iş parçasını, 4 farklı çentik açısına sahip (65°, 60°, 55°, 57.7^o) 8mm çapında yarık uçlu matkaplar ile; devir sayısı 1030dev/dak, ilerleme oranı 0.12mm/dev, delik derinliği 20mm de sabit tutulmuştur. Yapılan deney sonunda minimum kuvvet ve momentler için optimum çentik açısı 57.7^o olarak tespit etmişlerdir [38].

Shin ve Waters yaptıkları bu çalışmadaKesici takımlardaki işleme sürecinde takım ucuna gelen kesme kuvvetlerini inceleyerek işleme kuvvetlerini belirlemeyi amaçlamışlardır. Bundan önce yapmış oldukları çalışmada işleme esnasında takıma gelen kuvvetlerin hesaplanması için gelştirdikleri matematiksel modelde kesme kuvvetlerini etkileyen katsayıları bu çalışmada yaptıkları çeşitli deneylerle doğrulamayı amaçlamışlardır.Bu deneylerde; takım ve işparçası malzemelerini, takımdaki talaş akış açısı, ilerleme oranı, kesme hızı, kesme derinliğinin kesme kuvvetleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Bunun için Dökme-Demir ve alüminyum malzemeli iş parçalarını; çapları 3-4” arasında değişen Seramik, Silikon-Nitrat, Karbid, Kaplamalı karbid ve Elmas uçlu takımlarla; 3 farklı ilerleme oranı, 2 farklı kesme hızı ve 6 farklı kesme derinliği kullanarak incelemişlerdir. Matematiksel

modellerde çeşitli faktörlere bağlı olarak kullandıkları katsayılardan yararlanarak elde ettikleri tahmini kuvvetlerle deneysel sonuçları karşılaştırmışlardır [39].

Stephenson ve arkadaşı bu çalışmada metallerin kesme işleminde süreçten bağımsız olarak kuvvet tanımlaması yapmayı amaçlamışlardır. "Süreçten bağımsız" dan kasıt; metal kesme sürecinde ortaya çıkan kuvvetlerin hesaplanması amacıyla verilen modelin farklı işleme yöntemlerinde de kullanılması için genel bir veri hattına bağlı olarak tanımlanmasıdır.Bu modele farklı işleme yöntmleri için birleştirilmiş model de denebilir. Bu model, takım talaş yüzeyine gelen kuvvet ve kesme basıncını kesme hızı, kesilmemiş talaş kalınlığı, ve takım talaş açısının bir fonksiyonu olarak, farklı işeme yöntemlerinden alınan veriler yardımıyla birleştirilmiş ortak model için temel veri hattı oluşturularak belirlenmiştir . Temel veri hattı oluştururken takım geometrileri için çevirim hesapları yapılmıştır. Yazar ve arkadaşları konuyla ilgili yaptıkları deneylerde 5 farklı takım–işparçası malzme çifti kullanarak içerisinde tornalama ve frezelemenin de bulunduğu dört çeşit metal kesme yöntemini uygulmışlardır.Yapılan bu deneyde elde edilen verilerin tahmini değerlerle örtüştüğü tespitine varmışlardır. Örneğin, boyuna tornalamada ortaya çıkan kuvvtlerin benzer şartlarda delik delme sürecinde de söz konusu olduğunu gözlemlemişlerdir [40].

Ren ve arkadaşı, kesici kenar açılarının etkisi üzerine teorik olarak çalışmışlardır. Yapılan matematiksel modeller ile kesme açılarının delik hatalarını % 5 den daha az etkilediğini göstermişlerdir [41].

Choudhury ve arkadaşı, devir (kesme hızı) ve ilerlemenin kesici kenar üzerindeki aşınmaya olan etkisini incelemişlerdir. Yapılan teorik çalışmada kesme parametrelerinin kesme kuvvetlerine olan etkisi incelenmekte ve C_45 orta karbonlu çeliği 3 farklı devirde ve 2 farklı ilerleme miktarında gerçekleşmektedir [42].

Kalidas ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada; farklı kaplamalı (TiAIN/TiN ve TiAIN) ve kaplamasız iki kenarlı HSS kesici ile soğutma sıvılı ve sıvısız çalışma şartlarında iş

parçasındaki sıcaklık, ölçü ve çapaklanmayı araştırmışlar, deneylerde alüminyum 356 alaşım malzeme kullanmışlardır [43].

Kim ve arkadaşları, tezgah motor gücünün işleme anında kesici takım aşınmasına etkisini incelemişlerdir. Yapılan teorik çalışmaya ek olarak deneysel çalışmada 187 BH sertlikte S45C çelik malzeme; 4 mm ve 6 mm çapında 2 kesici kenarlı HSS kesici takım kullanmışlardır [44].

Kelly ve arkadaşı, alüminyum alaşımını işlerken hem soğutmayı hem de kesmeyi kolaylaştırmak için yağ kullanmanın etkisini araştırmışlardır. Çalışmada; kesme kuvvetleri ve momente ek olarak sıcaklık ölçümünün de etkisi araştırılmaktadır [45].

Mellinger ve arkadaşları, delme işleminde çapaklanmanın tahmini ve talaş kaldırırken oluşan kuvvetin modellenmesini yapmışlardır. Delik boyunun çapak miktarına etkisi, kuvvetin artmasına sebep olması, düşük delik kalitesi, kesicide oluşan olumsuz sıcaklık ve kesici deformasyonu dikkate alınmıştır. Teorik çalışmaya ek olarak yapılan deneylerde alüminyum 356-T6.A malzeme 3.175 mm çapında 2 kesici ağızlı helis açısı sıfır olan karbür kesici kullanılmıştır [46].

Jantunen, yaptığı çalışmada matkapla işlemeye etki eden parametrelerden moment, dik kuvvet, ilerleme, titreşim, ses, ultrasonik titreşim, devir sayısı, kesme hızı gibi değerleri yaklaşık 34 çalışmada inceleyip değerlendirmişler ve kıyaslamalar yapmışlardır [47].

Haris ve arkadaşları, çalışmalarında; 2 kesici ağızlı hem kaplamalı hem de kaplamasız HSS takımla kuru işleme şartlarında aşınmaya aşınmaya olan etkilerinin araştırılmasına ağırlık vermişlerdir [48].

Wang ve arkadaşları, çalışmalarında takım ömrünü etkileyen K kesme oranını dik kuvveti ve momente bağlı olarak ifade etmektedir [40].

Ertunç ve arkadaşı, çalışmalarında kesme kuvvetinin ölçüm sinyallerinin görüntülenmesini araştırmışlardır. Araştırmada; farklı modelleri kullanarak teorik ve deneysel inceleme yapılmaktadır [50].

Hsieh'in çalışmalarında, helisel bir kesici takımın matematiksel modeli oluşturulmuştur. Modellemede küçük deliklerin çapı ve uzunluğu dikkate alınmıştır [51].

Vekteris ve arkadaşları, delme işlemlerinin mekaniği üzerine araştırma yapmışlardır. Çalışmada; hidrolik elemanlarla yapılan ilerleme ve kuvvet kapalı döngü kontrolle kontrol edilmektedir [52].

Kim ve arkadaşı, çalışmalarında; moment ve kuvveti analitik olarak inceleyerek deney şartlarına yakın bir takım geometrisi, kesme şartları ve malzeme kullanmaktadırlar. Çalışmada; gerilme analizini bir sonlu elemanlar yazılımı olan ANSYS 'de yapılmakta ve iki ağızlı HSS kesici takım kullanılmaktadır. Kesici geometrisinin etkisi, delme kuvveti ve kesici takımdaki gerilimlerin delmedeki kesme şartlarına etkileri analitik olarak hesaplanmaktadır [53].

Pena ve arkadaşları, çalışmalarında; dönen takımdaki momenti, istenmeyen çapaklanma gibi parametreleri alüminyum AI 7075-T6 malzemesinde incelemekte hem kaplamalı (TiAIN) hem de kaplamasız 3 ağızlı karbür kesici takım kullanılmaktadır [54].

Pirtini ve arkadaşı, delme işleminde delik kalitesi ve kuvveti araştırmışlardır. Çalışmada teorik modellemeye ilave olarak deneysel çalışmada yapılmaktadır. Deneyler alüminyum AI 7039 malzeme, sabit kesme hızında 5 farklı ilerleme ile işlenmiştir [55].

Hamade ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada kesici kenar genişliği, kesme kuvveti, ilerleme ve uç açısını incelemişlerdir. Delik delme işlemlerinde kesme kuvveti

katsayılarını çıkarabilmek amacıyla çalışma yapmışlardır. Çalışmada; alüminyum AI 6061-T6 malzeme kullanılmakta, hem teorik hem de deneysel inceleme yapılmaktadır. Bazı deliklerde ön delik delinmiş ve momenti ve ilerleme kuvveti üzerindeki etkisi de yorumlanmaktadır [56].

Chern ve arkadaşı, çalışmalarında alüminyum AI 6061-T6 ve yapı çeliği SS41 malzemelerinde delik kalitesine titreşimin etkisi incelenmişlerdir. Çalışmada küçük delik delinmektedir [57].

Sangay ve arkadaşı, delik yüzey pürüzlülüğünün matematiksel analizinde yapay sinir ağlarını kullanmışlardır. Kesici çapı, kesme hızı, ilerleme, işleme zamanı yapay sinir ağlarına girdi olarak verilerek yüzey pürüzlülüğü değerlendirilmiştir. Deneysel çalışmada çelik malzeme kullanılarak çap sabit tutularak 3 kesme hızı ve 3 ilerleme miktarında çalışılmıştır. Delik derinliği 30 mm alınmıştır [58].

Fernandes ve arkadaşı, kompozit malzemelerde en fazla kuvvet ve momente karşı aşınmayı incelemişlerdir. Çalışmada; bir 2 helis kanallı kesici takım kullanılarak 5 mm çapındaki deliklerden her 500 delikte ölçüm yapılmaktadır. Matematiksel modellemede Shaw'ın denklemleri kullanılmakta ve deneysel sonuçlarla karşılaştırılmaktadır [59].

Bağcı ve arkadaşı, çalışmalarında delik işlemenin lineer olmayan bir işlem olduğunu vurgulamaktadırlar. Çalışmada soğutma sıvılı işleme şartlarında sıcaklık hem deneysel hem de teorik olarak incelenmektedir. Çalışmada çelik AISI 1040 ve alüminyum AI 7075-T651 malzeme kullanılmaktadır. Bir sonlu elemanlar programı (Third Wave Advantage) kullanılarak sıcaklık tahmin edilmektedir. Deneylerde iki kesici ağızlı matkap ile kuru işleme şartlarındaki sıcaklık dikkate alınmıştır. Kullanılan kesici soğutmalı ve kaplamalı karbür tipinde (TiN/TiAIN) ve soğutma kanallarına termocouple yerleştirilmiştir [60].

Rivero ve arkadaşları, çalışmalarında kuru kesme şartlarında alüminyum alaşımlarının kesme parametreleri ve kaplamalarının etkilerini incelemişlerdir. Deneylerde 3 kesici ağızlı kaplamalı takım kullanmışlardır [61].

2.1. Literatür Araştırmasının Değerlendirilmesi

Literatür araştırmasında, yapılacak olan çalışmanın konusu ile ilgili yapılmış araştırmalar 1953 yılından itibaren günümüze kadar tarihsel bir sıraya göre verilmiştir. Yapılan bu sıralamadaki amaç, çalışma konusu olan delik delme parametreleri ile ilgili en temel bilgileri ele alıp konu ile ilgili günümüze kadar yapılan çalışmaların gelişim sürecini ortaya koymak ve yapılacak olan çalışmada bu süreci iyi inceleyip bundan sonra ne yapılması gerektiğini belirleyebilmektir. Literatür araştırması neticesinde konu ile ilgili yapılan çalışmalarda aşağıdaki hususların ön plana çıktığı gözlenmiştir.

Delik delme sürecinde işleme performansına etki eden faktörlerden kesici takım türü ve uç geometrisi, iş parçası malzemesi, delik çapı, tezgah rijitliği, soğutma sıvısı, kesme hızı ve ilerleme gibi kesme parametreleri ile ilgili çeşitli deneyler yapılmıştır. Takım ömrü ile ilgili özellikle matkap uç geometrisi üzerine yapılan çalışmaları çokluğu dikkat çekmektedir. Matkap uç geometrisinin kesme kuvvetleri üzerindeki etkileri üzerinde durularak optimum kesme şartlarına ulaşabilmek için matkap uç geometrisinde değişiklikler yapılmış, bu değişiklik klasik matkaplarla karşılaştırılarak, delik delme performansına olan etkisi çeşitli deneylerle incelenmiştir.

Takım ömrünü belirleyen takım ucundaki aşınmaları ve bu aşınmalara sebep olan kesme kuvveti ve momentlerle ilgili yapılan çalışmalarda takım uç geometrisi haricinde; kesme hızı ilerleme, delik çapı tezgah rijitliği gibi faktörlerin kuvvetlere olan etkisi çeşitli teorik ve deneysel çalışmalarla incelenmiştir. Yapılan çalışmalarda özellikle uç geometrisine bağlı olarak kesme kuvveti ve momentlerle ilgili çeşitli matematiksel modeller geliştirilmiştir. Ayrıca yine matkap ucuyla ilgili taşlama

konisi parametrelerini belirleyebilmek için çeşitli matematiksel modeller geliştirilmiştir.

İşlenen malzemeni tanecik yapısı ve sertliğinin kesme olayına etkisi farklı malzemelerle deneysel olarak incelenmiştir. Delik delme sürecinde iş parçası malzemesinde oluşan ısının matkap ömrüne olan etkisi deneysel ve teorik olarak birkaç araştırmada incelenmiştir.

Yapılan literatür araştırmasında delik delme sürecinde kesme kuvvetleriyle ilgili pek çok çalışmanın yapıldığı ve halen yapılmakta olduğu gözlenmiştir. Bu amaçla "AI7075 ve AI 6013 alüminyum malzemelerde delme operasyonlarında kesici takım kesme parametrelerinin incelenmesi" adlı çalışmanın farklı kesici takım, iş parçası malzemesi ve kesme parametrelerini kullanarak, takımı etkileyen kesme kuvvetlerinin yanı sıra sıcaklık, titreşim ve yüzey kalitesini de inceleyerek literatürde bir boşluğu dolduracak nitelikte olduğu düşünülmektedir.

3. KURAMSAL TEMELLER

3.1. Kesme ve Talaş Kaldırma Olayı

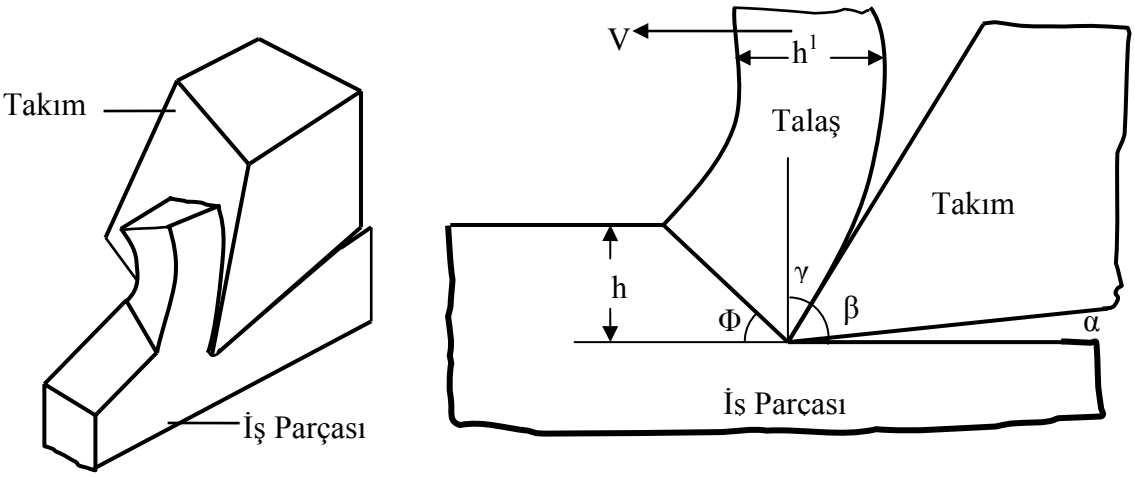
İş parçasını istenilen şekil, boyut ve yüzey kalitesine getirmek için, iş parçasından daha sert ve keskin bir kesici takım vasıtası ile güç kullanarak iş parçası üzerinden malzeme kaldırmaya talaş kaldırma işlemi denir. Bu süreçte iş parçasından ayrılan malzeme tabakasına talaş denir. Talaş kaldırma işleminin gerçekleşebilmesi için takım ve iş parçasının birbirine göre izafi hareketlerde bulunması gerekir. Fiziksel olarak talaş kaldırma işlemi, elastik ve plastik şekil değiştirmeye bağlı olarak; sürtünme, ısı oluşumu talaşın kırılması ve büzülmesi, işlenen parçanın yüzeyinin sertleşmesi, takım ucunun aşınması gibi olaylar meydana gelen, karmaşık bir fiziksel olaydır[62].

Talaş kaldırma işlemlerinin çoğu, gerekli boyut ve şekildeki parçaları üretmek için iş parçasından talaş veya ufak küçük parçacıkların ayrılmasını gerektirir. Talaşın oluşması için; kesici olarak kullanılan bir takımın iş parçasından daha sert ve aşınmaya karşı daha dirençli olması talaş derinliği ve ilerlemeyle birlikte iş parçası ve takım arasında dalmayı sağlayan kesici uç geometrisine sahip olmasının yanı sıra iş parçası malzemesi direncini yeterli kuvvetle yenmesi için iş parçası ve takım arasında bir kesme hızı ve nispi hareketin oluşmasıdır. Bu şartlar varolduğu sürece işlenecek malzemeden takım talaş yüzeyi aracılığıyla talaş oluşturmak için malzemenin bir kısmı kaldırılacaktır[63].

Talaş kaldırma esnasında takım ile parça arasında kesme ve ilerlemeden meydana gelen iki temel hareket vardır. Bu hareketlerin parça yada takım tarafından yapılması çeşitli talaş kaldırma yöntemlerini meydana getirir. İlerleme hareketi; parçanın uzunluğu, genişliği veya derinliği boyunca belirli bir kısmın işlenmesini sağlayan harekettir. Kesme hareketi ise takımın yapmış olduğu doğrusal yada dönme hareket ile ilerleme hareketinin bir sonucudur. Takım bu hareketlerin neticesinde iş parçası üzerinden verilen ilerleme kadar talaş kalınlığını koparmaya çalışır. Bu işleme kesme

adı verilir. Bu kesme işleminin gerçekleşebilmesi için de kesici takımın; üzerine gelen kuvvetlere ve bunların meydana getirdiği gerilmelere karşı koyabilecek dirence sahip olması gerekmektedir[64].

Talaş kaldırma işleminde iş parçası ve takım arasında sürtünme, ısı, takım aşınması, takım deformasyonu vb. gibi bir dizi olay meydana gelir. Bir parça üzerinden talaş kaldırılabilmesi için takımın iş parçasına nüfuz etmesi ve takım veya iş parçasına uygulanan kesme kuvvetinin yeterli olması gerekir [65].



Şekil 3.1. Takım modeli ve ortogonal kesme[56].

Şekil 3.1'deki simgeler;

h: Talaş derinliği
h^1: Elde edilen talaş kalınlığı
Φ: Kayma açısı
γ: Talaş Açısı
β: Kama açısı
α: Boşluk açısı
V: Kesme yönü

Ortogonal kesme, takımın kesme kenarı, takım ile parça arasındaki kesme hızına dik veya eğik olan talaş kaldırma şeklidir. Eğik olan duruma ortogonal eğik kesme denir. Böyle bir takımın bir parça üzerine belirli bir kuvvetle bastırıldığını ve kuvvet yönüne doğru hareket ettirildiği düşünülürse, takım ucunun temas ettiği metal tabakasında önce elastik sonra plastik şekil değiştirmeler meydana gelerek metal tabakasında akmalar başlar ve gerilmeler malzemenin kopma sınırını aştığı anda tabaka, talaş şeklinde belirli bir yüzey boyunca parçadan ayrılır. Tabakanın parçadan ayrılma şekli, parça malzemesinin özelliklerine ve işleme koşullarına bağlı olarak farklı bir şekilde gerçekleşir. Buna göre çeşitli talaş şekilleri meydana gelir[62].

Esasen talaşın iş parçasından ayrılması bir mekanik kopmadır. Bu kopma burada makaslama (kesme) şeklinde gerçekleşir. Bilindiği gibi genelde kopma sünek ve gevrek olmak üzere iki çeşittir. Sünek kopmada malzeme kopmadan önce büyük plastik şekil değiştirmeler göstermektedir. Sünek şekilde kopan malzemelere sünek malzemeler denilmektedir. Gevrek kopmada, kopmadan önce çok az veya hiçbir plastik şekil değiştirmeler meydana gelmez [62].

Kesme hareketiyle gevrek malzemeye daha fazla gerilim uygulandığı zaman metal kırılmanın olduğu noktaya ulaşıncaya kadar basma gerilmesine maruz kalır ve talaş işlenmemiş kısımdan kopar. Bu çevrim, kesme işlemi sırasında kayma düzlemi veya kayma açısı üzerinde oluşan her parçanın kırılmasıyla sınırsız olarak tekrarlanır. Genellikle, bu birbiri ardından kırılmaların sonucu olarak, daha kötü bir iş parçası yüzeyi elde edilmesine neden olur[66].

Takım/talaş ara yüzeyi boyunca kayarak sürtünen ve basma gerilimine maruz kalan talaşta oluşan gerilimi azaltmak için, takıma uygun bir talaş açısı verilir ve kesme işlemi esnasında soğutma sıvısı kullanılabilir. Bu özellikler, takım/talaş ara yüzeyi boyunca sıkıştırılmış talaşın nispeten daha serbest olarak akmasına imkan sağlar. Sürekli talaşın arkasında parlak bir tabakanın oluşması az dirençle akan talaşın ideal kesme şartını göstermektedir. Sürekli talaş sünek iş parçası, talaş derinliği az olan parça ve nispeten düşük ilerleme miktarı, keskin kesici uçlu takım, büyük talaş açılı

kesici uç, yüksek kesme hızları, kesme sıvısı kullanılarak kesici uç ve iş parçasının soğuk tutulması gibi şartlar altında oluşur[66].

3.1.1. Talaş kaldırma olayını etkileyen faktörler

Fiziksel açıdan ta1aş kaldırma iş1emi, elastik ve plastik şekil değiştirmeye bağlı olarak, ta1aşın kırılması ve/veya büzülmesi, iş1enen parçanın yüzeyinin sert1eşmesi, sürtünme, ısı oluşumu, takım ucunun (ağzının) aşınması gibi olaylardan meydana gelen fiziksel olaylar zinciridir. Bu yüzden talaş kaldırma işlemine etkiyen çok sayıda faktör vardır. Bunlar şöyle özetlenebilir [66].

- Kesici takım ömrü, T (dak),
- Kesme hızı, V (m/dak),
- Kesme kuvvetleri F_T
- İlerleme miktarı, f (mm/dev),
- Takım geometrisi KA_T
- Titreşim durumu, Vi,
- Soğutma sıvısı, Ss,
- Takım/iş parçası malzeme çifti, TMç,
- Takım burun yarıçapı, r (mm),

Bunlar fonksiyonel olarak ifade edilirse;

$$f\,(T, V, f, F_T, KA_T, Vi, Ss, TMç, r) = 0 \qquad (3.1)$$

şeklinde yazılabilir.

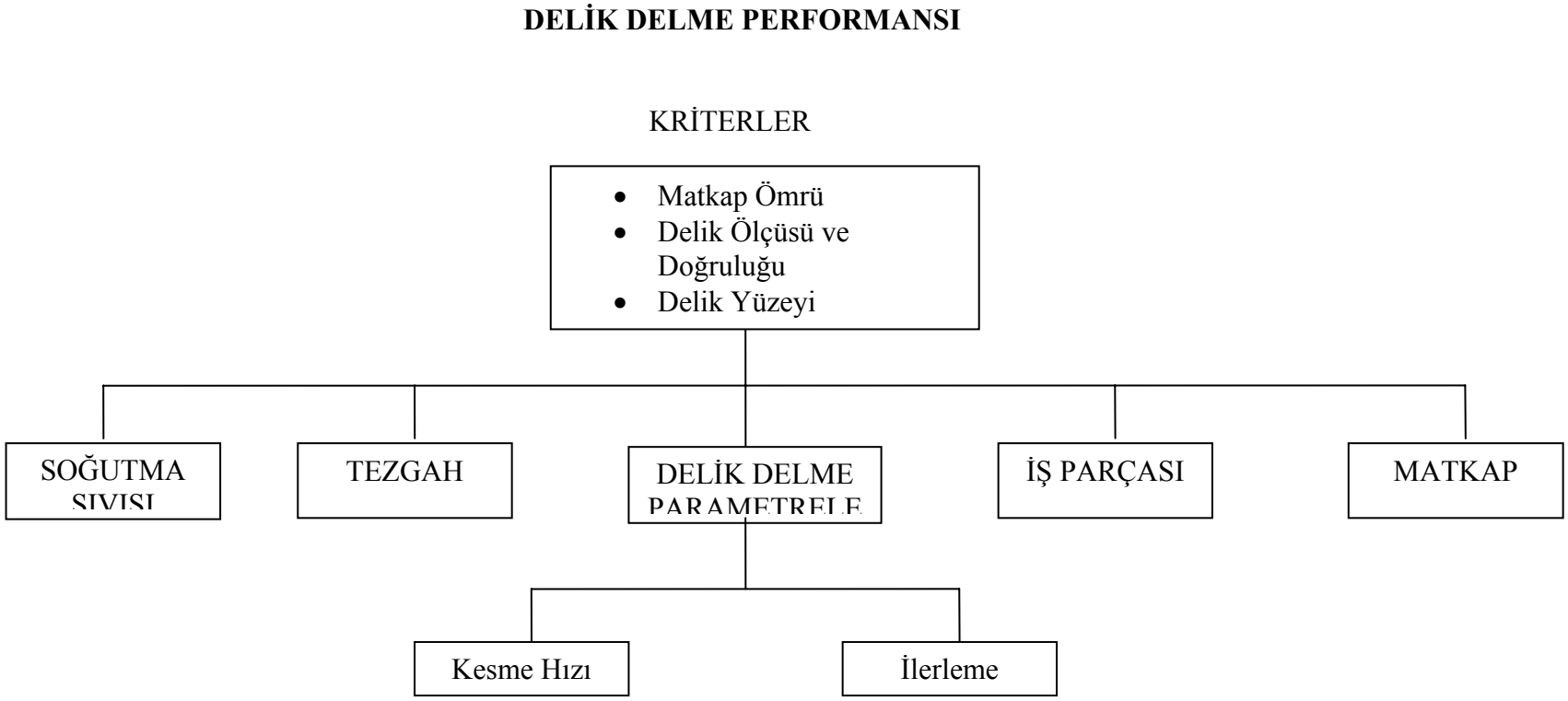
Talaş kaldırma işleminin karmaşıklığı nedeniyle bu fonksiyon da karışıktır. Bu nedenle, yapılan araştırmalarda bunlardan bir çok faktör sabit tutularak bir kısım etmenlerin tespit edilmesi gerekir. Bunlar arasında da en önemlisi kesici takım performansı ve maliyete etkileri daha yüksek olduğundan dolayı takım ömrüdür.

Takım ömrü kesici takımın birbirini takip eden iki bileme esnasında etkili olarak çalıştığı zaman olduğundan, genellikle takım ömrü-kesme hızı ve kesme hızı-talaş kesiti ilişkileri öncelik arz etmektedir [66].

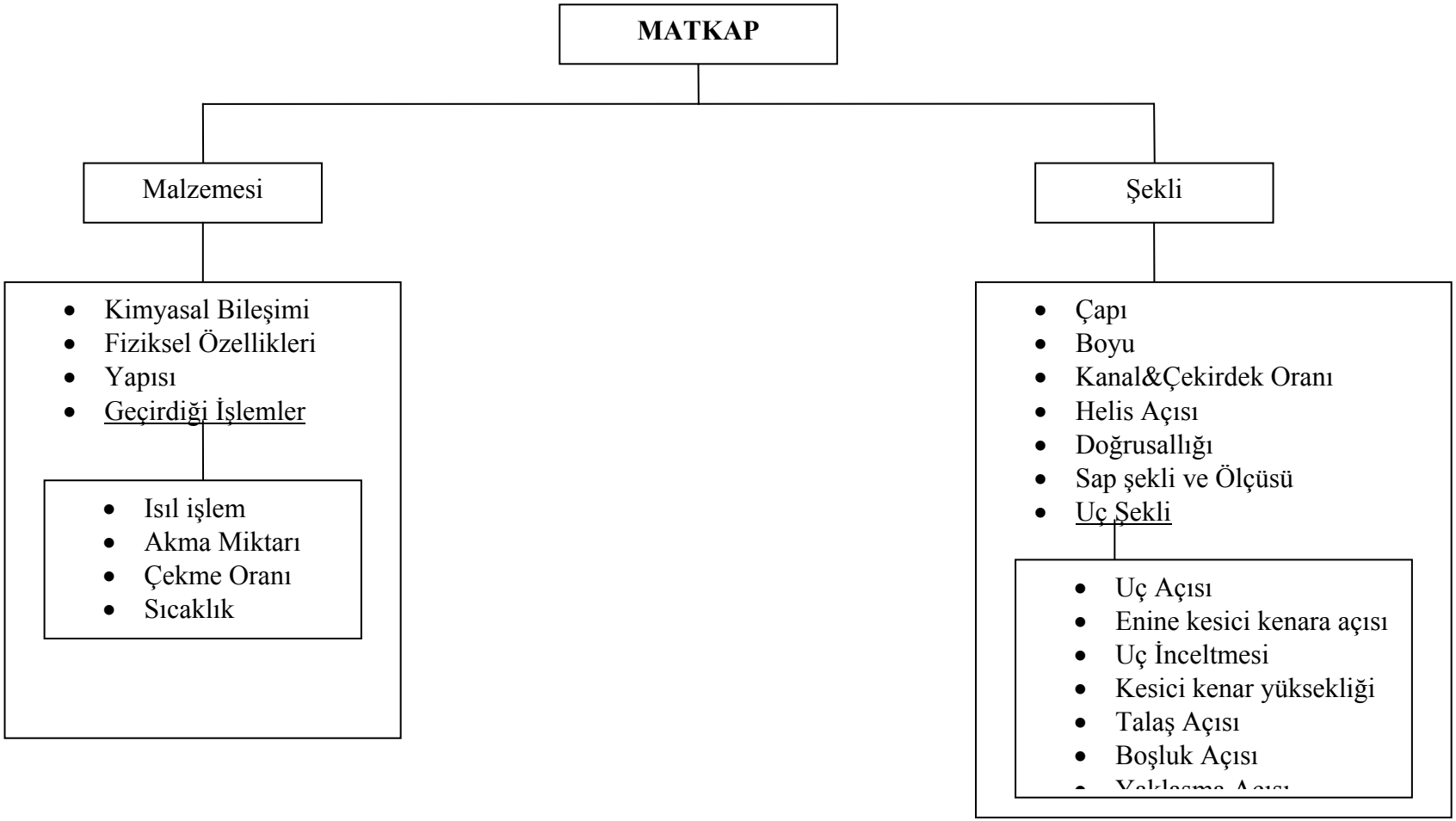
3.1.2 Delik delme performansı

Talaş kaldırma teorisi, kesme kuvvetleri, sıcaklığın ölçülmesi işlenebilirlik, ekonomiklik kesme sıvısı vb. pek çok alanda çalışmalar yapılmış ve bu çalışmalar sonunda kesici takım, kesme hızları, ilerlemeler, takım geometrisi ve soğutma sıvıları geliştirilmiştir. Bu gelişmeler diğer işleme performaslarına olduğu gibi delik delme performansına da önemli katkılar sağlamıştır.

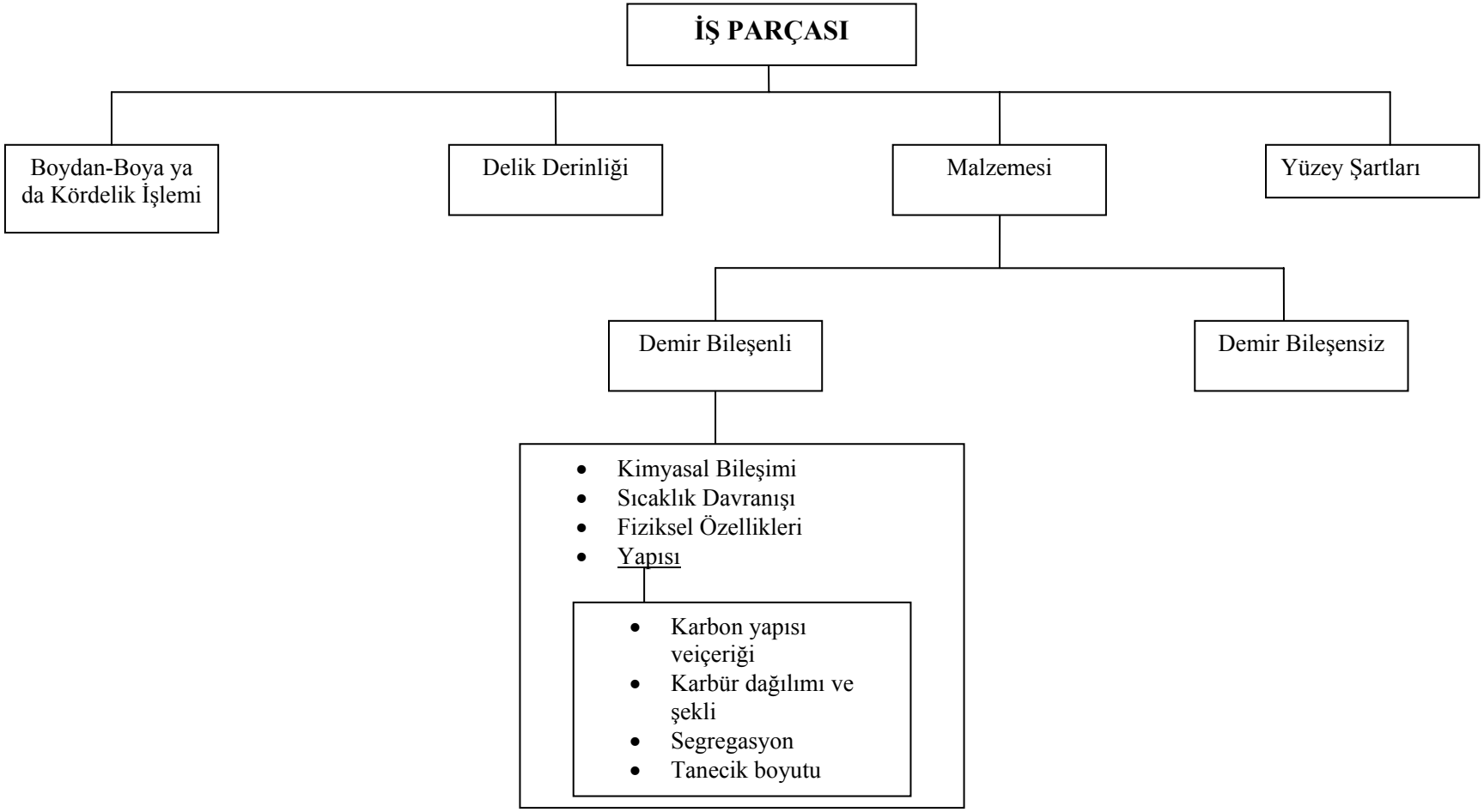
Delik delme işleminde bir performans değerlendirmesi yapılacak olunursa, delik delme performansı kesici takım ömrü, yüzey kalitesi, deliklerde ölçü-şekil doğruluğu ve talaş kaldırma verimliliği ile nitelendirilebilir. Bu kriterleri etkileyen; matkabın, işlenen malzemenin ve kullanılan takım tezgahının özellikleri ile kesme hızı, ilerleme gibi delik delme şartları ve soğutma sıvısının kullanılıp kullanılmadığı şayet kullanılıyorsa özellikleri gibi faktörlerdir. Bu faktörleri etkileyen şartlar aşağıda tablolar halinde gösterilmiştir.



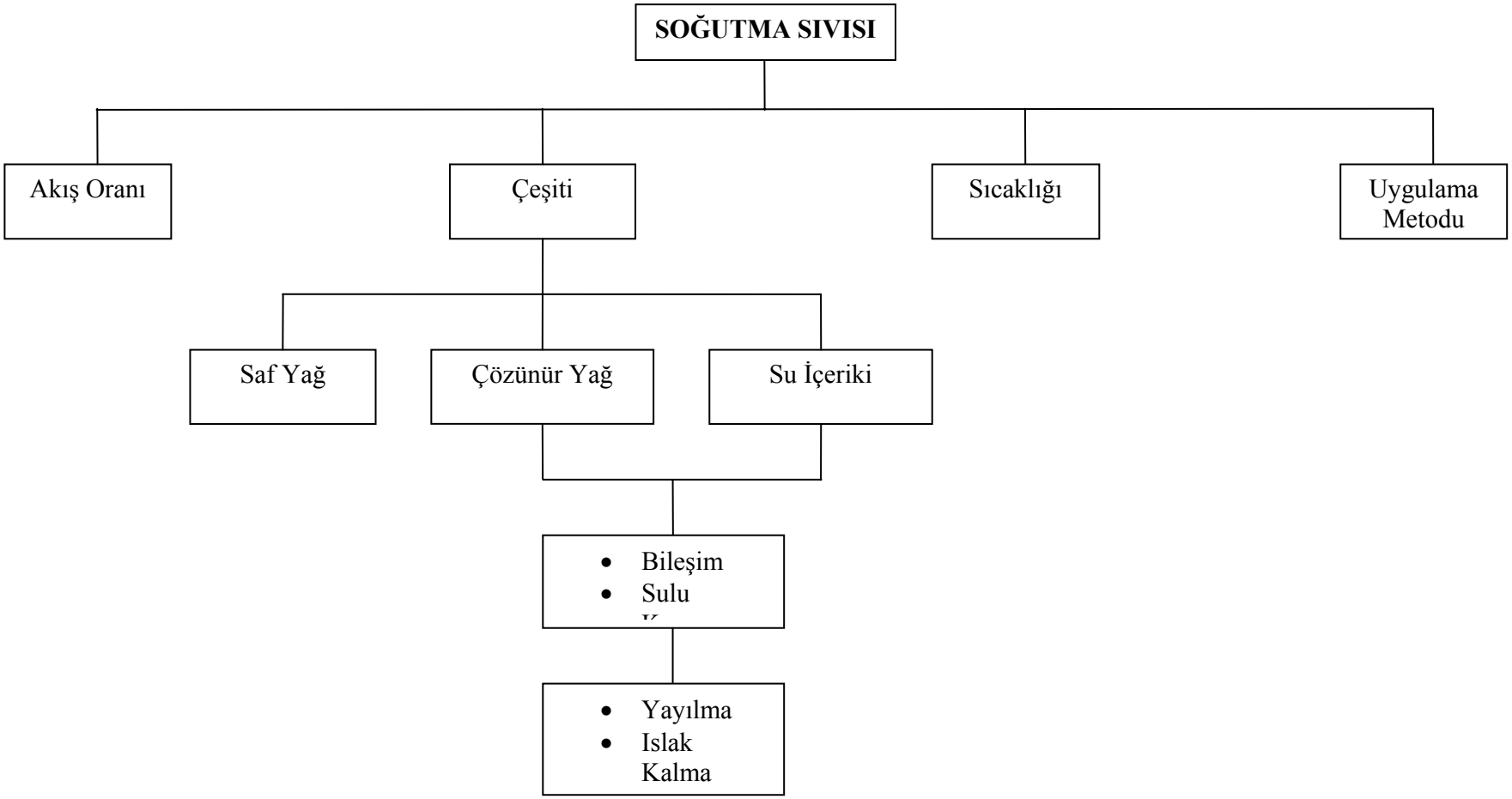
Şekil3.2. Delik delme performansını belirleyen kriterler ve etkileyen faktörler



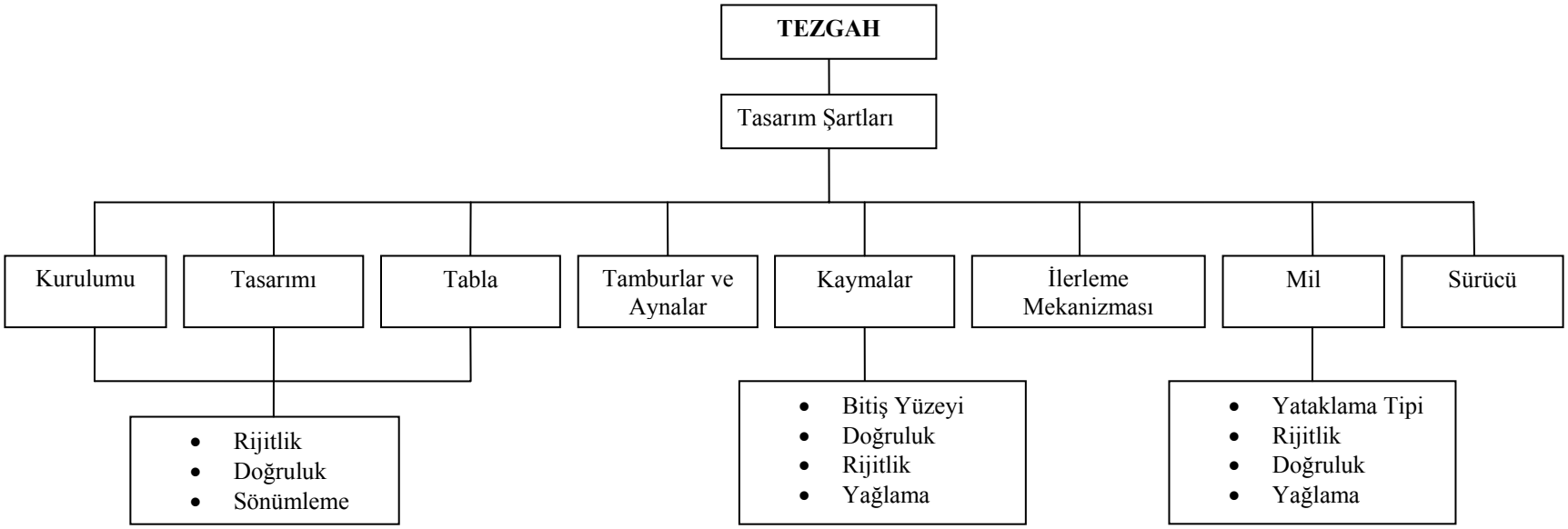
Şekil 3.3. Matkap özelliklerinin delik delme performansı üzerindeki etkisi



Şekil 3.4. İş parçası özelliklerinin delik delme performansına etkisi



Şekil 3.5. Soğutma sıvısı özelliklerinin delik delme performansına etkirli



Şekil 3.6. Tezgah özelliklerinin delik delme performansına etkileri

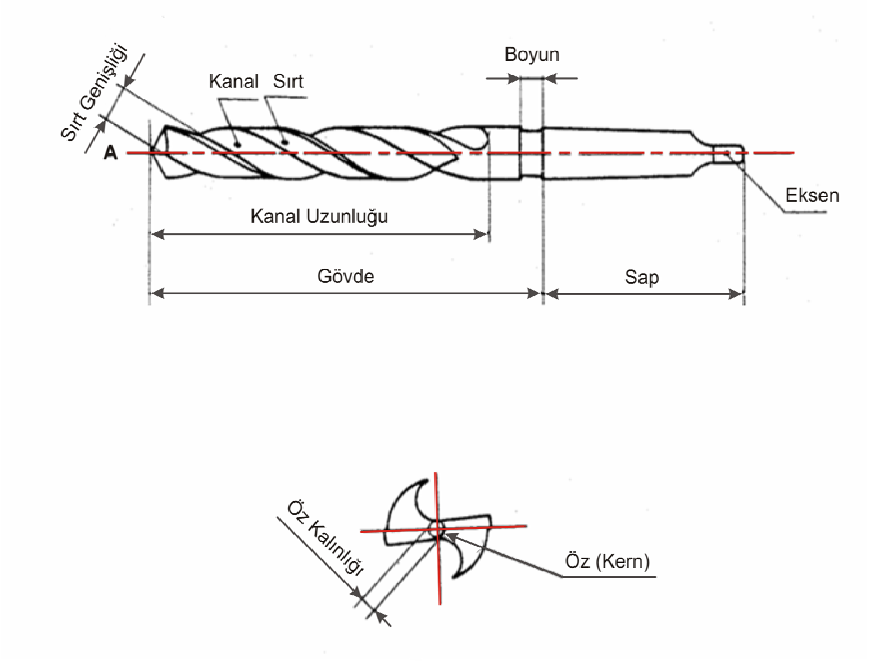
3.2. Matkap

Matkap konik bir çekirdek etrafına helisel olarak sarılmış iki veya daha fazla kesici ağza sahip, delik delme ve genişletme işlemlerinde kullanılan bir kesici takım türüdür. Endüstride ihtiyaca uygun olarak farklı malzemelerde ve şekillerde pek çok çeşidi mevcuttur. Özellikle kesici kenarlarına farklı malzemeli kesici parçaların takılı olduğu takma uçlu matkaplar son yıllarda kullanımı artan matkap türlerindendir.

3.2.1. Matkap geometrisi

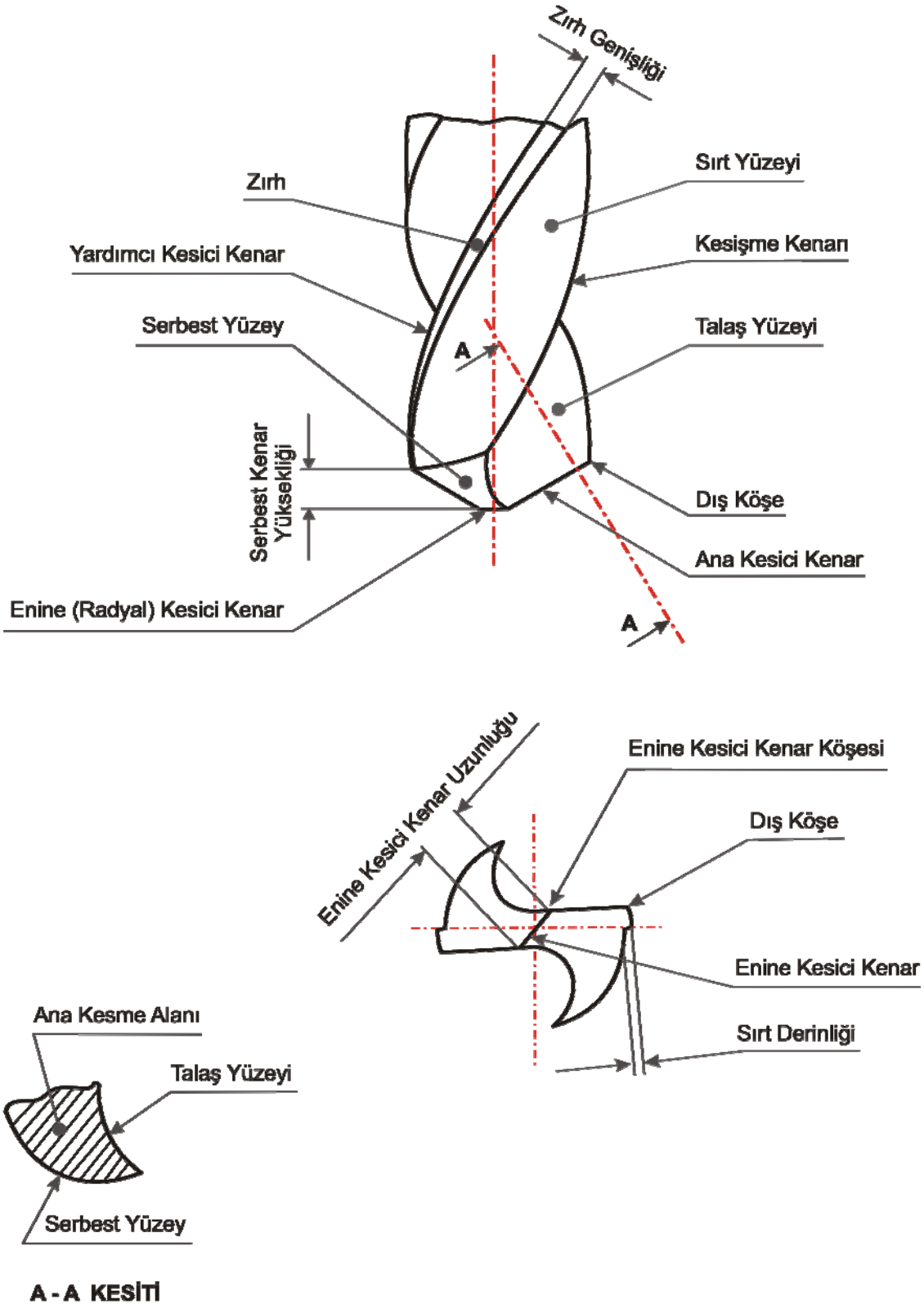
Matkaplar genel olarak *gövde* ve *sap* olmak üzere iki kısımdan meydana gelir. Tutturma için kullanılan sap kısmı konik veya silindirik şeklindedir. Kanallı kısım sap ile yekpare yada kaynakla birleştirilerek üretilmektedir. Her matkap türünde olmasa da sap ile kanal arasında *boyun* denilen bir kısım vardır [62].

Şekil 3.7 de bir matkap genel hatlarıyla gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Matkabın genel kısımları

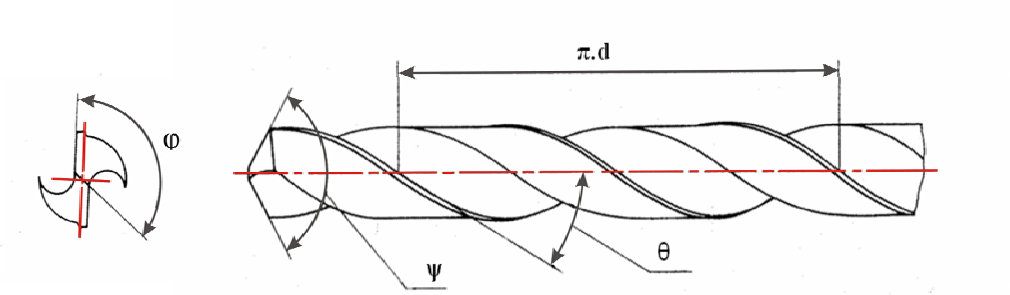
Matkapta asıl kesme olayı matkap ucunda gerçekleşir. Bu kısımda matkabın ağız sayısına göre iki yada üç *ana kesici kenar* ve her ağzın birer *talaş yüzeyi* ve *serbest yüzeyi* mevcuttur. Ana ağızların oluşturduğu koni tam sivri değildir. Aralarında *çekirdek* denilen yassı bir kısım mevcuttur. Çekirdeğin uç genişliği *enine kesici kenarı* oluşturur. *Serbest yüzey,* uç kısmındaki konik alandır. Matkabın kanallı kısmında iki kanal arasında kalan yüzey *sırt* denilen kısımdır. Sırt üzerinde matkap kanalı boyunca helisel olarak uzana yüzeye *zırh* adı verilir ve zırh yüzeyinin kanal tarafındaki kenarı *yardımcı kesici kenar* olarak adlandırılır [62].



Şekil 3.8. Matkaptaki yüzey ve kesici kenarlar

Matkaptaki açılar

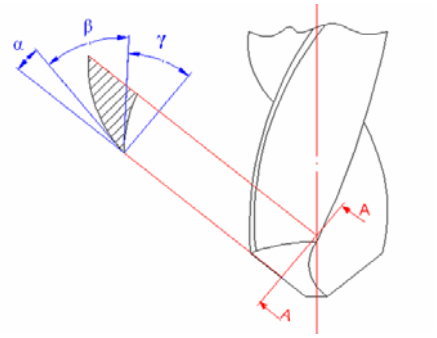
Matkapta iki ana kesici kenarların birbirine göre açısal konumu *uç açısını* (ψ), enine kesme ağzının konumu *enine kesme açısını* (φ), Kanalların matkap eksenine göre konumu *helis* açısı (θ) olarak tanımlanır. Şekil 3.9. ve 3.10. de bir matkaptaki açılar genel olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Matkapta uç, helis ve enine kesme kenarı açıları

Matkaplar tek uçlu kesici takımlara oranla çok daha karmaşık bir geometriye sahiptir. Matkabın bir ağzı tek uçlu kesicilere benzetilerek basite indirgenebilir. Böylece matkabın ana kesme ağzının geometrisi tek ağızlı takımlarda olduğu gibi tayin edilir. Burada talaş açısı (γ), serbest açı (α) ve kama (β) açısı gibi kesme açıları vardır.

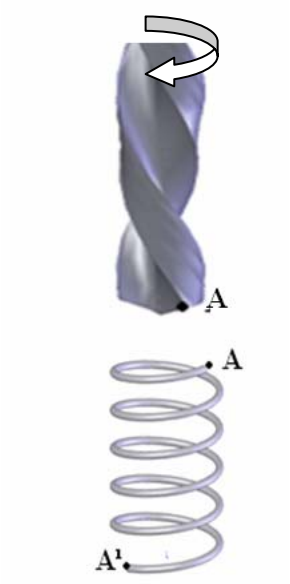
$\alpha + \beta + \gamma = 90^{o}$ Eş. 3.2 matkaplar için de geçerlidir.



Şekil 3.10. Matkapta kesme açıları

Ana kesici kenarlarda ağız boyunca talaş açısı değişmektedir. Ana kesici kenarın dış köşesinde maksimum olan talaş açısı matkabın ucuna doğru azalmakta, enine kesme ağzının bulunduğu yassı kısımda negatif olmaktadır. Bu durumda kama açısı $\beta>90$ olur. Bundan dolayı enine kesme kenarında talaş kesilerek değil ezilerek kaldırılır [62].

Talaş kaldırma esnasında matkap aynı anda dönme ve ilerleme hareketi yaptığı için ana ağzın herhangi bir noktası (şekil 3.11'de A noktası) bir daire yerine bir helis yol izlemektedir.

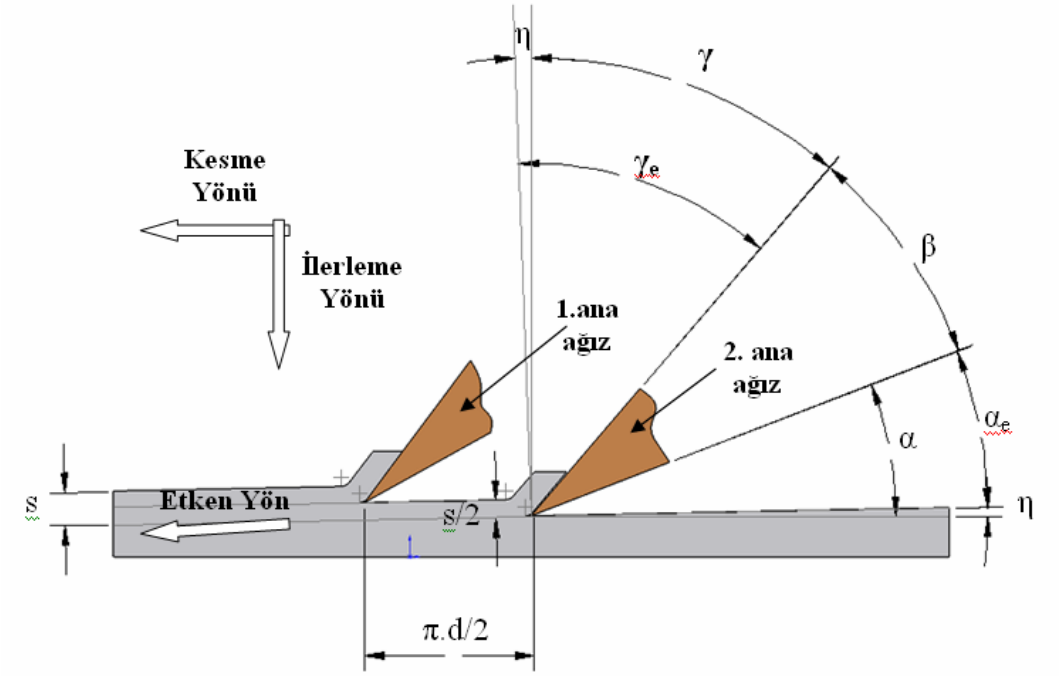


Şekil 3.11. Matkapta ana kesici kenar üzerindeki bir noktanın izlediği yol

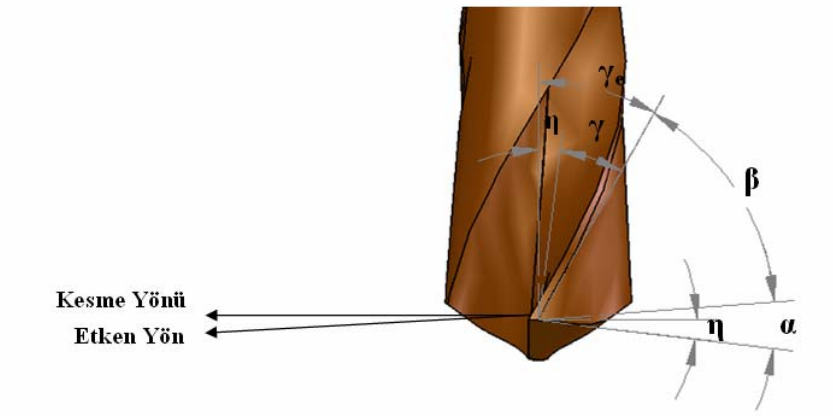
Matkapta kesme esnasında tüm ağız helisel bir yüzey oluşturur. Helisel yüzey kesme ve ilerleme yönlerinin oluşturduğu etken yöndeki eğim açısından (η) dolayı talaş kaldırma sırasında matkabın kesme açıları değişecektir. Eğim açısından dolayı ortaya çıkan bu yeni açılara *etken kesme açıları* denir. Aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi yaklaşma açısı(α) eğim açısı(η) kadar azalarak *etken yaklaşma açısı*(α_e) ortaya çıkar ($\alpha_e = \alpha - \eta$). Talaş açısı (γ) ise eğim açısı kadar büyüyüp *etken talaş açısı* (γ_e)ortaya çıkar ($\gamma_e = \alpha + \eta$). Kama açısı ise değişmeden kalır[62]. Aşağıda eğik kesme olayında

oluşan etken kesme açıları iki şekilde gösterilmiştir. Eğim açısı şu formülle hesaplanır.

$$\text{Tan } \eta = s / (\pi.d) \qquad (3.3)$$



Şekil 3.12. Matkaptaki etken yön ve açıların kesitte görünüşü



Şekil 3.13. Matkaptaki etken yön ve açıların perspektifte görünüşü

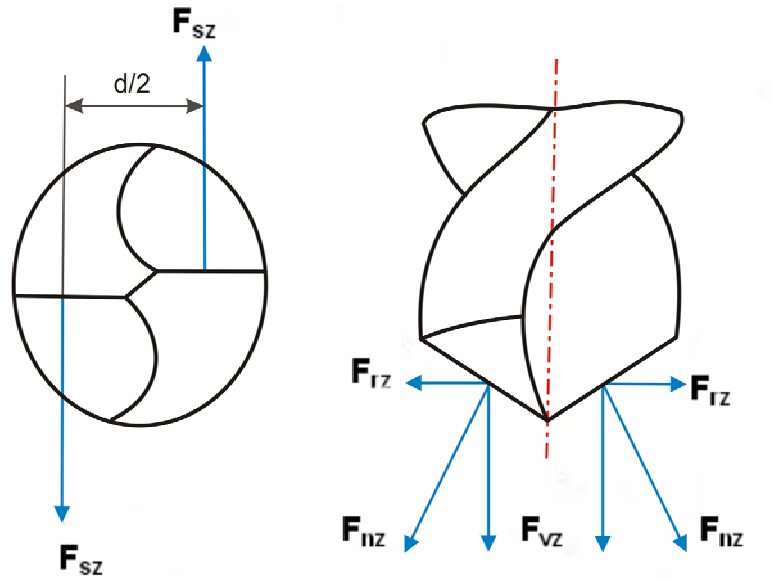
3.3. Delik Delme İşleminde Kesme Kuvvetleri

Kesici takım üzerine etki eden kuvvetler, talaş kaldırmanın önemli bir safhasıdır. Takım tezgahının rijitliği ve kesme gücü dikkate alınarak kesme kuvvetlerinin ölçülmesi, takım tasarımını optimize etmede de gerekli olup kesmenin bilimsel analizinde kuvvetlerin bilinmesini gerektirmektedir.

Talaş kaldırma işleminde kesme kuvvetlerinin, takım-talaş arasındaki temas uzunluğu ile ilgilidir. Temas alanı ne hadar az olursa kesme kuvvetleri de okadar azalır.Kesme hızının arttırılması, kayma açısını arttırdığı, daha ince talaş oluşturduğu ve temas uzunluğunu azalttığı için kesme kuvvetleri de oldukça düşmektedir. Sınırlı temas uzunluğuna sahip takımlar kullanılarak, takım-talaş arasındaki temas uzunluğunun sınırlandırılmasıyla kesme kuvvetlerinde belirli düşüşler sağlanabilmektedir. Kesme kuvvetleri kesici uç geometrisinden de etkilenmektedir. Talaş açısının optimum bir değeri mevcut olup, bu değerin daha fazla artışı kesici ucun dayanımını azaltacağından aşınmayı artırır. Artan aşınma ile birlikte boşluk yüzeyi temas alanını artıracağından takımdaki kesme kuvvetleri artacaktır[63].

Talaş kaldırma olayı, talaş geometrisi, parça malzemesi, takım geometrisi ile malzemesi ve kesme hızı gibi faktörlerin etkliediği karmaşık bir olay olduğu için talaş kaldırmada kesme kuvveti tüm bu faktörlerden etkilenir. Tüm bu faktörler *özgül kesme kuvveti*(k_s) değeri ile ifade edilirse kesme kuveti(F_s), talaş kesitine(A) göre aşağıdaki gibi bulunur.

$$F_s = A \cdot k_s \qquad (3.4)$$



Şekil 3.14. Matkapla delmede kesme kuvvetleri[62]

Delme sırasında matkabın bir ağızına karşılık gelen kesme kuvveti (F_{sz}), ilerleme kuvveti (F_{vz}) ve radyal kuvveti (F_{rz}) Şekil 3.14 de gösterilmiştir. Ağızların konumuna bağlı olarak ağızda oluşn radyal kuvvetler birbirini dengeler. Bundan dolayı matkaba yalnızca kesme ve ilerleme kvvetleri etki eder.

Matkabın bir ağızına karşılık gelen kesme kuvveti

$$F_{sz} = A_{sz} \cdot k_s = d.s_z/2 \cdot k_s = d.s / 4 \cdot k_s \quad (3.5)$$

ve toplam kesme kuvveti

$$F_s = z \cdot F_{sz} = 2 \cdot F_{sz} = k_s \cdot d \cdot s / 2 \quad (3.6)$$

Kesme kuvvetine bağlı, bir ağıza karşılık gelen kesme momenti (M_{sz})

$$M_{sz} = F_{sz} \cdot d/4 \quad (3.7)$$

ve iki ağıza karşılık gelen kesme momenti (M_s)

$$M_s = z \cdot F_{sz} \cdot d/4 = 2. F_{sz} \cdot d/4 = F_s \cdot d/4 \quad (3.8)$$

Şeklinde ifade edilir.

Bir ağıza karşılık gelen ilerleme kuvveti (F_{vz})

$$F_{vz} = F_{sz} \cdot \text{Sin}\ (\psi/2) \quad (3.9)$$

ve toplam ilerleme kuvveti (F_v)

$$F_v = z \cdot F_{sz} \cdot \sin(\psi/2) = 2. F_{sz} \cdot \sin(\psi/2) = F_s \cdot \sin(\psi/2) \quad (3.10)$$

Bağıntısı ile belirlenir.

İlerleme kuvveti F_v eksenel kuvvet niteliğindedir. Delik açmada ana kesme ağızında meydana gelen bu kuvvetin yanısıra radyal enine kesme ağızında da, eksenel nitelikte F_1 ilerleme kuvveti oluşmaktadır.

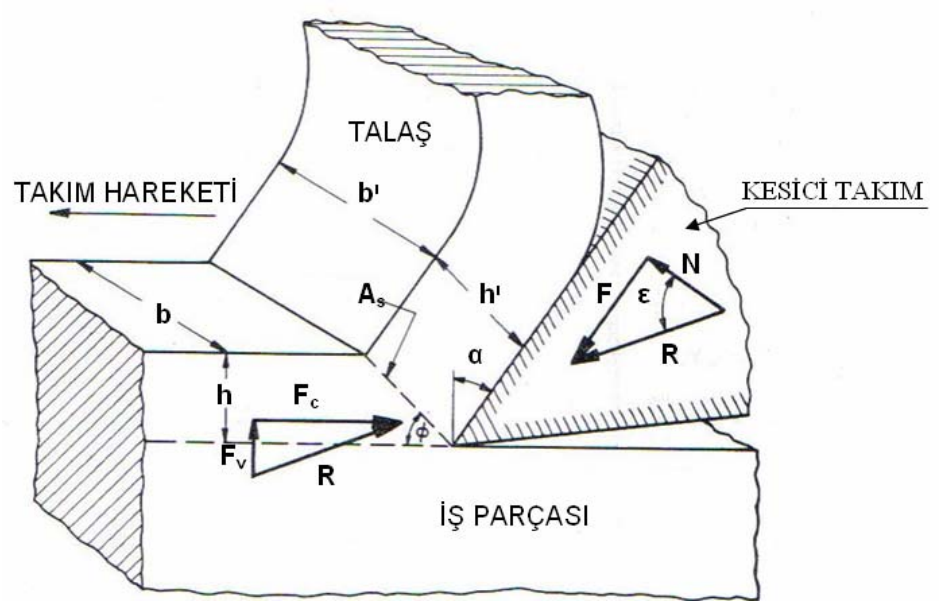
Delik delme sırasında matkabı etkileyen eksenel kuvvet (F_a)

$$F_a = 2 \cdot F_{vz} + F_1 = F_v + F_1 \quad (3.11)$$

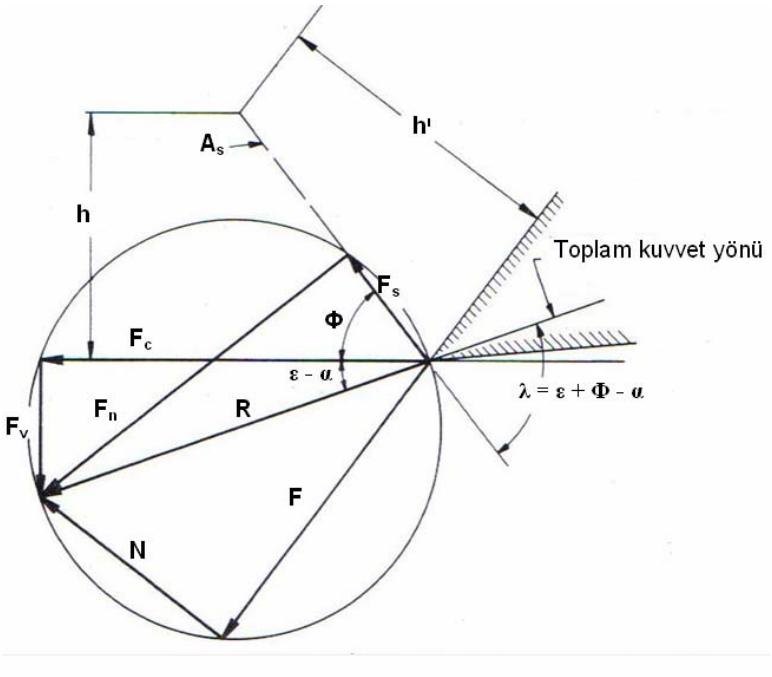
Şeklinde hesaplanabilir. Yapılan deneylerde eksenel kuvvetin %40'ı F_v, %57'si F_1 ve %3'ü de sürtünme kuvveti olduğu gözlenmiştir. Eksenel kuvvet F_a ilerlemeyi sağlayan elemanları ve özellikle yatakları zorlamaktadır. Ayrıca F_a değeri takımı burkulmaya da zorlar[62].

Delik delme işleminde Eggleston ve arkadaşları matkapta oluşan kesme kuvvetlerini sürtünme açısı ve talaş açısına bağlı olarak toplam kuvveti hesaplamaya çalışmıştır. Yazar ve arkadaşları matkap ucuna gelen kesme işlemi sürecindeki ilerleme kuvveti,

kesme kuvveti, sürtünme kuvveti ve bu kuvvetleri tayin eden açıları aşağıdaki gibi ifade etmeye çalışmışlardır.



Şekil 3.15. Talaş kaldırma işleminde talaş oluşumu[5].



Şekil 3.16. Talaş kaldırma işleminde kesme kuvvetleri[5]

Şekil 3.15 ve 3.16'daki takım üzerinde gösterilen x, y, z eksenlerindeki kuvvetler ve bileşenleri ölçülebilmektedir. Burada;

A_s = Kayma düzlemi
γ = Talaş açısı (^{o})
Φ = Kesme açısı (^{o})
ε = Kayma açısı (^{o})
λ = Kayma düzlemi ile Toplam kuvvet arasındaki açı (^{o})
R = Toplam kuvvet (N)
F = Takım Talaş yüzeyine paralel kuvvet (N)
N = Takım talaş yüzeyine dik kuvvet (N)
F_v = Takım hareket yönüne dik kuvvet (N)
F_c = Takım hareket yönüne paralel kuvvet (N)
F_s = Kayma düzlemine paralel kuvvet (N)
F_n = F_s 'ye dik kuvvet (N)
b = Kaldırılacak talaş genişliği (mm)
b^1 = Çıkan talaş genişkiği (mm)
h = Kaldırılacak talaş kalınlığı (mm)
h^1 = Çıkan talaş kalınlığı (mm)

Esas kesme kuvvet (F_c) ve teğetsel dik kuvvet (F_v)'yi ölçmek için bir dinamometre kullanılmalıdır. Ölçülen kuvvetler, geri talaş açısı (γ) ve kayma açısı (ε) aracılığıyla kayma düzlemine göre çözülür. Buna göre

$$\lambda = \Phi + \varepsilon - \alpha \qquad (3.12)$$

$$\varepsilon = \tan^{-1} [(F_v + F_c . \tan \alpha) / (F_v - F_v . \tan \alpha)] \qquad (3.13)$$

$$\Phi = \tan^{-1} [(r . \cos \alpha) / (1 - r . \sin \alpha)] \qquad (3.14)$$

Burada r talaş oranı olup talaş uzunluğu, talaş geniçkiği ve talaş kalınlığına bağlı olarak farklı durumlarda farklı değerler kullanılır. Sürekli talaş çıkışı olan kesme işlemlerinde talaş boyu oranı (r_l), kesikli talaş çıkışı olan kesme işlemlerinde talaş genişliği oranı (r_b), az ilerleme fazla talaş derinliğinde talaş kalınlığı oranı (r_h), kullanılarak daha az hatayla açı değerleri hesaplanabilir [5].
Matkap ucuna etkiyen toplam kuvvet

$$R = (F_v^2 + F_c^2)^{1/2} \quad (3.15)$$

Takım yüzeyine paralel kuvvet

$$F = R \cdot \sin \varepsilon = F_v \cdot \cos \alpha + F_c \cdot \sin \alpha \quad (3.16)$$

Takım yüzeyine dik kuvvet

$$N = R \cdot \cos \varepsilon = F_c \cdot \cos \alpha - F_v \cdot \sin\alpha \quad (3.17)$$

Şeklinde hesaplanabilir[5].

Delik delme kuvvetlerini etkileyen faktörler

Delik delme işleminde takıma gelen kuvvet ve momentlerin büyüklüğü bir çok faktöre bağlı olarak değişir. Bunları sıralayacak olursak

- Kesme hızı
- İlerleme miktarı
- Talaş-takım temas boyu
- Delik derinliği
- Matkap geometrisi
  - Çapı
  - Ağız sayısı

  - Uc açıları (ψ, γ, α…)
  - Relatif kesici kenar yüksekliği
  - Helis açısı (β)
  - Öz kalınlığı
- İşlenen malzemenin özelliği
- Tezgah özellikleri
- Talaş şekli
- Soğutma sıvısı

Kesme işlemi sırasında oluşan titreşimler kesme kuvvetlerini büyük ölçüde etkilemektedir. Bunun için tezgah rijitliği kesme kuvvetlerinin oluşumunda önemli bir faktördür. Matkap çapı ve çekirdek kalınlığı özellikle kesme momentlerinin oluşumunda dikkate değer niteliktedir [3,4,26].

Kesme olayının çoğu takım uçunda gerçekleştiği için talaş açısı, yaklaşma açısı ve uç açısı gibi uç geometrisi unsurları kesme kuvvetlerini birebir etkiler. Takım ucunda ana kesici kenarlarda ve enine matkabın dönüşüne bağlı olarak, enine kesici kenarlarda ise matkabın ilerleme (batma) miktarına bağlı olarak kesme olayı gerçekleşmektedir. Ayrıca enine kesici kenar ile ana kesici kenarlarda ki kesme açıları farklı olduğundan dolayı toplam kuvvet ve momenti kesaplarken bu iki farklı kesici kenara etki eden kuvvet ve momentleri ayrı ayrı değerlendirilerek toplam kuvvet bulunur [4,6,8,13,16,21,23].

Delik delme sırasında matkapta oluşan sıcaklık farkının matkap ömrünü olumsuz etkileyerek uç kısımda aşınmalara sebep olmaktadır. Bu aşınmalar sonucunda uç geometrisi değişir ve buna bağlı olarak kesme kuvvetleri de değişir. Matkap ucunda ve kesici kenarlarda aşınma kesme olayını zorlaştırdığından kuvvet ve momentlerde artma söz konusu olur. Soğutma sıvısının kullanılması takım ucundaki ısıyı azaltarak aşınmayı engellediği için, dolayısıyla "soğutma sıvısı kesme kuvvetlerini etkiler" sonucuna ulaşılabilir. Talaşın delikten dışarıya zorlanarak çıkması da kesme

kuvvetlerini etkilemektedir. Bunun için talaş şekli ve matkaptaki helis açısı da kesme kuvvetlerini etkilemektedir [3, 4, 6, 14, 22, 24, 26, 27].

3.4. Kesme Kuvvetlerini Ölçme Yöntemleri

Statik ve dinamik kuvvetlerin ölçülmesinde, kuvveti elastik bir makina elamanına uygulayarak bu elastik elemanda oluşan deformasyon miktarının belirlenmesinde dinamometreler veya transdüserler yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak deformasyonların küçük olması durumunda gerinim ölçerlerin kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Normal kesme kuvvetleri sadece katı cisimler mekaniğinde karşılaşılan büyüklükler değildir. Örneğin talaş kaldırma işlemi ve talaş oluşumu esnasında oluşan kuvvetler göz önüne alınır ve kesici takımın bir ankastre çubuk gibi davrandığı düşünülürse takımda oluşan yatay ve düşey düzlemde eğilme, burulma ve basma-burkulma kuvvetleri hesaplanabilir. Kuvvet ölçme metotları üç kategoride incelenebilir [67].

3.4.1 Bilinen bir yükle dengelenerek kuvvet ölçme

Bu yöntemde, ölçülecek olan kuvvet, kütlesi bilinen bir karşı ağırlık ile dengelenir. Bu dengelemeye göre kuvvet, karşı ağırlığın kütlesinin yerçekimi ivmesiyle çarpılması sonucu hesaplanır. Bu metot yüksek bir hassasiyet sağlamakla birlikte karmaşık bir yapıya sahiptir. Kullanım alanı sınırlı olup, orta büyüklükteki kuvvetlerin ölçümlerinde kullanılmaktadır [68].

3.4.2 Elastik cismin deformasyonu ile kuvvet ölçme

İkinci kategoride yer alan bu metot, dolaylı kuvvet ölçme olarak da isimlendirilmektedir. Bu metotta ise kalibre edilmiş kütleler veya transdüserler kullanılmaktadır.

Yüksek bir hassasiyet elde etmek için, kaliteli bir elastik cisim deformasyonundan kuvvet ölçülebilmektedir. Yük uygulandığında, elastik cisim elastik bölgede kalacak

şekilde ölçüm yapılabilmesi için çevre şartlarına göre, uygun boyut ölçme metotlarından birisi kullanılabilir. Kuvvetin doğru ölçülebilmesi için elastik cisimde ortaya çıkan deformasyonun çok hassas olarak ölçülmesi gerekir. Bu metot, genellikle yüksek hassasiyet sağlar ve tüm yük dönüştürücülerde kullanılabilmektedir [68].

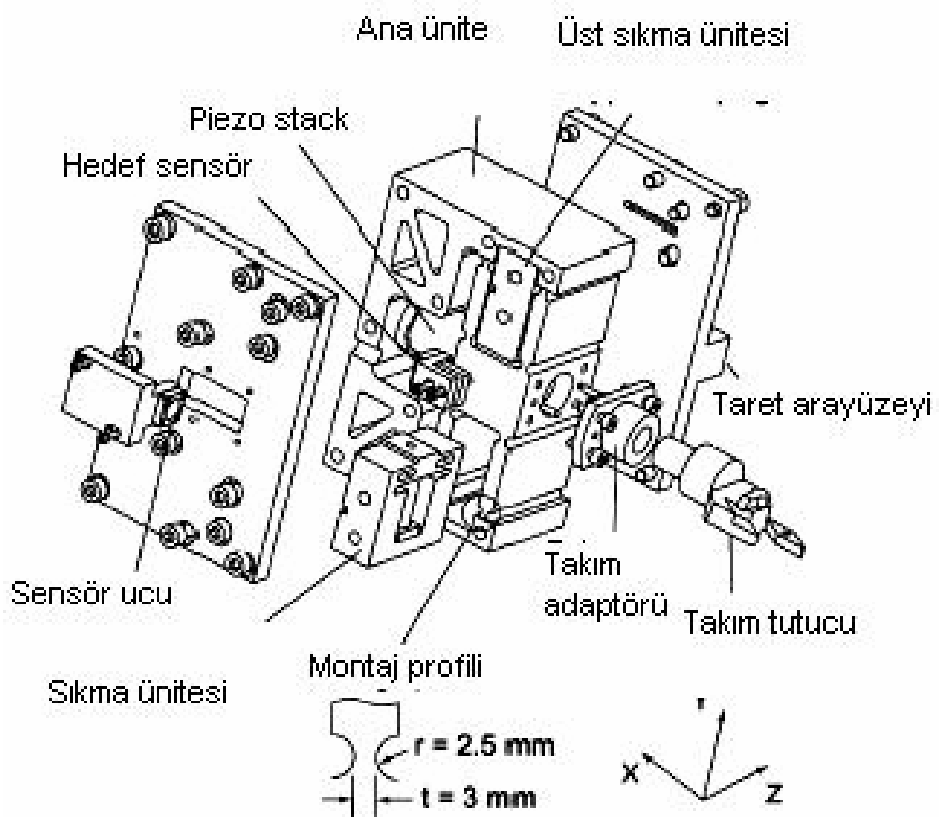
3.4.3. Fiziksel özelliklerin değişimi ile kuvvet ölçme

Malzemelerin fiziksel özelliklerindeki değişiminden yararlanma esasına dayanan bu metodun güvenilirliği diğer iki metoda göre daha azdır. Çünkü fiziksel özelliklerdeki değişim her zaman doğrusal olmamaktadır. Ancak elektriksel olarak değerlendirme yapıldığı için, bilimde ve endüstrideki ölçme işlemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, deformasyonla elektriksel direnç değiştiğinden deformasyon özelliği ile fiziksel özelliklerin birlikte kullanılması da mümkündür [68].

Piezoelektrik Transdüserler

Piezoelektrik etki, doğal veya suni olarak üretilen kristallerin mekanik olarak deforme edildiklerinde, elektriksel yükler üretmesidir. Fiziksel olarak boyutları değişen kristalin zıt yüzeylerine karşı potansiyel bir fark uygulanırsa piezoelektrik etki çift yönlü olmaktadır. Quartz ve potasyum-sodyum tartar, piezoelektrik özellikler gösteren doğal maddelerdir.

Piezoelektrik etki, farklı yollarla deforme edilen kristaller tarafından üretilmektedir. Örneğin genleşme veya basılma nedeniyle kalınlığının değişmesi bir piezoelektrik etkidir. Elektriksel yük elde etmek amacıyla, bir kristalin seçilen yüzeylerine metal elektrotlar tespit edilir [67].



Şekil 3.17. Piezoelektrik dinamometrenin patlatılmış montaj resmi [69]

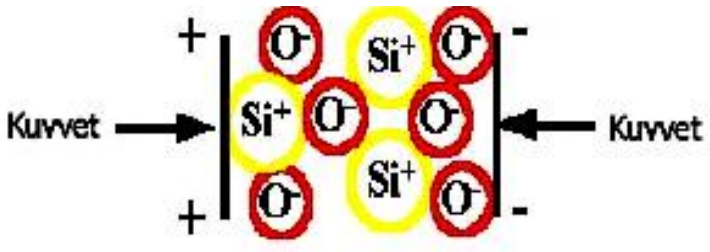
Kuvvet (F_d) ve kalınlıktaki değişim (Δt) arasındaki ilişki

$$F_d = E \cdot A_k \cdot \Delta t / t \qquad (3.18)$$

Burada E, gerilme/gerinim ile bulunan elastikiyet modülü; A_k, kristalin enine kesit alanı; t, kristalin kalınlığı ve Δt, kristal kalınlığındaki değişimdir. Transdüsere statik bir kuvvet uygulandığında, kristal elektriksel bir yük üretir. Ancak kristalin iç direnci nedeniyle yük yavaş bir şekilde dağılır. Bu özellik nedeniyle piezoelektrik transdüserler daha çok, kuvvetin bir fonksiyonu olan ivme, basınç gibi dinamik büyüklüklerin ölçümünde kullanılmasına rağmen, benzer statik büyüklükler de özel amplifikatörler kullanılarak ölçülebilmektedir (Şekil 3.17) [67].

Piezoelektrik Özellik

"Piezo" kelimesi Yunanca sıkmak anlamına gelmektedir. Piezoelektrik elemanlar bir dış kuvvet altında kaldıkları zaman, karşılıklı yüzeyleri üzerinde bir elektrik yükü oluşur.



Şekil 3.18. Piezoelektrik algılayıcılarda kullanılan silikon ve oksijen atomları

Şekil 3.18'de gösterilen büyük daireler silikon atomlarını, küçük olanlar ise oksijen atomlarını belirtmektedir. Doğal ya da işlenmiş kuvartz kristali en hassas ve kararlı piezoelektrik malzemelerden biridir. Doğal malzemelerin yanı sıra yüksek teknolojilerle üretilen polikristalin ve piezoseramik gibi malzemeler de yüksek elektrik alana maruz bırakıldıklarında piezoelektrik özellik kazanmaları sağlanabilmektedir. Bu kristaller çok yüksek değerde yük çıkışı üretirler. Bu özellikleri sayesinde de özellikle düşük genlikli sinyallerin ölçülmesinde kullanılırlar.

3.5. Alüminyum Alaşımları

Son yıllarda özellikle savunma ve uçak sanayinde kullanımı artan alüminyum çok yönlü yapı ve mühendislik malzemeleri arasında önemli bir yeri varır. Alüminyum ağırlıkça hafiftir ve alaşımları yapı çeliklerine oranla çok daha fazla mukavemetlendirilmiştir. Alüminyum iyi elektriksel ve ısıl iletkenliğe sahip olup, kolay işlenebilir ve düşük ergime noktasına sahiptir. Pek çok hizmet şartlarında korozyon direnci oldukça iyi ve zehirsizdir.Alüminyum dökülebilir ve geniş bir

aralıkta yüzey kalitesi verir [70]. Saf alüminyum düşük kesme gerilmesine sahip olmasına rağmen, kesme kuvvetleri birçok saf metale benzer şekilde, kesici takım ve iş parçasındaki çok güçlü yapışmadan dolayı alaşımlı alüminyuma oranla çok daha yüksektir [71].

Alüminyum alaşımları temel olarak döküm ve dövme alaşımlara ayrılabilir. Ana alaşım elemanı silikonlu alaşımlar döküm alaşımlarının en önemli gurubudur. Bu alaşımlar mikro yapılarda takım aşınma problemine sebep olabilen sert aşındırıcı silikon parçacıklar içermektedir(500kg/mm^2).Bu alaşımlar düşük kesme ve besleme hızlarında daha ekonomik işlenebilirler. Çiftli alüminyum silikon alaşımlarına bakır ilavesi dayanımı artırır ve azalan süreklilik ile takım ömrü iyileştirilir. Alüminyum-Magnezyum ve Alüminyum-Çinko-Magnezyum alaşımlarının tümü iyi işlenebilirliğe sahiptir [71].

Dövme alüminyum alaşımları uygun şekilde ısıl işleme tutulamayan ve ısıl işleme tabi tutulabilen gruplara ayrılır. Geliştirilmiş takım ömrü daha özel talaş şekli hariç düşük ergime noktalı çözünmez metallerin (kalay, bismut ve kurşun) eklenmesiyle elde edilir [71].

3.5.1. Alüminyumun işlenebilirliği

Alüminyumun işlenebilirliğini etkileyen faktörler iki başlık altında toplanabilir. Bunlar işleme şartları ve malzemenin metalürjik yapısı olarak sınıflandırılabilir. Alüminyum alaşımlarının işlenmesinde kesici takım geometrisinin önemi çok büyüktür. Bu alaşımların işlenmesinde pozitif talaş açılı takımlar kullanılır. Pozitif talaş açısının büyüklüğü malzemenin sertliği de göz önün de bulundurularak 0-30° arasında değişmektedir[72].

Genelde alüminyum alaşımlarının işlenmesinde takım kuvvetleri düşüktür ve kesme hızı artarken azalma eğilimi gösterir. Ticari saf alüminyumun özellikle düşük hızlarda kesilmesi sırasında yüksek kuvvetler oluşur. Özellikle düşük kesme

hızlarında çoğu alaşım katkılarının yada soğuk işçiliğin saf alüminyum üzerine etkisi takım kuvvetlerini azaltır.

Alüminyumun temel işlenebilirlik problemi talaşların kontrolündedir. Çatlaktan önceki yaygın plastik deformasyon hegzegonal yapılı magnezyuma göre yüzey merkezli kübik yapıya sahip alüminyumda daha kolay oluşur. Alüminyum ve bazı alüminyum alaşımlarının işlenmesi esnasında talaş süreklidir, oldukça kalındır, güçlüdür ve kolay kırılmaz. Talaşın gerçek şekli oldukça değişkendir. Alüminyumun işlenmesinde kontrol edilebilir talaş olumunu sağlayabilmek için çeşitli takım tasarımları geliştirilmiştir. Talaş oluşumu, talaş ve yaklaşma açısının değişimi ile veya talaş kırıcıların etkisi ile iyileştirilebilir. Kırılmış veya daha kolay talaş üretmek için diğer bir yaklaşım, alaşımların kompozisyonunu değiştirmektir [71].

Standart alüminyum alaşımları kurşun, kurşun-bizmut yada kalay-antimuan katkılarını içerir. Bu ilavelerle talaşlar küçük parçalara daha hızlıca ayrılır. Bunlar düşük ergime noktalı metallerdir. Alüminyum içinde ine damlacıklara parçalanarak yapı içinde mevcut olurlar. Bunlar talaşı oluşturmak için kesme kenarı boyunca Alüminyum talaşının sürekliliğini azaltıcı rol oynarlar. Alüminyum alaşımları içindeki katkı malzemelerinin temel amacı takım ömründen daha çok, talaş oluşumunu iyileştirmek ve metal taşınma hızını artırmaktır [71].

Genelde alüminyum alaşımlarının mükemmel işlenebilirliği takım tezgahlarında şekillendirilebilmesi için onları ideal iş malzemesi yapar.

4. MEVCUT MATKAP VE DELİK DELME MODELLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Son 15 yıl boyunca delik delme operasyonları ve matkap geometrisi ile ilgili analitik ve empirik pek çok matematiksel model geliştirilmiştir. Bilgisayar teknolojisinin gelişmesi ile birlikte matkapla ilgili matematiksel modellerinin geliştirilmesi de büyük hız kazanmıştır. 1950'den beri matkap uç geometrisi ve delik delme kuvvetleri ile ilgili geliştirilen bu matematiksel modellerin yetersizliği günümüzde konuyla ilgili araştırmaların devamını gerektirmektedir.

Bilgisayar teknolojisinin matkapla delik delme modellerine uygulanmasıyla tasarımcı ve araştırmacılar daha karmaşık uç geometrileri için daha esnek tasarımlarda daha kesin sonuçlar elde edebilmekte ir. Tasarımcı ve araştırma cılar için bilgiasayar teknolojisi ile gelen bu fırsatlar ile delik delmede;

- Bilgisayarda yapılan simulasyonlarda mevcut kesici ucun optimizasyonu;
- Farklı uygulamalar için çok daha karmaşık uç geometrilernin tasarlanması,
- Bu sonuçlara ulaşabilmek için kullanılan bilgisayar teknolojisi ile çok daha hızlı matematiksel çözümlere ulaşılmasını sağlamaktadır.

Bu çalışmalar Bilgisayar Destekli Tasarım (BDT) ve Bilgisayar Destekli Üretim (BDÜ) olarak sınıflandırılabilir.

Bu çalışmada konuyla ilgili önceki araştırmaları baz alarak matkapta meydana gelen kuvvetlerin ölçümünün yanında matkap uç geometrisinin optimizasyonu ile ilgili de bir model geliştirilmiştir. Bu araştırmanın amacı konuyla ilgili var olan tüm çalışmaları inceleyip bu çalışmaların bir kıyaslamasını yapmaktır. Bunu yaparken geçmiş çalışmalara ışık tutmanın yanında bu alanla ilgili gelecek çalışmalara da yön vermektir.

Bu bölümde matkap uç geometrisi ile kanal yüzeyi, talaş yüzeyi ve delik delme kuvvetleri ile ilgili modeller gruplandırılıp detaylı olarak ele alınmıştır. Bölüm 2.1

de talaş ve kanal yüzeyleriyle ilgili farklı matematiksel ifadeler verilmiştir.Bölüm 2.2 de esas kesici kenar ve radyal kesici kenar için farklı kuvvet modelleri ele alınıp bu modellerin avantajları ve dezavantajları tartışılmıştır.

4.1. Matkap Geometrisinin Matematiksel Modelleri

Matkap uç geometrisi için bir matematiksel model geliştirilmesi ile; takım aşınma modeli takım sıcaklık dağılım modeli veya kesme kuvveti modeli gibi matematiksel modeller için de bir temel kurulmuş olacaktır. Çünkü geometrisi belli olan veya geometrik unsurları belli parametrik değerlerle ilişkilendirilmiş bir takımda, yukarda bahsedilen unsurların bulunması daha kolay hale gelecektir. Matkap geometrisi ile ilgili bu araştırmalar ve geliştirmeler ile diğer alanlarda olduğu gibi bu alanda da büyük teknolojik ilerlemelerin sağlanması amaçlanmaktadır. Bu gelişmeleri daha somut olarak belirtecek olursak;

- Yüksek hassasiyet ve tamlıkta deliklerin oluşması,
- Yüksek ilerleme ve kesme hızı ile yüksek verimlilik sağlanmsı,
- Takımın delik delme operasyonu haricinde pah kırma gibi değişik operasyonlarda kullanılabilmesi,
- Kompozit ve nikel bazlı alaşımların işlenmesinde özel takım uçlarının tasarlanması,
- Üretim sürecinde en iyi takım ömrünün yakalanması olarak verilebilir.

Buna ek olarak mevcut matkapların geometrilerinin iyileştirilmesi ile yeni malzemelerle uyumlu yeni matkap tasarımında geliştirilen matematiksel modellerle optimum sonuca ulaşılabilir.

Son on yılda ; karbür, seramik kübik bor nitrür (CBN) ve çoklu kristalli elmas (PCD) gibi yeni kesici takım malzemeleri kullanılmıştır. Bu takımlar çok iyi bir sertliğe ve yüksek sıcaklıklara karşı davranışlarının çok iyi olması sebebiyle yüksek hızlarda kullanılabilmektedir. Bunun için farklı ve yeni kesici takım malzemeleriiçin uygun

takım ucu geometri tasarımı da bu noktada çok önemli bir konudur. Takım performansı ile ilgili gelecek çalışmalarda bu konu üzerinde durulması bu alanda çok faydalı olacaktır. Matkap geometrisi modeli geliştirirken matkap yan yüzey modeli ve matkap kanal yüzeyi modellerinin birleştirilerek değerlendirilmesi daha doğru bir yaklaşım olacaktır.

Bundan önceki pek çok çalışma sadece matkap yan yüzeyi modeline dayanmaktadır. Matkap kanal yüzeyi modeliyle ilgili daha az çalışma yapılmıştır. Bunun sebebi matkap yan yüzeyi tasarımına bağlı olarak herhangi bir matkap geometrisinin diğerinden çok farklı olmasından kaynaklanan sınırlamalardır.

Bu bölümde matkap yan yüzeyleri ve matkap kanal yüzeyleri ile ilgili olan matematiksel modeller ayrı ayrı ele alınıp tartışılmıştır. Farklı modeller arasındaki ilişkiler tartışılmış, avantajları ve dezavantajları belirtilmiştir.

4.1.1 Matkap ucu matematiksel modelleri

Matkap geometrisi;

- Matkap yan yüzeyi konfigürasyonu
- Matkap kanal yüzeyi konfigürasyonu
- Bu iki yüzeyin kesişimi ile oluşan kesici kenar şekli olarak üç temel unsurla tanımlanabilir.

Kesici kenar şekli ve onun matkap ekseni ile olan uyumu büyük ölçüde matkap tasarımını etkiler. Özellikle matkap uç geometrisinin matematiksel modeli matkap performansını analiz etmede kullanılır.

Günümüzde çok sayıda farklı matkap uçları ticari kullanımda mevcuttur. Bütün matkap uçları iki ana sınıfa ayrılabilir.Bunlar;

- Basit uçlu matkaplar
- Karmaşık uçlu matkaplar dır.

Basit uçlu matkaplar sadece bir tek yan yüzeye sahiptir. Konik, silindirik, helisel ve Rackon matkaplar bu kategoriye girer. Fakat çoğu matkap türü birden fazla yan yüzeye sahiptir. Karmaşık uçlu matkaplar denilen bu gruba; Split (iki parçalı) matkaplar, dört yüzeyli matkaplar ve çoklu yüzeyli matkaplar (MFD) vb. matkap türleri dahildir.

Basit uçlu matkaplar

Konik matkaplar

Glloway (1957)

Konik yüzey modeli ilk olarak Galloway tarafından geliştirildi. Bu modelde şekil 4.1'de gösterildiği gibi sadece tek referanslı koordinat sistemi o-xyz kullanıldı. Taşlama konisinin matkap ile ilişkisi tanımlanarak taşlama konisi köşesi ilk olarak aşağıdaki gibi bulundu.

$$x = -d\,, \qquad y = -t\,, \qquad z = -d \cdot \cos\kappa \tag{4.1}$$

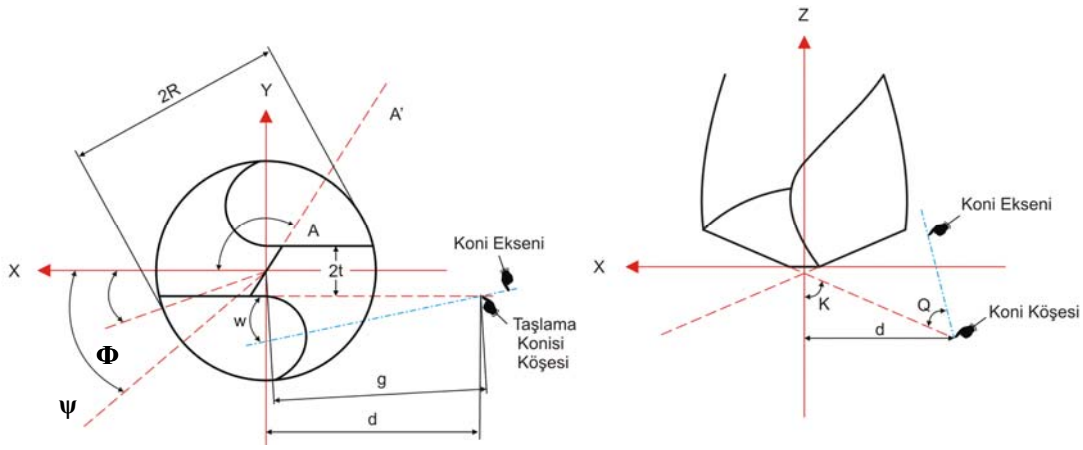
ve sonra koni ekseninin kosinüs doğrultusu aşağıdaki gibi belirlendi.

$$l = \frac{-\sin\psi \cdot \cos\kappa \cdot \sin\theta}{\sqrt{\sin^2\psi + \cos^2\psi \cdot \cos^2\kappa}} + \sin\kappa \cdot \cos\theta$$

$$m = \frac{\cos\psi \cdot \cos\kappa \cdot \sin\theta}{\sqrt{\sin^2\psi + \cos^2\psi \cdot \cos^2\kappa}} \tag{4.2}$$

$$l = \frac{\sin\psi \cdot \cos\kappa \cdot \sin\theta}{\sqrt{\sin^2\psi + \cos^2\psi \cdot \cos^2\kappa}} + \cos\kappa \cdot \cos\theta$$

Burada 2κ uç açısı, 2θ koni açısı, ψ radyal kesici kenar açısı (x ekseni ile xy düzlemine teğet olan doğru arasındaki açı) 2t matkap öz (çekirdek) kalınlığıdır.



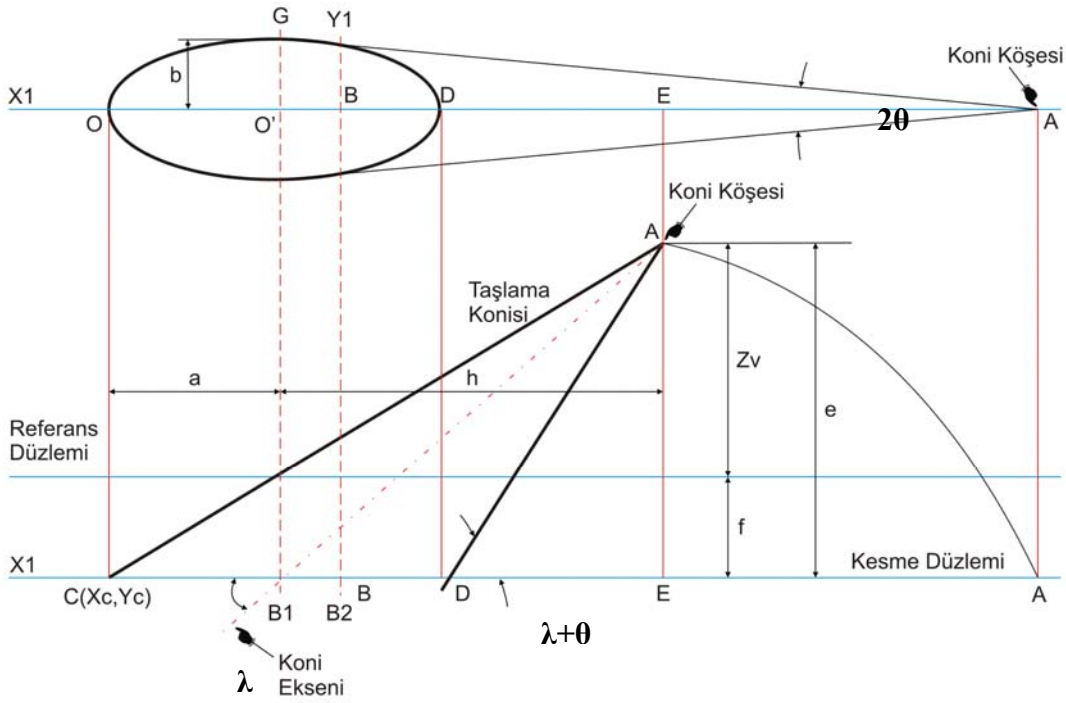
Şekil 4.1 Konik bir matkap ucu (Galloway, 1957)

Yazar bu modelle öncelikle eşzamanlı konik bir hareketle taşlama sürecini göstermeyi amaçlamıştır. Geniş sınıf bir matkap-taşlama makinasi ile yaptığı analizlerde bazı sonuçlar elde etmiştir. Bu modelde sadece tek koordinat sistemi kullanıldığından konik yüzey, eksenin kosinüs doğrultusunun bir bileşeni olarak tarif edildi. Bu tarif çok açık olmamakla birlikte ön kabullere dayanmaktadır.Ayrıca bu analizde radyal kenar bölgesi tanımlanmadığı için eksikdir. Bunun yanında model ile yapılan analiz sonucunda tek bir koni ve tek bir optimum tasarım elde edilmemesi yani kesinliği olmaması bu metodun dezavantajlarındandır.

Fuji, DeVires ve Wu (1970)

Fuji ve arkadaşları matkap ucu geometrisini bilgisayar destekli tasarımla çeşitli düzlemler kullanarak incelemişlerdir. Matkap geometrisini matkap eksenine dik bir kesit kullanarak matkap kanal yüzeyi ve yanal yüzeyine bağlı olarak

şekillendirmişlerdir. Galloway'ın çalışmasını takip ederek matkap ekseninin kosinüs doğrultusu ve koni dış hattını kullanarak matkap yanal yüzeyini taşlama konisi yüzeyinin bir parçası olarak belirlemişlerdir. Dik kesme düzleminde yanal yüzey sınırı bir elips olarak çizilmiştir. Bu elipsin nasıl oluştuğu aşağıdaki çizimde gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Konik bir yanal yüzey için elips çizimi

Bu elips Yardımcı bir koordinat sistemi ile ifade edilir

$$\frac{x_1^2}{a^2}+\frac{y_1^2}{b^2}=1 \tag{4.3}$$

Burada a ve b sırasıyla büyük ve küçük eksenleri ifade eder.

$$a=\frac{1}{2}e\{\cot(\lambda-\theta)-\cot(\lambda+\theta)\} \tag{4.4}$$

$$b = \frac{e \cdot \tan\theta \cdot \{\cot(\lambda - \theta) - \cot(\lambda + \theta)\}}{2 \cdot \sin\lambda \cdot [\{\cot(\lambda - \theta) - \cot\lambda\} \cdot \{\cot\lambda - \cot(\lambda + \theta)\}]^{1/2}}$$

Fuji öncelikle radyal kenar ve radyal kenar açısını nümerik olarak belirledi. Sonra Matkabın ölü merkezindeki matkap eksenine dik düzlem ve taşlama konisi kesiti ile elde ettiği elipsten radyal kesici kenar için bir ifade elde etti. Radyal kesici kenar açısı denklemi, seçilen parametreler ve kullanılan metotlara bağlı olarak oldukça karmaşık bir analiz gerektiğini tespit etmiştir.

Helisel ve rackon matkaplar

Bundan önce olduğu gibi helisel ve Rackon matkaplar için yanal yüzey konfigürasyonu iki bilinmeyenli denklem ile ifade edilir.

$$\frac{x^{*2}}{a^2} + \frac{y^{*2}}{a^2} + \delta\frac{z^{*2}}{c^2} = 1 \qquad \delta = \pm 1 \tag{4.5}$$

Eşitlik (4.5) 'de δ = -1 olduğunda bir hiperbloid'i; δ = +1 olduğunda bir elipsoid'i ifade eder. Matkap kuadratik taşlama yüzeyinin pozisyonu daha önce kullanılan metotlarla tespit edilir. Makta yanal yüzeyinin genel matematiksel modeli a, c, S, d ve Φ olmak üzere beş parametre terimi ile ifade edilmiştir.

$$\frac{1}{a^2} \cdot \left[\left(x \cdot \cos\Phi + z \cdot \sin\Phi\right) + \left(a^2 - \delta \cdot \frac{a^2}{c^2} \cdot d^2 - S^2 \right)^{1/2} \right]^2 + \frac{1}{a^2} \cdot \left(y - S\right)^2 + \frac{1}{c^2} \cdot \left(z \cdot \cos\Phi + x \cdot \sin gf + d\right)^2 \cdot \tan^2\theta = 1 \tag{4.6}$$

Karmaşık uçlu matkaplar

Split (İki parçalı) Matkaplar

Split (iki parçalı) uçlu bir matkap için matematiksel model 1993 yılında Radhakrishnan ve Wu tarafından geliştirilmiştir. Split uçlu matkabın yanal yüzeyinde iki ayrı yüzey bulunur. Yazar bu matkabın yanal yüzeylerinde Tsai'nin metodunu baz alarak bir düzeltme yapmıştır.(S~t) .

γ′ açısı x*-y* düzlemine yansıtıldığında;

$$\gamma' = \sin^{-1}\left(\frac{s}{d \cdot \tan\theta}\right) - \sin^{-1}\left(\frac{t}{d \cdot \tan\theta}\right) \tag{4.7}$$

Burada γ açısı aşağıdaki eşitlikten elde edilir.

$$\gamma = \tan^{-1}\left(\cos\Phi \cdot \tan\gamma'\right) \tag{4.8}$$

(x^*, y^*, z^*)koordinat sistemindeki konik yüzeyin denklemi:

$$x^{*2} + y^{*2} - \left(z^* \cdot \tan\theta\right)^2 = 0 \tag{4.9}$$

(x^*, y^*, z^*)koordinat sistemindeki matkap merkezinin ifadesi:

$$x_0^* = \sqrt{d^2 \cdot \tan^2\theta - S^2}; \qquad y_0^* = -S; \qquad z_0^* = -d \tag{4.10}$$

Koni koordinat sistemine göre matkap koordinat sistemi çevrilerek birleştirildiğinde dönüşüm aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\begin{bmatrix} x^* \\ y^* \\ z^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\lambda & \sin\lambda & 0 \\ -\sin\lambda & \cos\gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos\phi & 0 & \sin\phi \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\phi & 0 & \cos\phi \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \sqrt{d^2 \cdot \tan^2\theta - S^2} \\ -S \\ _d \end{bmatrix} \qquad (4.11)$$

Burada eşitlik (4.11) ve (4.9) birleştirildiğinde:

$$P_z^{\,2} + Q_z + R = 0 \qquad (4.12)$$

$$Q = x \cdot \sin 2\phi\left(1 + \tan^2\phi\right) + 2 \cdot \left\{\sqrt{d^2 \cdot \tan^2\theta - S^2} \cdot \cos\gamma \cdot \sin\phi + \sin\gamma \cdot \sin\phi + d \cdot \cos\phi \cdot \tan^2\phi\right\}$$

$$P = \sin^2\phi - \cos^2\phi \cdot \tan^2\phi \qquad (4.13)$$

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

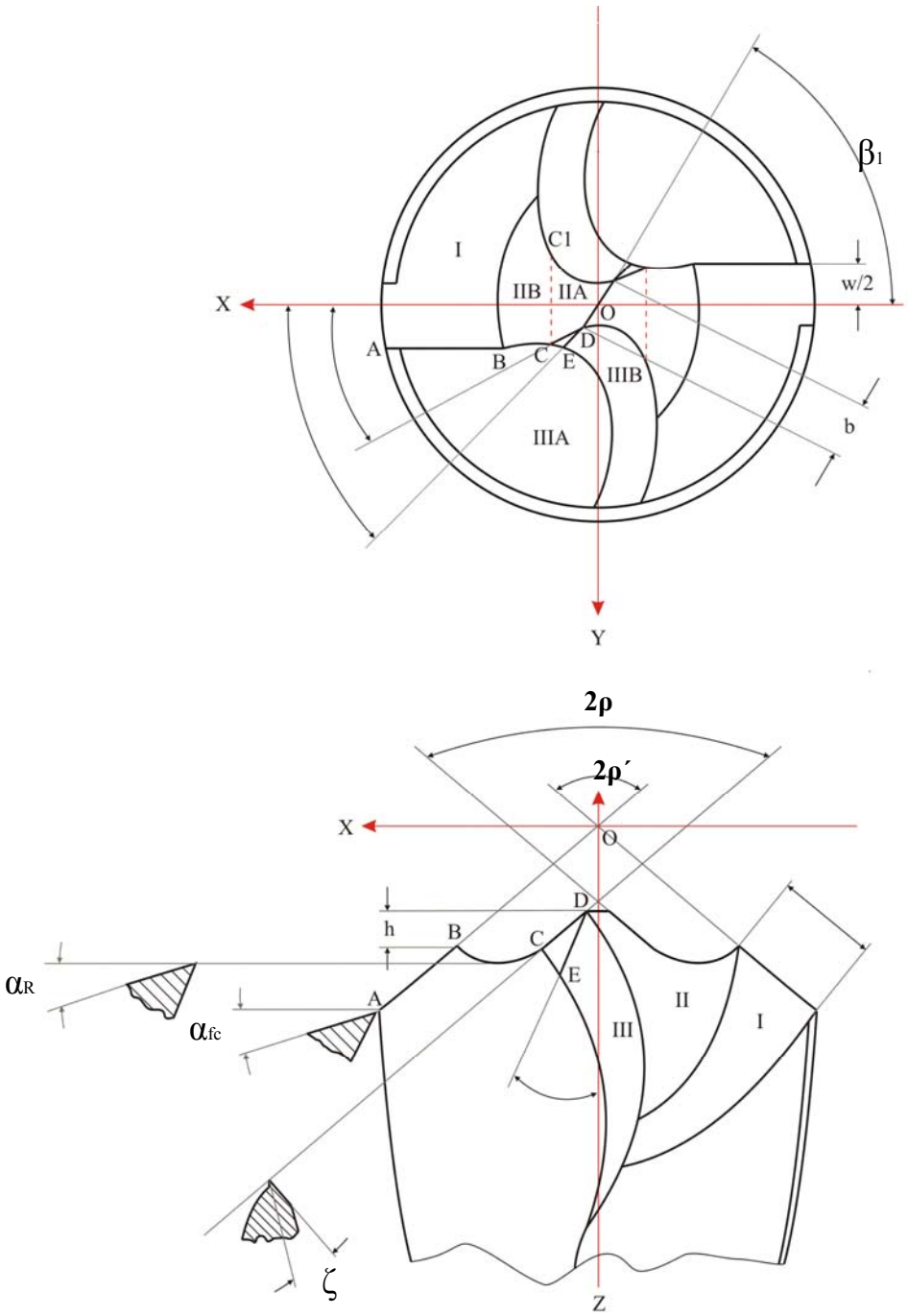
Birinci yanal yüzey için bu matematiksel model dört bağımsız (θ,Φ,S,d) ve bir bağımlı (γ) değişken ile ifade edilir.

İkinci düzlemsel yüzey bir düzlem denklemi ile açıkça ifade edilemez. Fakat matkap ekseni döndürülerek istenilen pozisyona getirilip düzlemsel bir değerlendirme yapılabilir. Döndürme esnasında her adımdaki dönüş açısı hesaplanarak split uç için taşlama parametreleri tanımlanabilir.

Çoklu yüzeyli matkaplar (MFD)

Geleneksel matkaplardan çoklu yüzeyli matkaplara (MFD) yapılan düzenleme ile delik delme sürecinde oluşan itme kuvvetlerinde azalma (%30-40); matkap ömründe ise iyileşme (5-8 kat) sağlanmıştır. Ayrıca bu çoklu yüzeyli matkaplarla çok daha iyi bir talaş çıkışı elde edilmiştir. Şekil 4.3'de gösterildiği gibi tipik bir çoklu yüzeyli matkapta üç çeşit yanal yüzey mevcuttur. I. Yanal yüzey geleneksel matkap uçlarına

benzer bir konikliğe sahiptir. Şekil 4.3'de gösterilen II. yanal yüzey düzlemsel bir yüzey (IIA) ile silindirik bir yüzeyin (IIB) birleşiminden oluşur.



Şekil 4.3 Çoklu yüzeyli matkap (Wu, Shen ve Chen, 1983)

Yanal Yüzey ***II***

Yüzey IIB Wu ve Shen'in 193 de geliştirdiği matematiksel bir modelle sayısal olarak tanımlanmıştır. Şekil 4.4'de verildiği gibi :

$$\left(X - X_1\right)^2 + \left(Z - Z_1 + \left(W/2 - Y\right)\cdot \tan\alpha_R\right)^2 = R_1^2 \tag{4.14}$$

Buradab X_1 ve Y_1 şöyle hesaplanmıştır:

$$X_1 = \frac{-b + \sqrt{b_1^2 - 4a_1 \cdot c_1}}{2a_1}$$

$$Z_1 = -\frac{X_1}{\tan\rho'} + \left[-\frac{D}{2\tan\rho'} + L_1 \cdot \cos\rho + h + \frac{W}{2}\cdot\tan\alpha_R + \frac{R_1}{\sin\rho'}\right] \tag{4.15}$$

$$a_1 = 1 + \frac{1}{\tan^2\rho'}$$

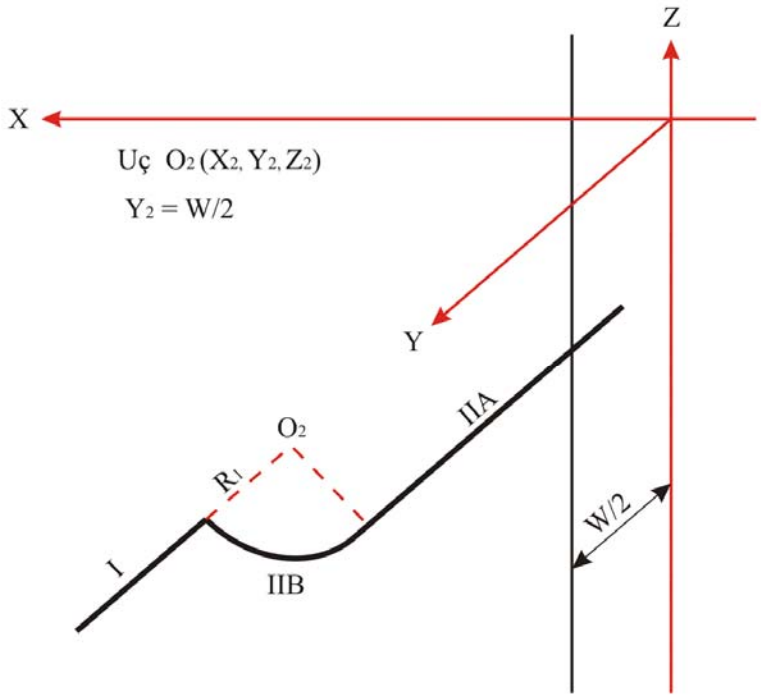
$$b_1 = 2L_1 \cdot \sin\rho - D - \frac{2}{\tan\rho'}\cdot\left[h + \frac{W}{2}\cdot\tan\alpha_R + \frac{R_1}{\sin\rho'}\right] \tag{4.16}$$

$$c_1 = \left[\frac{D}{2} - L_1\cdot\sin\rho\right]^2 + \left[h + \frac{W}{2}\cdot\tan\alpha_R + \frac{R_1}{\sin\rho'}\right]^2 - R_1$$

Burada D matkap çapı ve W matkap öz (çekirdek) kalınlığıdır.

Yüzey IIA aşağıda edilen bir düzlemdir.

$$\left[\tan\tau\cdot\tan\alpha_R+\frac{1}{\tan\rho'}\right]\cdot\left[X-\frac{b}{2}\cdot\cos\psi\right]-\tan\alpha_R\left[Y-\frac{b}{2}\sin\psi\right]+$$
$$\left[Z+\frac{D}{2\tan\rho}-L_1\cdot\cos\rho-h\right]=0 \qquad (4.17)$$



Şekil 4.4. Yüzey IIA ve IIB'nin yan görünüşü (Wu,1983)

Yanal Yüzey III

III. yanal yüzey IIIA ve IIIB olmak üzere iki adet yüzeyden oluşur. Yüzey IIIA aşağıda matematiksel olarak ifade edildiği gibi bir düzlemdir.

$$\left(\tan\tau\cdot\cos\rho'-\tan\tau\cdot\sin^2\rho'\right)\cdot\left[X-\frac{b}{2}\cdot\cos\psi\right]+\left[Y-\frac{b}{2}\sin\psi\right]+$$
$$\left(\tan\tau\cdot\sin\rho'-\tan\tau\cdot\cos\rho'\cdot\sin\rho'\right)\left[Z+\frac{D}{2\tan\rho}-L_1\cdot\cos\rho-h\right]=0 \qquad (4.18)$$

Silindiroid olan IIIB yüzeyi aşağıda matematiksel olarak tanımlanmıştır.

$$\left[Y - Y_2 - \left(X - \frac{b}{2}\cdot\cos\psi\right)\cdot M\right]^2 + \left[Z - Z_2 - \frac{D}{2\tan\rho} - \left(X - \frac{b}{2}\cdot\cos\psi\right)\cdot\tan\beta\right]^2 = R_2^2 \tag{4.19}$$

Burada ;

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

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

$$Z_D = -\frac{D}{2\tan\rho} + L_1\cdot\cos\rho + h\,; \qquad Y_D = \frac{b}{2}\sin\psi$$

$$Y_P = \sqrt{\frac{D^2}{4} - \left[\frac{b}{2}\cdot\cos\psi\right]^2} \qquad \beta = \frac{\pi}{2} - \alpha$$

$$Z_P = -\frac{0{,}45D}{\tan\rho} - 0{,}45D\cdot\frac{\pi}{2}\cdot\tan\alpha - 0{,}15D \qquad R_2 = \frac{D}{2}$$

4.1.2 Matkap kanal modelleri

Galloway (1957)

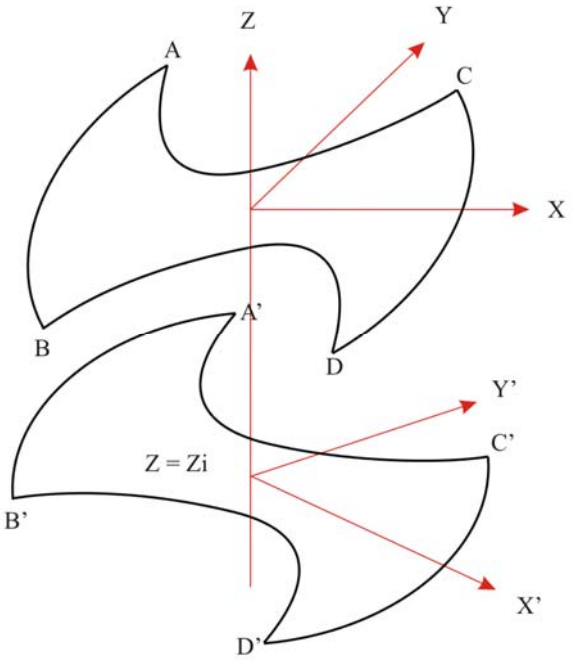
Galloway yaptığı bu çalışmada matkap üzerinde herhangi bir P noktasından geçen helis kanalı için γ helis açısı aşağıda parametrik olarak tanımlanmıştır.

$$x = r \cdot \cos v$$
$$y = -r \cdot \sin v \qquad (4.20)$$
$$z = -r \cdot (v - \phi) \cdot \cot \gamma + (r^2 - t^2)^{1/2} \cdot \cot \kappa$$

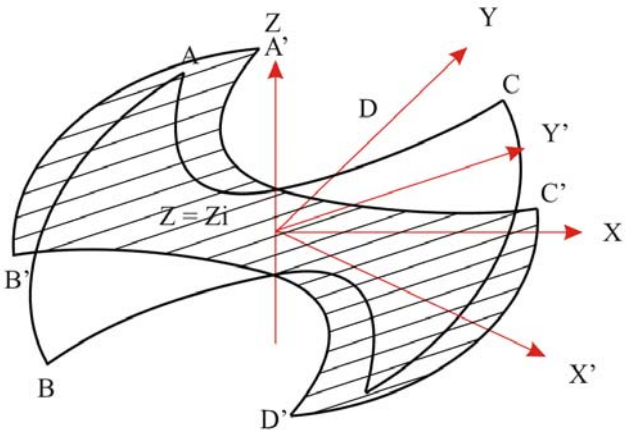
Burada r ve v referans düzlemdeki kanal hattının polar kordinatlarıdır. Bu çalışma matkap kanal yüzeyini matematiksel olarak ifade eden ilk çalışmadır.Fakat bu model matkap kanal parçasını düz kesme kenarı olarak kabul ettiği için yetersizdir.

Wang ve Wu (1990)

Wang ve Wu yaptığı bu çalışmada Matkap uç kesitini Matkap Z ekseni etrafında döndürerek Matkap kanal yüzeyinin polinomal bir yüzey gibideğerlendirilebileceğini saptadı. (Şekil 4.5)



(a)



(b)

Şekil 4.5 Matkap kanal yüzeyinin polinomal olarak gösterilmesi(Wang ve Wu -1990)
(a) Yan görünüş
(b) Üst görünüş

Böylece x-y referans düzlemindeki AB ve CD eğrileri aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

$$\sum_{j=1}^{n}\sum_{i=0}^{j} b_{ij} \cdot x^{i-j} \cdot y^{i} + 1 = 0 \qquad z = 0, \qquad n \geq 2 \tag{4.21}$$

Katsayı numarası b_{ij} :

$$2 + 3 + ... + (n+1) = \frac{n.(n+3)}{2} \tag{4.22}$$

Yüzey A'B'C'D' ; Z=Zi kabulü ile dikey kesme düzleminden elde edildi.

$$\sum_{j=1}^{n}\sum_{i=0}^{j} b_{ij} \cdot x'^{i-j} \cdot y'^{i} + 1 = 0 \qquad Z=Zi, \qquad n \geq 2 \tag{4.23}$$

Burada x' ve y' döndürülmüş koordinat matrisi ile belirlenir.

$$\begin{Bmatrix} x' \\ y' \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\zeta_i & -\sin\zeta_i \\ \sin\zeta_i & \cos\zeta_i \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x \\ y \end{Bmatrix} \tag{4.24}$$

ve dönüş açısı;

$$\zeta_i = \frac{Zi}{R} \cdot \tan\gamma_0 \tag{4.25}$$

Burada γ_0 matkap duş hattındaki helis açısı, R matkap yarıçapıdır. Bu model ilk aşamada tüm matkap kanalını kapsar. Hem düz hem de düz olmayan kesici kenarlar için genel bir yaklaşım sunmaktadır.

4.2 Matkap Kuvvet Modelleri

Matkap uç gelişimine yardımcı olmak amacıyla matkap performansını değerlendirmek için çeşitli matematiksel modeller gerekir. Bu modellere örnek olarak; delik deleme kuvvet modelleri, matkap sıcaklık modelleri, delik kalitesi modelleri, matkap dinamiği modelleri, matkap aşınma modellerli örnek olarak verilebilir. Bu bölümde delik delme kuvvet modelleri tartışılacaktır.

Matkapta çap ve ilerlemeye bağlı olarak oluşan kuvvet ve momentle ilgili ampirik pek çok eşitlik yapılmıştır. Fakat metal kesme teorisinin mekaniğine bağlı olan bu teoriksel eşitlikler matkap kuvvetlerinin hesaplanması için yeterli değildir. Bunun sebebi talaş açısı, sürtünme açısı, kesme açısı, kesme gerilmesi gibi değerlerin farklı delik delme şartları altında etkileşimlerinin tahmin edilmesinin zorluğundan kaynaklanmaktadır.

Oxford ve Shaw

Matkapta oluşan itme kuvveti (F_z) ve momenti (M_z) hesaplamak amacıyla boyutsal analiz sonuçlarına dayanan yarı analitik bir eşitlik 1957 yılında Oxford ve Shaw tarafından geliştirilmiştir.

$$\frac{F_z}{d^2 H_B} = 0{,}15 \cdot \frac{f^{0,8}}{d^{1,2}} \cdot \left[\frac{1 - c/d}{(1 + c/d)^2} + 2{,}2 \cdot (c/d)^{0,8} \right] + 0{,}068 \cdot (c/d)^2 \qquad (4.26)$$

$$\frac{M_z}{d^3 H_B} = 0{,}082 \cdot \frac{f^{0,8}}{d^{1,2}} \cdot \left[\frac{1 - (c/d)^2}{1 + (c/d)^2} + 3{,}2 \cdot (c/d)^{0,8} \right] \qquad (4.27)$$

Burada c radyal kesici kenar uzunluğu, d matkap çapı, f ilerleme (in/dev), H_B Brinell Sertliği (psi) olarak verilmiştir

Williams (1974)

Williams matkabın esas kesici kenarları için hem itme kuvveti (THL) hem de moment (TL) modelleri geliştirdiği. Williams'ın eşitlikleri aşağıdaki gibidir.

$$TL = 2 \cdot \sum_{\rho=0,15}^{\rho=0,95} \frac{r_m \cdot k_L \cdot f \cdot \Delta W \cdot \sin\kappa \cdot \sin(\lambda_L - \nu_{nL})}{2 \cdot \sin\phi_L \cdot \cos(\phi_L + \lambda_L - \nu_{nL})} \tag{4.28}$$

$$TL = 2 \cdot \sum_{\rho=0,15}^{\rho=0,95} \frac{r_m \cdot k_L \cdot f \cdot \Delta W \cdot \sin\kappa \cdot \sin(\lambda_L - \nu_{nL})}{2 \cdot \sin\phi_L \cdot \cos(\phi_L + \lambda_L - \nu_{nL})} \tag{4.29}$$

Burada λ_L sürtünme açısı, ϕ_L kesme açısı, k_L kesme gerilme faktörü, κ uç açısının yarısı ν_{nL} takım talaş açısıdır.

Williams ayrıca radyal kesici kenar bölgesinde oluşan moment ve kuvvetleri hesaplayabilmek için talaş şekli ve çentik modeli geliştirmiştir. Radyal kenar için bulduğu moment (T_C) ve itme kuvveti (F_A) eşitlikleri aşağıdaki gibidir.

$$T_C = r_m \cdot \left[F_c \cdot \cos\beta_m + F_t \cdot \sin\beta_m\right] \tag{4.30}$$

$$F_A = F_C \cdot \sin\beta_m + F_t \cdot \cos\beta_m \tag{4.31}$$

$$F_C = \frac{k_C \cdot f \cdot W_T \cdot \sin\nu_{DC}}{2 \cdot \sin\phi_m \cdot \cos(\phi_m - \nu_{DC})} \tag{4.32}$$

$$F_t = \frac{-k_C \cdot f \cdot W_T \cdot \sin\nu_{DC}}{2 \cdot \sin\phi_m \cdot \cos(\phi_m - \nu_{DC})} \tag{4.33}$$

Burada k_C iş parçası malzemesinde kesme düzlemi boyunca meydana gelen kesme gerilmesi faktörü, β_m ilerleme açısı, W_T kesme alanı genişliği, ν_{DC} dinamik talaş açısı ve r_m esas yarıçaptır.

Çentik modelindeki çentik kuvveti eşitliği aşağıdaki gibidir.

$$F_i = 12 \cdot k_C \cdot f^2 \cdot \tan \alpha_W \tag{4.34}$$

Burada α_w yarım kama açısıdır. Toplam radyal kenar itme kuvveti (THC) iki eksenel kuvvet bileşenlerinin toplamı ile bulunur. Yani THC = F_A + $F_İ$ şeklinde ifade edilir.

Wiriyacolos ve Armergo (1979)

Wiriyaccolos ve Armergo tarafından moment ve itme kuvvetlerini hesaplamak için ortaya konulan matematiksel modelde uç geometrisinin delik delmede oluşan kuvvet ve momentlerin üzerindeki önemli etkisi üzerinde çalıştılar. Bu model uç geometrisi ve ilerlemenin bir fonksiyonu olan delik delme kuvvetlerini hesaplamak için bulduğu eşitlikler daha kolay kontrol edilebilir niteliktedir. 1020 çeliği için verilen eşitlikler aşağıdaki gibidir.

$$M = 1{,}821 \cdot 10^5 \cdot f^{0{,}661} \cdot D^{2{,}004} \cdot (2w/D)^{0{,}113} \cdot (2p)^{-0{,}226} \cdot \delta_o^{\,-0{,}263\psi - 0{,}177} \tag{4.35}$$

$$F = 3{,}635 \cdot 10^3 \cdot f^{0{,}546} \cdot D^{1{,}027} \cdot (2w/D)^{0{,}279} \cdot (2p)^{0{,}518} \cdot \delta_o^{\,-0{,}210\psi \cdot 0{,}5} \tag{4.36}$$

Burada f ilerleme, D matkap çapı, 2w matkap öz (çekirdek) kalınlığı, δ_o matkap dış hattındaki helis açısı ve ψ radyal kenar açısıdır.

Watson (1985)

Watson yakın geçmişte delik delme analizlerinin geliştirilmesiyle ilgili bir ser detaylı çalışma yapmıştır. Yaptığı çalışmalarda esas kesici kenarda meydana gelen moment ve kuvvetlerin hesaplanmasında oldukça başarılı sonuçlar elde etmiştir. Fakat bu model radyal kesici kenarda oluşan moment ve itme kuvvetlerinin hesaplanması için kullanıldığında daha az kesinlikte sonuçlar elde edilmiştir.Bir matkabın esas kesici kenarlarındaki toplam moment (TQ) ve itme kuvvetleri (TH) aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$TQ = \rho \cdot D \cdot \sum \begin{bmatrix} -((F_C' \cdot \sin\lambda_{se} - F_f \cdot \cos\lambda_{se}) \cdot \cos\kappa_{re} + F_T' \cdot \sin\kappa_{re}) \sin\eta + \\ (F_C' \cdot \cos\lambda_{se} - F_f \cdot \sin\lambda_{se}) \cos\eta \end{bmatrix} \quad (4.37)$$

$$TH = 2 \cdot \sum \begin{bmatrix} ((F_C' \cdot \sin\lambda_{se} - F_f \cdot \cos\lambda_{se}) \cdot \cos\kappa_{re} + F_T' \cdot \sin\kappa_{re}) \cos\eta + \\ (F_C' \cdot \cos\lambda_{se} - F_f \cdot \sin\lambda_{se}) \sin\eta \end{bmatrix} \quad (4.38)$$

$$\begin{aligned} F_C' &= F(U', \lambda_{se}, \delta_W, t_1, \gamma_{ne}) \\ F_T' &= F(U', \lambda_{se}, \delta_W, t_1, \gamma_{ne}) \\ F_f' &= \sin\lambda_n \cdot \tan\eta_C \cdot \sqrt{F_C'^2 + F_T'^2} \end{aligned} \quad (4.39)$$

Burada U' keme hızı, λ_{se} eğim açısı, δ_W kesme kalınlığı, t_1 deforme olmamış talaş kalınlığı, γ_{ne} talaş açısı, κ_{se} kesme kenarı açısı, ρ yarı çap ve η ilerleme açısıdır.

Watson'un radyal kesici kenar için geliştirdiği model kesme, aşınma ve çıkışı içerir. Radyal kesici kenardaki toplam moment ve itme kuvveti eşitlik (4.50) ve (4.51)deki gibidir. $\rho = 0$ dan $\rho = \rho_e$'ye kadar olan artışın toplamı çıkış için moment (TQ_{cf}) ve itme kuvvetini (TH_{cf}) verir.

$$\mathrm{TQ_{cf}} = \sum_{p=0}^{p=p_e} \rho \cdot D \cdot \sin\left|\alpha'_{fe}\right| \cdot \left(\frac{\rho \cdot D^2 \cdot k \cdot (1 + \pi/2 + \left|\alpha'_{fe}\right|)\delta\rho}{2 \cdot \tan\delta_C \cdot \cos\alpha'_{fe}}\right) \tag{4.40}$$

$$\mathrm{TH_{cf}} = 2 \cdot \sum_{p=0}^{p=p_e} \cos\alpha'_{fe} \cdot \left(\frac{\rho \cdot D^2 \cdot k \cdot (1 + \pi/2 + \left|\alpha'_{fe}\right|)\delta\rho}{2 \cdot \tan\delta_C \cdot \cos\alpha'_{fe}}\right) \tag{4.41}$$

Burada α'_{fe} işleme tarafı mesafesi, k akma gerilmesi, δ_C radyal kenar uyumu ve ρ_e çıkış alanını ifade eder.

Radyal kenarda bu model kullanılabilir olabilmesi için talaş açısı negatif olup 45º yi geçtiğinde katma hattı bölgesi aşınma modeli olarak kabul eldir. Bu bölge için moment (TQ_W) ve eksendeki itme kuvveti (TH_W) aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$TQ_W = \sum \rho \cdot D \cdot (F_W \cdot \cos\eta - NL \cdot \sin\eta) \tag{4.42}$$

$$TH_W = 2 \cdot \sum (NL \cdot \cos\eta + F_W \cdot \sin\eta) \tag{4.43}$$

Burada F_W kesme hızı doğrultusundaki direnç kuvveti, NL matkap eksenine teğet olan düzleme dik yüktür. Burada çıkış ve aşınma süreçleri itme kuvvetinin oluşumunda çok etkili değildir. Bu süreç delik delme esnasında matkap raydal kenarında oluşan sıcaklığın dağılımında daha önemli etkiler yaratabilir.

Lee, Fuh ve Wu (1987); Haung, Weng ve Chen (1994)

Lee, Fuh ve Wu çoklu yüzeyli matkaplar (MFD) için Williams'ın metodunu baz alan delik delme kuvvet modeli geliştirmişlerdir. Haung 'un çalışması da Fuh' un 1987de yaptığı çalışmayla hemen hemen aynıdır. Haung çalışmasını Fuh ile aynı zamanda yapmış olmasına rağmen 1994 de yayımlamıştır. Bu araştırmacılar esas kesici

kenarlar için eğik kesme modelini; ikinci kesici kenar için dik kesme modelini kullanmışlardır.

Bu delik delme modelinde yapılan teoriksel ön çalışma hemen hemen Williams'ın metoduyla aynıdır. Tek fark dinamik açıların ilerleme sürecinden etkilendiğinin kabulüdür. Geleneksel matkaptaki düz uzun kesici kenarların yerine, burada kullanılan çoklu yüzeyli matkaplar (MFD) üç adet kesici kenara sahiptir. Bu kenarlar Dış kesici kenar AB (Yan Yüzey I), Eğri kesici kenar BC (Yan yüzey II-B) ve iç düz kesici kenar DC (Yan Yüzey II-A) dır.

Her kesici kenar için farklı kesme gerilmesi faktörleri sabit kabul edilmiştir. Ayrıca çoklu yüzeyli matkabın (MFD) radyal kesici kenarı geleneksel matkaplara kıyasla daha kısadır. Bu modelde toplam moment (T) ve toplam itme kuvvetleri (TH) aşağıdaki gibidir.

$$T = T_L + T_{2B} + T_{2A} + T_C \tag{4.44}$$

$$TH = TH_L + TH_{2B} + TH_{2A} + TH_C \tag{4.45}$$

Dış kesici kenar (AB):

$$T_L = 2 \cdot (\int_B^A r \cdot \cos i \cdot dF_C + \int_{\mathbf{B}}^A r \cdot \sin i \cdot \sin \rho \cdot dP) \tag{4.46}$$

$$TH_L = 2 \cdot (\int_B^A \sin \rho \cdot dF_t + \int_{\mathbf{B}}^A \cos \rho \cdot dP) \tag{4.47}$$

Orta kesici kenar (BC):

$$T_{2B} = 2 \cdot (\int_{C}^{B} r \cdot \cos i \cdot dF_C + \int_{C}^{B} r \cdot \sin i \cdot \sin \theta \cdot dP) \quad (4.48)$$

$$TH_{2B} = 2 \cdot (\int_{C}^{B} \sin \theta \cdot dF_t + \int_{C}^{B} \cos \theta \cdot dP) \quad (4.49)$$

İç kesici kenar (CD):

$$T_{2A} = 2 \cdot (\int_{D}^{C} r \cdot \cos i \cdot dF_C + \int_{D}^{C} r \cdot \sin i \cdot \sin \rho' \cdot dP) \quad (4.50)$$

$$TH_{2A} = 2 \cdot (\int_{D}^{C} \sin \rho' \cdot dF_t + \int_{D}^{C} \cos \rho' \cdot dP) \quad (4.51)$$

Radyal kesici kenar (OD):

$$T_C = 2 \cdot (\int_{O}^{D} r \cdot dF_{CC}) \quad (4.52)$$

$$TH_C = 2 \cdot (\int_{O}^{D} dF_{te}) \quad (4.53)$$

Burada F_C, F_t ve P kesme hızı doğrultusuna dik kuvvetleri gösterir. ρ I.yan yüzey için uç açısını, ρ' II. Yan yüzey için uç açısını, θ eğri kesici kenar boyunca uç açısını, r yarı çap ve i eğim açısı yerine kullanılmıştır.

Stephenson ve Agapiou (1992)

Stephenson ve Agapiou esas kesme momentini hesaplamak için ve katı karbür veya karbür uçlu matkaplarla esmer dökme demirin delinmesinde oluşan itme kuvveti dağılımını tespit etmek için bir model geliştirmişlerdir. Moment (M) ve itme kuvveti (Th) kesici kenarlarının tüm unsurlarının katkısının toplamı ile doğrudan hesaplanabilmektedir.

$$M = \sum_{j=1}^{N_f} \sum_{i=1}^{N} dM_{ji} \tag{4.54}$$

$$Th = \sum_{j=1}^{N_f} \sum_{i=1}^{N} dTh_{ji} \tag{4.55}$$

$$dM_{ji} = r_i \cdot F_{cji} \tag{4.56}$$

$$dTh_{ji} = F_{zji} \cdot \sin\lfloor \rho_j \cdot (r_i) \rfloor - F_{lji} \cdot \cos\lfloor \rho_j (r_i) \rfloor \tag{4.57}$$

$$F_C = 63{,}2 + 1290 \cdot t_1 - 5{,}90 \cdot \alpha + 11{,}4 \cdot V \cdot CL + 0{,}191 \cdot \alpha^2 + 1{,}36 \cdot \alpha \cdot V \tag{4.58}$$

$$F_l = 2{,}39 - 0{,}28 \cdot \alpha \cdot \lambda - 3{,}43 \cdot \lambda \tag{4.59}$$

$$F_Z = 24{,}6 + 499 \cdot t_1 - 18{,}1 \cdot t_1 \cdot \lambda + 0{,}637 \cdot \alpha \cdot \lambda + 61{,}2 \cdot V - 15{,}2 \cdot V^2 - 17{,}7 \cdot t_1 \cdot \alpha \tag{4.60a}$$

$$\alpha < 5^\circ$$

$$F_Z = -56{,}0 + 1203 \cdot t_1 + 67{,}8 \cdot V \qquad \alpha > 5^\circ \tag{4.60b}$$

Burada t_1 kesilmemiş talaş kalınlığı, V kesme hızı, CL soğutma sıvısı parametresi, α talaş açısı, λ eğim açısı, N_f matkaptaki kanal sayısı, ρ uç açısı, r yarıçap ve N eleman sayısıdır.

Bu model herhangi bir uç geometrisine uygulanabilir. Bu model sadece esas kesici kenar boyunca etkiyen kesme kuvvetleri tahmin edilebildiği için hesaplanan itme kuvvetleri değerleri ölçülen değerlerden daha düşüktür.

5. DENEYSEL ÇALIŞMA

5.1. Amaç ve Kapsam

Makina ve malzeme endüstrisinde teknolojinin gelişmesi; daha seri ve sıfır hatalı ürün elde etmeyi sağlarken üretim sürecinde maliyetlerin artmasını da beraberinde getirmiştir. Üretim sektöründe artan rekabetle üreticiler, daha az maliyetle daha iyi ürün elde etmeyi hedeflemektedir. Üretim maliyetinde, kesici takım maliyeti dikkate değer ölçüdedir. Bunun için imalat alanında kesme sürecinin çok iyi analiz edilmesi gerekmektedir.

İmalatın her aşamasında talaş kaldırmanın önemi tartışılamayacak derecede fazladır. Talaşlı imalat frezeleme, tornalama, taşlama, delme gibi operasyonları içermektedir. Delme operasyonlarında matkap ve takma uçlu matkaplar (u-drill) kullanılmaktadır. Özellikle matkapların kullanımı daha yaygın ve fazladır. Günümüzde imalat sanayinde çelik malzemelerin yanında alüminyum malzemelerin de kullanımı hızla artmaktadır. Bu artış özellikle savunma ve uçak sanayinde daha fazla oranda olmaktadır

Delik delmede sürecinde; işlenen malzeme ve kesici takım maliyetleri imalat maliyetini etkilemektedir. Bundan dolayı kullanılan kesici takımlardaki performansı ve işleme kalitesini etkileyen; malzemenin cinsi, kesici takımın geometrisi, kesici takımın cinsi, kullanılan soğutma-kesme sıvısı gibi parametrelerin iyi analiz edilmesi gerekmektedir. Bu parametreler maliyeti etkiledikleri gibi buna ek olarak; delik ölçüsü, eksende oluşabilecek kaçıklık, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınmasını da etkilemektedir. Bu parametreler kesici takıma gelen kuvvet ve momentleri değiştirmekte bu etkenler de kesici takımın ömrü ve diğer maliyetleri etkilemektedir.

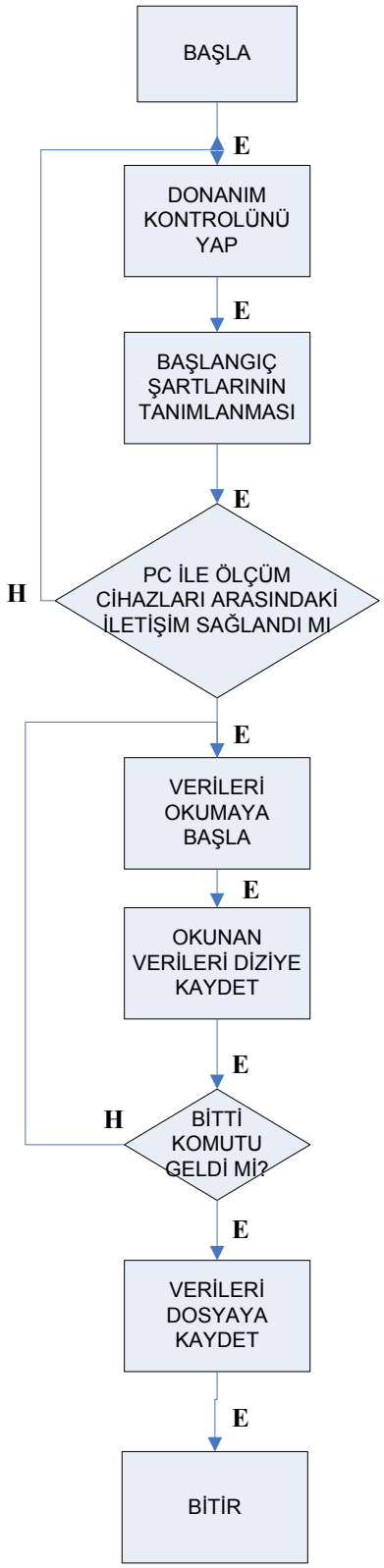
- Bu çalışmada; iki değişik alüminyum malzeme (AI 7075 ve AI 6013) aynı çapta fakat iki farklı yapıdaki kesici takımla (HSS ve karbür) işlenmiştir.
- Deneylerde 4 farklı kesme hızı ve ilerleme değeri kullanılmıştır.

- Bu çalışmalar Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi laboratuarlarında bulunan CNC işleme merkezinde yapılmıştır.
- Bu deneyler için kurulacak olan deney düzeneklerinde sıcaklık, kesme kuvvetleri ve moment ölçülmüştür.
- Verilerin alınması için gerekli olan ölçüm cihazları ve düzenekler değişik proje imkânları ile temin edilmiştir.
- Deneyler tam faktöriyel tertibinde yapılmış olup varyans analizi ile analiz edilmiştir. Deneysel sonuçlar ile teorik sonuçlar kıyaslanarak yorumlanmıştır.

5.2. Malzeme ve Metot

Bu çalışmada iki farklı alüminyum malzeme AI 7075 ve AI 6013, 8 mm çapında HSS ve karbür matkaplar, dinamometre, bilgisayar ve veri toplama kartı kullanılmıştır. Deney safhasında kullanılan ölçüm cihazı ihtiyacının büyük çoğunluğu Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi laboratuarlarında bulunan mevcut cihazlardan karşılanmıştır. Deneyde kullanılan ölçüm aletlerinden sadece K tipi sıcaklık ölçer (K type thermocouple) ve deney malzemeleri satın alınma yolu ile temin edilmiştir.

İş akış şeması Şekil 5.1 de verilmiştir.



Şekil 5.1. İş akış şeması

5.3. Çalışma Aşamaları

Çalışmada öncelikle deney numunesi olarak kullanılmış olan 120x50x50 mm boyutlarındaki alüminyum malzemeler prizmatik hale getirilmiştir. Her numune üzerine 5 delik açılabilecek şekilde ısıl çift (thermocouple) delikleri konumlandırılmıştır. Her delikteki sıcaklığı ölçebilmek için ayrı ayrı 5 ısıl çift kullanılmıştır. Numune üzerine açılan ısıl çift delikleri farklı derinliklerdedir. Böylece farklı derinliklerde ölçüm yaparak sıcaklığın malzemedeki dağılımının ölçülmesi amaçlanmıştır. Isıl çiftler numuneye vidalı olarak bağlanabilmesi için numunedeki ısıl çift deliklerine vida açılmıştır.

Kesme kuvvetleri dakikada 10000 ölçüm yapabilen dört bileşenli pizoelektrik Kistler 9123C dönen tip kuvvet/moment *Fx*, *Fy*, *Fz*, *Mz* dinamometresi vasıtasıyla ölçülmüştür. Dinamometre sistemi, aynı zamanda bir bağlama aparatı yardımıyla dik işleme merkezine monte edilebilen bir statoru Kistler 5221B1, çok kanallı bir sinyal şartlandırıcıyı Kistler 5223B2 ve bağlantı kabloları ile 8 kanallı bir A/D kartını Kistler 2855A4 da içermektedir. Böyle bir dinamometre sisteminde kesici takım iş parçası malzemesini kestiğinde kuvvet takım boyunca dinamometreye uygulanır. Dinamometredeki pizoelektrik kuvarslar gerilir ve elektrik şarjı meydana gelir. Bu elektrik şarjı bağlantı kabloları boyunca çok kanallı amplifikatöre iletilir ve bu şarj amplifikatörde yükseltilir. Çok kanallı amplifikatörde farklı parametreler ayarlanarak gerekli çözümleme başarılabilir. Aslında amplifikatörün çıkışında parametrelere bağlı olarak kuvvete eşdeğer olan voltaj ayarlanır. Ara yüz donanımındaki A/D kartta analog sinyal, yazılımın alınan verileri okuyabilmesi için, dijital sinyale dönüştürülür [Milfelner, 2005]. Kesme kuvveti ölçme dinamometresinde firma tarafından dinamik kalibrasyon yapılmış, ayrıca firmanın verdiği voltaj değerleri Dynoware yazılımına girilmiştir. Ölçümlerin gürültüden etkilenmemesi için cihazlar alüminyum folyö ile kaplanmışır.

Şekil 5.2'de gösterilen dinamometre sisteminde ölçülen veriler, DynoWare 2825D-02 bilgisayar programı yardımıyla işleme tabi tutulmuştur.

Dinamometreden elde edilen analog kapasitans sinyalleri önce gerilime çevrilip daha sonra sayısal veriler haline dönüştürülmüştür. Elde edilen sayısal veriler veri toplama kartı kullanılarak depolanmıştır.

Deneylerin yapılması sürecinde deney düzeneğine J tipi ısıl çift kullanılmıştır. Isıl çift demir-konstantan esaslıdır. Isıl çift iki farklı metal alaşımının uçlarının kaynaklanması ile elde edilen bir sıcaklık ölçü elemanıdır. Kaynatılan nokta SICAK NOKTA, açık kalan iki uç SOĞUK NOKTA olarak adlandırılır. Isıl çift sıcak nokta ile soğuk nokta arasındaki sıcaklık farkından oluşur. Sıcaklık farkına orantılı olarak soğuk nokta uçlarında mV değerlerinde gerilim üretir. Sıcak nokta ile soğuk nokta sıcaklık dağılımına göre üretilen gerilim sıcak ile soğuk arasındaki sıcaklık farkı ile orantılıdır. Kullanılan sıcaklık ölçer çalışma aralığı 0-850 ^{o}C arasındadır.

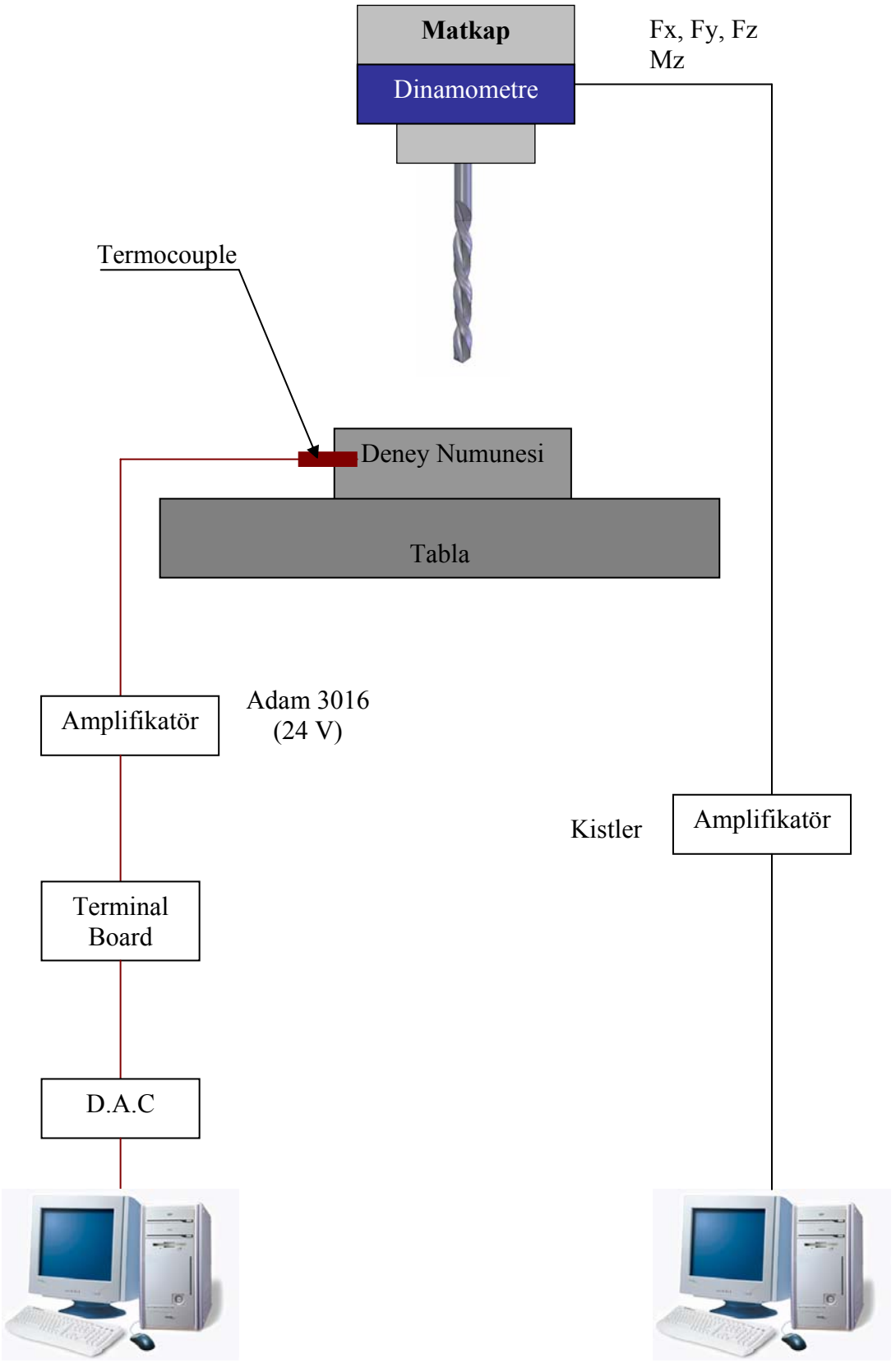
Isıl çiftlerden elde edilen verilerin gerilime çevrilmesi amacıyla ADAM-3016 kullanılmıştır. ADAM-3016 0-10V aralığında analog çıkış vermektedir. Elde edilen analog veriler veri toplama kartı aracılığı ile sayısal ortamda kaydedilmiştir. Deney düzeneğinde Advantech marka PCL-812 PG model bir veri toplama ve kontrol kartı kullanılmıştır. Deney düzeneğinde 16 kanaldan 1 KHz'de, kanal okuma hassasiyeti 12 bit ve kazancı ise 1 olarak veriler okunarak kaydedilmiştir. Verilerin elektronik ortamdan alınarak sayısal ortama dönüştürülmesi ve saklanması sürecinde QB4.5 programlama dilinde yazılan program kullanılmıştır. Bu süreçte MMX-200 işlemcili ve 126 Mb RAM'e sahip olan bir bilgisayar DOS ortamında kullanılmıştır.

Deney düzeneği Şekil 5.2'deki gibidir.



Şekil 5.2 Kurulan deney düzeneği

Deney düzeneği şematik olarak gösterilmek istendiğinde Şekil 5.3'deki gibi bir şekille basitçe görselleştirilebilir.



Şekil 5.3. Deney düzeneği

Yapılan deneylerde kullanılacak parametreleri belirlerken deneylerin yapıldığı tezgah kapasitesi (Maksimum 3500dev/dak) sınırları içerisinde kalmak kaydıyla; konuyla ilgili bundan önce yapılmış deneysel çalışmalar ve günümüz endüstrideki takım ve malzeme üreticilerinin belirlediği değerler dikkate alınmıştır. Böylece hem deneysel araştırmalar ile endüstri alanında kullanılan değerler için senkronize bir takip söz konusu olup; hem de optimum olarak kabul edilen parametrelerin farklı kesme şartlarındaki etkileri yorumlanmıştır. Deneylerde kullanılan kesici takım iş parçası malzemesi ve kesme parametreleri Çizelge 5.1'de verilmiştir

Çizelge 5.1 Deneyde kullanılan iş parçası malzemesi, kesici takım, ve uygulanan kesme parametreleri

Malzeme	Takım	İlerleme (f)	Kesme Hızı (v)
AL 6013 AL 7075	Ø8mm HSS Matkap Ø8mm Karbür Matkap	0.2mm/dev 0.3mm/dev 0.4mm/dev 0.5mm/dev	35m/ 50m/dak 65m/dak 80m/dak

Çizelge 5.1'de verilen dört faklı kesme hızı, dört faklı ilerleme iki farklı malzeme ve iki farklı kesici takım türü kullanımına bağlı olarak 64 adet delik delme deneyi gerçekleştirilmiştir.

5.4. Hedeflenen Çalışmanın Bilim ve Uygulamaya Katkısı

Alüminyum alaşımlarının uzay, uçak, bilgisayar ve sağlık sektörü gibi alanlarda giderek artan kullanımına bağlı olarak bu alaşımların işlenebilirliği önemli bir araştırma konusu olmuştur. Alüminyumun işlenmesi sırasında gösterdiği davranışlar diğer malzemelere göre daha farklıdır. Bu malzemelerin sıvanma özelliği fazla olduğundan dolayı kesme işlemi sırasında kesici takımın üzerine yapışarak kesme işlemini olumsuz olarak etkilemektedir

Talaş kaldırma işleminde, kesme kuvvetinin takım talaş arasındaki temas uzunluğu ile ilgili olduğu bilinmektedir. Buna göre takım üzerine yapışan talaş takım uç geometrisinde değiştirmektedir. Buna bağlı olarak da kesici takıma gelen kuvvetlerin

değişmesine sebep olmaktadır. Alüminyum yumuşak bir malzeme olmasına rağmen bu alaşımların işlenmesi takım ömrünü beklenenden daha fazla etkileyecektir. Son yılarda takıma etki eden kuvvetlerin yeterli hassaslıkta ölçülmesi için araştırma yapılmaktadır. Kesici takıma etki eden kuvvetler talaş kaldırmanın önemli bir safhasını oluşturmaktadır. Kesme kuvvetlerinin ölçülmesi takım tasarımını optimize etmede faydalı olup kesmenin bilimsel analizi için de gereklidir.

Talaşlı imalat sektöründe kullanılan takımların bir kısmı yurtdışından getirilmektedir. Özellikle sert metal uç diye adlandırılan değiştirilebilir uçlu kesici takımların maliyeti yüksek olup büyük bir bölümü dışarıdan gelmektedir. Bu nedenle kesici takım ömrünün optimum kullanılmaması sonucu kesici takım maliyeti artacak, buna bağlı olarak ürün maliyeti artmış olacak ve yurt dışına daha fazla döviz transferine sebep olacaktır.

Bu çalışmayla endüstride çok kullanılan Alüminyum alaşımlarının talaşlı imalattaki işlenebilirliği sürecinde matkapla delik delme işlemi incelenmiştir. Delik delme işleminde kesici takımda oluşan kuvvetlerin yanı sıra; işlem sürecinde Alüminyum malzemede oluşan ısı, delik yüzeylerinin kalitesi ve işleme esnasındaki titreşimin delik delme performansına etkilerini araştırmak için deneysel bir çalışma yapılmıştır. Bur çalışmanın amaçı delik delme sürecinde kesici takım, iş parçası malzemesi ve kesme şartlarının delik delme performansına etkilerinin araştırılıp yorumlanmasıdır.

Çalışma içerisinde geliştirilen düzenek yardımı ile kesici takımda oluşan kesme kuvvetleri ölçülerek bilgisayar yardımı ile kesici takımda meydana gelen kesme kuvvetleri belirlenmiştir. Ayrıca kuvvet ölçümü ile eş zamanlı olarak işlenen alüminyum malzemeye yerleştirilen sıcaklık ölçerler yardımıyla malzemede oluşan sıcaklık da ölçülmüştür.

Bu çalışmada elde edilecek sonuçlar ile alüminyum alaşımlarının işlenmesinde kesici takım performansını arttırmak için uygun kesme parametreleri belirlenmeye çalışılmıştır. Kesme olayında büyük öneme sahip kesici takım aşınmasını etkileyen

titreşimlerin ve kesme kuvvetlerini sebep olduğu kesici takımdaki gerilmeler ve oluşan sıcaklığın etkileri tespit edilmiştir. Kesici takımların endüstri alanında kullanımı dikkate alınarak, takım ömründen daha fazla istifade edilip kesici maliyeti azaltılması amaçlanmıştır. Böylece yapılan tasarrufla ülke ekonomisine önemli katkılar sağlanacaktır.

6. BULGULAR VE TARTIŞMA

6.1. Deneylerden Elde Edilen Sonuçların Varyans Analizi

AL 6013 ve AL 7075 malzemenin 8 mm çaplı HSS ve karbür matkapla delinmesinde elde edilen Fz maksimum kuvvetlerinin yapılan varyans analizinde, kesici, kesme hızı ve ilerlemenin Fz maksimum kuvvetlerine etkili olduğu ve malzemenin etkili olmadığı belirlenmişti (Çizelge 6.1).

Çizeldge 6.1 AL 6013 ve AL 7075 malzemenin 8 mm çaplı matkapla delinmesinde ortaya çıkan F_z maks kuvvetlerinin varyans analizi

Varyasyon kaynağı	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F oranı	P
Model	8	56356987,4	7044623,42	46,90	<0,001
Malzeme	1	32860,28	32860,28	0,218	0,641
Kesici	1	2607199,14	2607199,14	17,358	<0,001
Kesme hızı	3	2761705,24	920568,41	6,128	0,001
İlerleme	3	51178690,40	17059563,5	113,579	<0,001
Hata	53	7960567,42	150199,38		
Toplam	61	64317554,8			

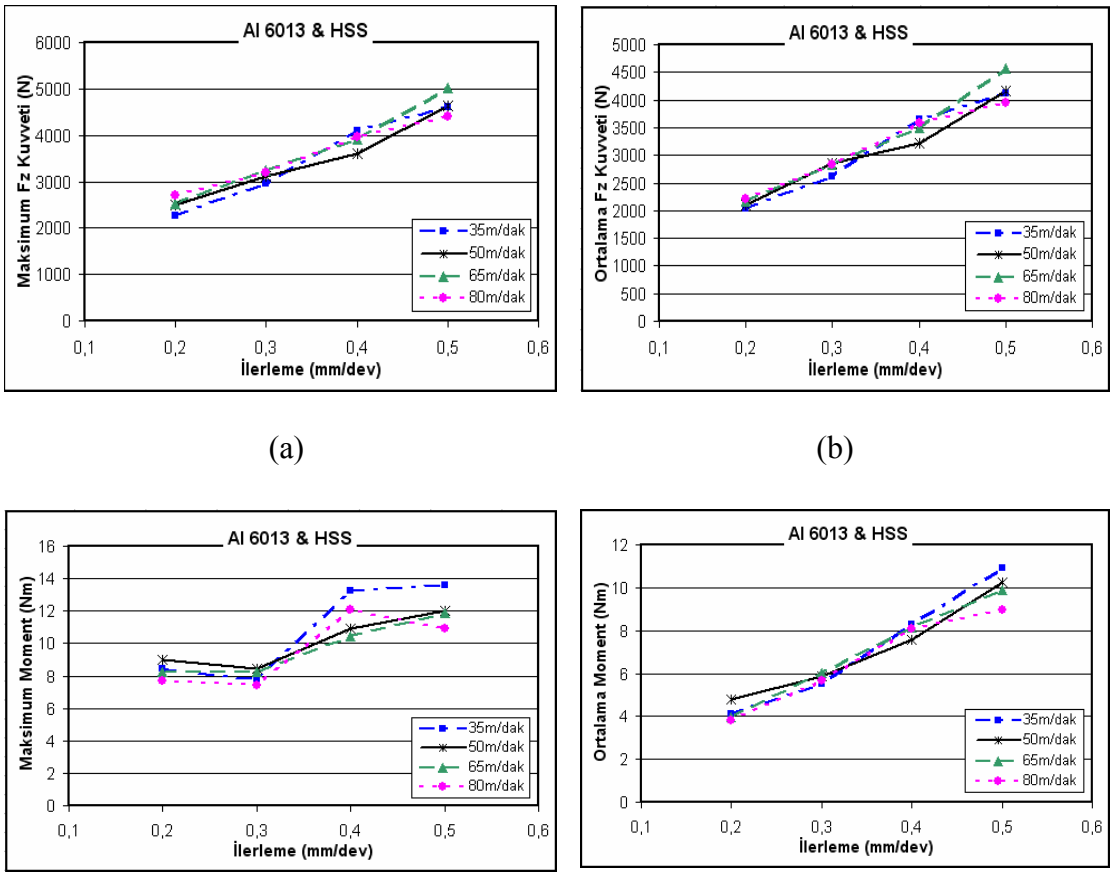
AL 6013 ve AL 7075 malzemenin 8 mm çaplı HSS ve karbür matkapla delinmesinde elde edilen M_z maksimum momentlerinin yapılan varyans analizinde, kesici ve ilerlemenin M_z maksimum momentlerine etkili olduğu ve malzeme ve kesme hızının ise etkili olmadığı belirlenmiştir (Çizelge 6.2).

Çizelge 6.2 AL 6013 ve AL 7075 malzemenin 8 mm çaplı matkapla delinmesinde ortaya çıkan Mz maks momentinin varyans analizi

Varyasyon kaynağı	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F oranı	P
Model	8	529,86	66,23	12,314	<0,001
Malzeme	1	0,69	0,69	0,12	0,720
Kesici	1	243,80	243,80	45,32	<0,001
Kesme hızı	3	21,48	7,16	1,33	0,273
İlerleme	3	272,77	90,92	16,90	<0,001
Hata	53	285,06	5,37	<0,001	
Toplam	61	814,92			

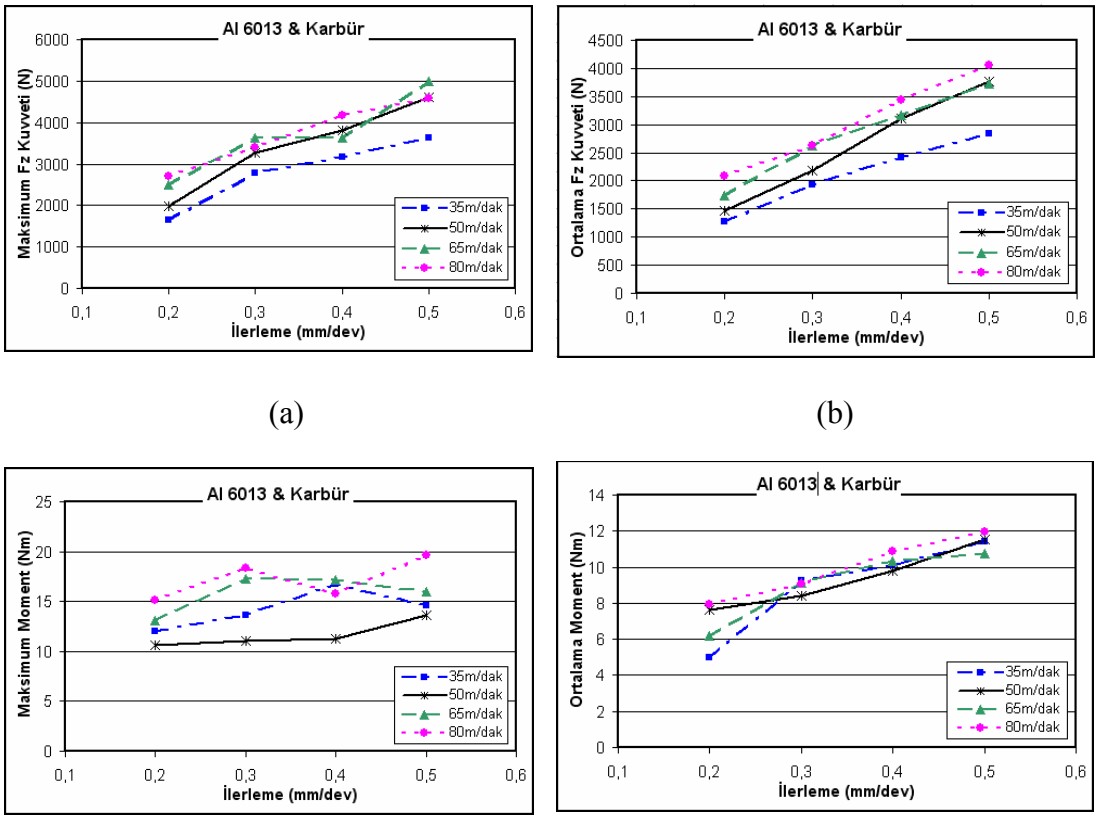
6.2. İşleme Parametrelerinin Kesme Kuvveti ve Momentler Üzerindeki Etkisi

Al 7075 ve Al 6013 malzemelerin karbür ve HSS matkaplarla işlenmesi esnasında takımda meydana gelen maksimum ve ortalama kesme kuvveti (Fz_{max} ve Fz_{ort}) ile maksimum ve ortalama moment (M_{max} ve M_{ort}) değerleri grafikler halinde verilmiştir. Bu grafiklerden yola çıkarak seçilen parametrelerin kuvvet ve momentler üzerindeki etkisi yorumlanmıştır.



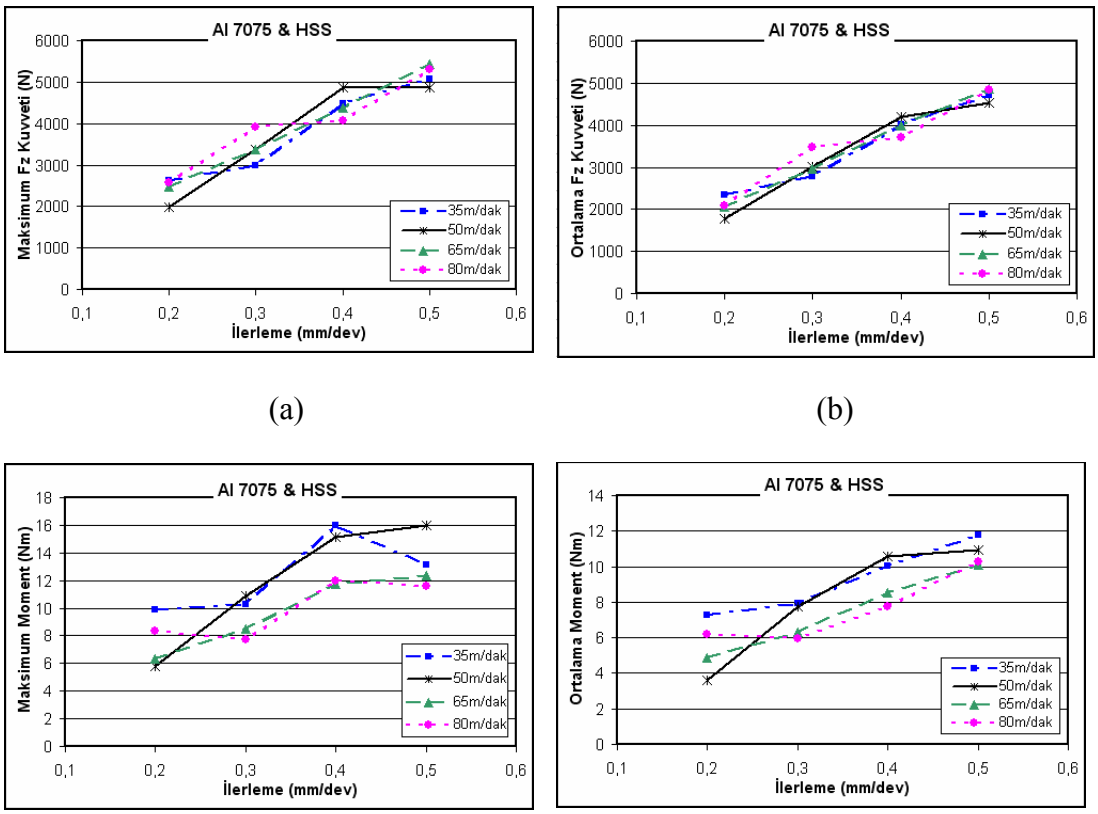
Şekil 6.1. Al 6013 malzeme ve HSS matkap için kuvvet ve moment grafikleri
(a) Maksimum kesme kuvveti grafiği
(b) Ortalama kesme kuvveti grafiği
(c) Maksimum moment grafiği
(d) Ortalama moment grafiği

Al 6013 malzeme ve HSS matkap kullanılarak yapılan deneylerde, dört farklı kesme hızı ve dört farklı ilerleme için elde edilen kuvvet ve moment verileri Şekil 6.1. deki grafiklerde gösterilmiştir. Grafiklere bakıldığında 80 m/dak kesme hızı için 0.4 mm/dev ilerleme oranına göre 0.5 mm/dev ilerleme oranında, maksimum momentte düşüş gözlenmektedir. Bunun haricindeki tüm durumlarda ilerleme oranının artması ile hem kesme kuvveti hem de momentlerde açık bir artış olduğu görülmektedir. Kesme hızının kuvvet ve momentler üzerindeki etkisi incelendiğinde ise; özellikle 0.5mm/dev ilerleme için ortalama momentlerin kesme hızının artmasıyla azaldığı görülmektedir. İlerleme düştükçe bu durum daha kararsız bir hal almaktadır. Kesme kuvvetlerinde ise; özellikle düşük ilerlemelerde kesme hızının artmasıyla kuvvetlerin arttığı yorumu yapılabilir.



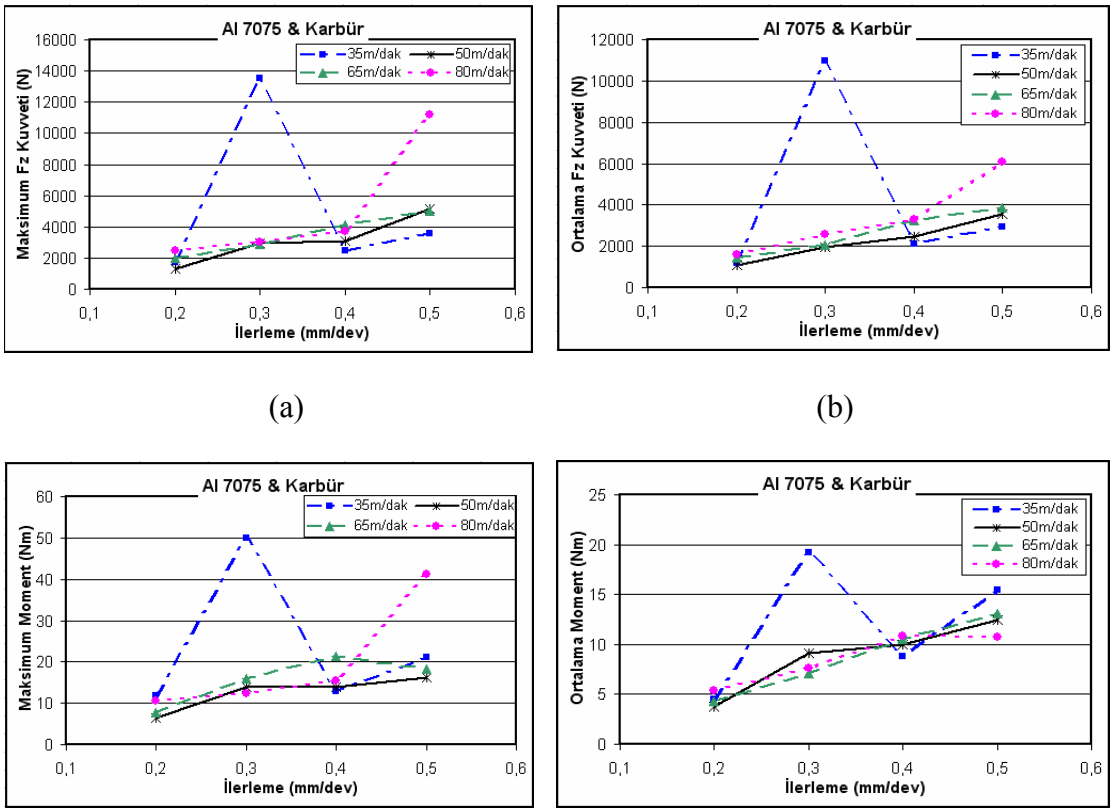
Şekil 6.2. Al 6013 malzeme ve Karbür matkap için kuvvet ve moment grafikleri
(a) Maksimum kesme kuvveti grafiği (c) Maksimum moment grafiği
(b) Ortalama kesme kuvveti grafiği (d) Ortalama moment grafiği

Yine Al 6013 malzemede bu kez Karbür matkap kullanılarak yapılan deneylerde, dört farklı kesme hızı ve dört farklı ilerleme için elde edilen kuvvet ve moment verileri Şekil 6.2. deki grafiklerde gösterilmiştir. Grafiklere bakıldığında ilerleme oranının artması ile ortalama kesme kuvveti ve momentlerde açık bir artış olduğu gözlenmektedir. 0.3mm/dev ilerlemede çıkan maksimum kuvvet ve moment değerlerine göre 0.4mm/dev ilerlemede çıkan değerleri yorumlarsak; özellikle 65m/dak kesme hızı için maksimum kesme kuvvetinin yaklaşık olarak aynı değerde çıktığı, maksimum momentin ise 80m/dak keseme hızında düştüğü gözlenmektedir. Kesme hızının kuvvet ve momentler üzerindeki etkisi incelendiğinde ise; özellikle düşük ilerlemelerde kesme kuvvetlerinin kesme hızının artmasıyla arttığı söylenebilir. İlerleme arttıkça bu durum daha kararsız bir hal almaktadır. Momentlerde ise; karbür takımlarda HSS den farklı olarak kesme hızının artması karbür matkaplarda oluşan momentin artmasına sebep olduğu söylenebilir



Şekil 6.3. Al 7075 malzeme ve HSS matkap için kuvvet ve moment grafikleri
(a) Maksimum kesme kuvveti grafiği
(b) Ortalama kesme kuvveti grafiği
(c) Maksimum moment grafiği
(d) Ortalama moment grafiği

Al 7075 malzemede HSS matkap kullanılarak yapılan deneylerde, dört farklı kesme hızı ve dört farklı ilerleme için elde edilen kuvvet ve moment verileri Şekil 6.3. deki grafiklerde gösterilmiştir. Grafiklere bakıldığında ilerlemenin takımda oluşan kuvvet ve momentler üzerindeki etkisi Al 6013'e oranla daha yüksek olmakla birlikte genel olarak ilerlemenin artışı kuvvet ve momentlerde artışa sebep olduğu söylenebilir. Kesme hızının kuvvet ve momentler üzerindeki etkisi incelendiğinde ise; özellikle yüksek kesme hızları ve düşük ilerlemelerde takımda daha düşük moment oluşumuna sebep olduğu yorumu yapılabilir. Kesme kuvvetleri ise özellikle 0.3mm/dev ilerlemede kesme hızının artmasıyla artarken diğer ilerleme oranlarında bu durumun kesme hızı-ilerleme oranına göre farklılıklar gösterdiği görülmektedir.



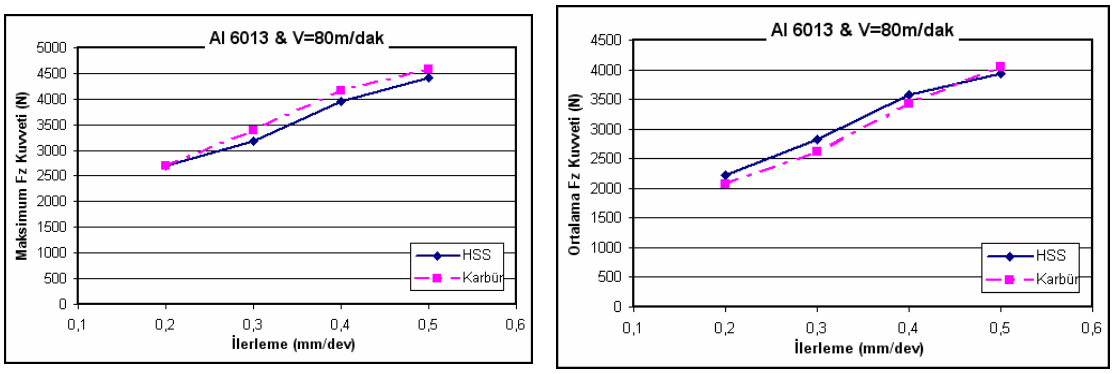
Şekil 6.4. Al 7075 malzeme ve karbür matkap için kuvvet ve moment grafikleri
(a) Maksimum kesme kuvveti grafiği
(b) Ortalama kesme kuvveti grafiği
(c) Maksimum moment grafiği
(d) Ortalama moment grafiği

Yine Al 7075 malzemede bu kez Karbür matkap kullanılarak yapılan deneylerde, dört farklı kesme hızı ve dört farklı ilerleme için elde edilen kuvvet ve moment verileri Şekil 6.4. deki grafiklerde gösterilmiştir. Grafiklere bakıldığında 3.0mm/dak ilerleme ve 35m/dak ile 0.5mm/dev ilerleme ve 80m/dak kesme hızında karbür takımda oluşan kuvvet ve momentlerin çok yüksek değerlere ulaştığı görülmektedir. Bu iki farklı kesme şartında takımın kırıldığı yapılan deneylerde gözlenmiştir. Bunu haricindeki kesme şartlarında ilerleme oranının artışı hem kuvvet hem de momentlerde artışa sebep olduğu yorumu yapılabilir. Kesme hızının kuvvet ve momentler üzerindeki etkisi incelendiğinde ise; özellikle 0.5 ilerlemede kesme hızı arttıkça kesme kuvvetlerinin arttığı görülmektedir. Momentler de ise özellikle düşük

ilerlemelerde kesme hızının azalması momentlerin artmasına sebep olduğu söylenebilir.

6.3. Aynı Kesme Şartlarında HSS ve Karbür Takımların Karşılaştırılması

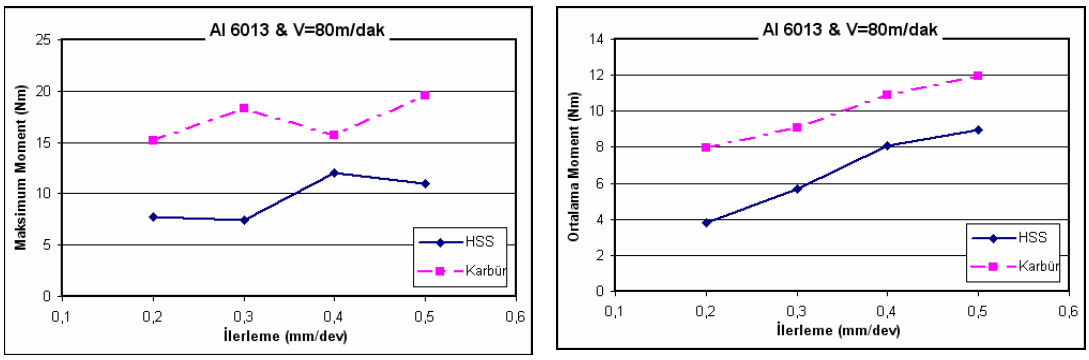
Aynı kesme şartlarında HSS ve karbür matkapların işleme performanslarının karşılaştırılabilmesi için aşağıda bazı örnek grafikler verilmiştir



(a) (b)

Şekil 6.5. 6013 malzeme ve 80m/dak kesme hızı için kesme kuvveti grafikleri
(a) Maksimum kesme kuvveti grafiği
(b) Ortalama kesme kuvveti grafiği

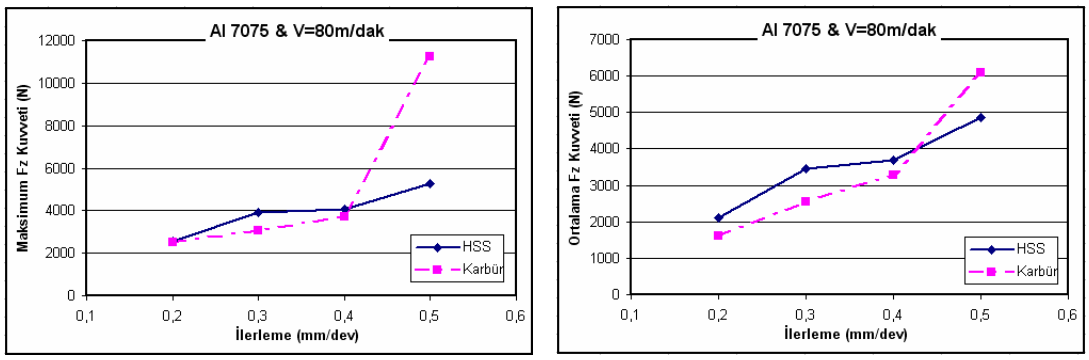
Şekil 6.5 ve Şekil 6.6'daki grafiklere bakıldığında Al 6013 malzemenin 80m/dak kesme hızında karbür ve HSS matkaplarla işlenmesi sürecinde, ilerlemenin artışı her iki takım için de kuvvet ve momentlerde artışa sebep olduğu genel olarak söylenebilir. 0.5 mm/dev ilerlemenin haricinde aynı kesme şartlarında HSS matkaplarda oluşan kuvvetler karbür matkaplara oranla daha yüksek çıktığı görülmektedir.



(a) (b)

Şekil 6.6. 6013 malzeme ve 80m/dak kesme hızı için moment grafikleri
(a) Maksimum moment grafiği
(b) Ortalama moment grafiği

Aynı kesme parametrelerine HSS takımlar dayanırken karbür takımların kırıldığı yapılan deneylerde de gözlenmiştir. Dolayısıyla bu durumdan şu sonuç çıkarılabilir: AL 6013 malzemede delik delme işleminde düşük ilerlemelerde karbür takımın kullanılması daha uygunken yüksek ilerlemelerde HSS matkaplar daha iyi sonuç vermektedir.

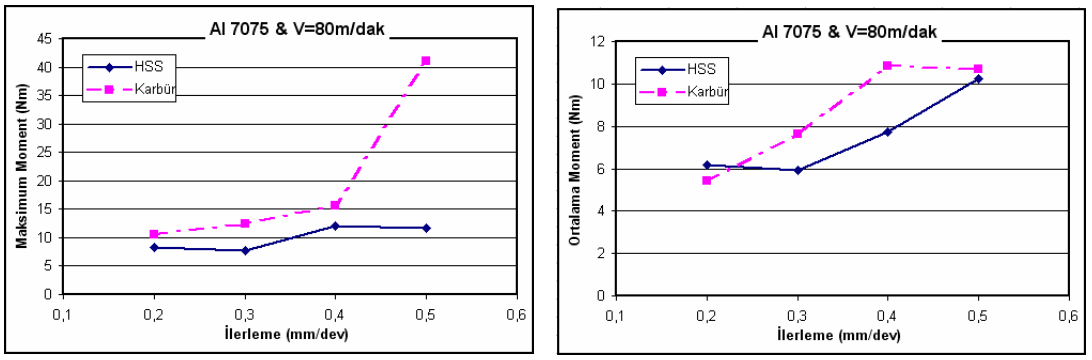


(a) (b)

Şekil 6.7. 7075 malzeme ve 80m/dak kesme hızı için kesme kuvveti grafikleri
(a) Maksimum kesme kuvveti grafiği
(b) Ortalama kesme kuvveti grafiği

Şekil 6.7 ve şekil 6.8'deki grafiklere bakıldığında Al 7075 malzemenin 80m/dak kesme hızında karbür ve HSS matkaplarla işlenmesi sürecinde, ilerlemenin artışı her

iki takım için de kesme kuvvetlerinde artışa sebep olduğu gözlenmektedir. Kesme kuvvetleri maksimum ilerleme (0.5mm/dev) haricinde HSS matkaplarda karbür matkaplara oranla daha yüksek çıktığı görülmektedir.



(a) (b)

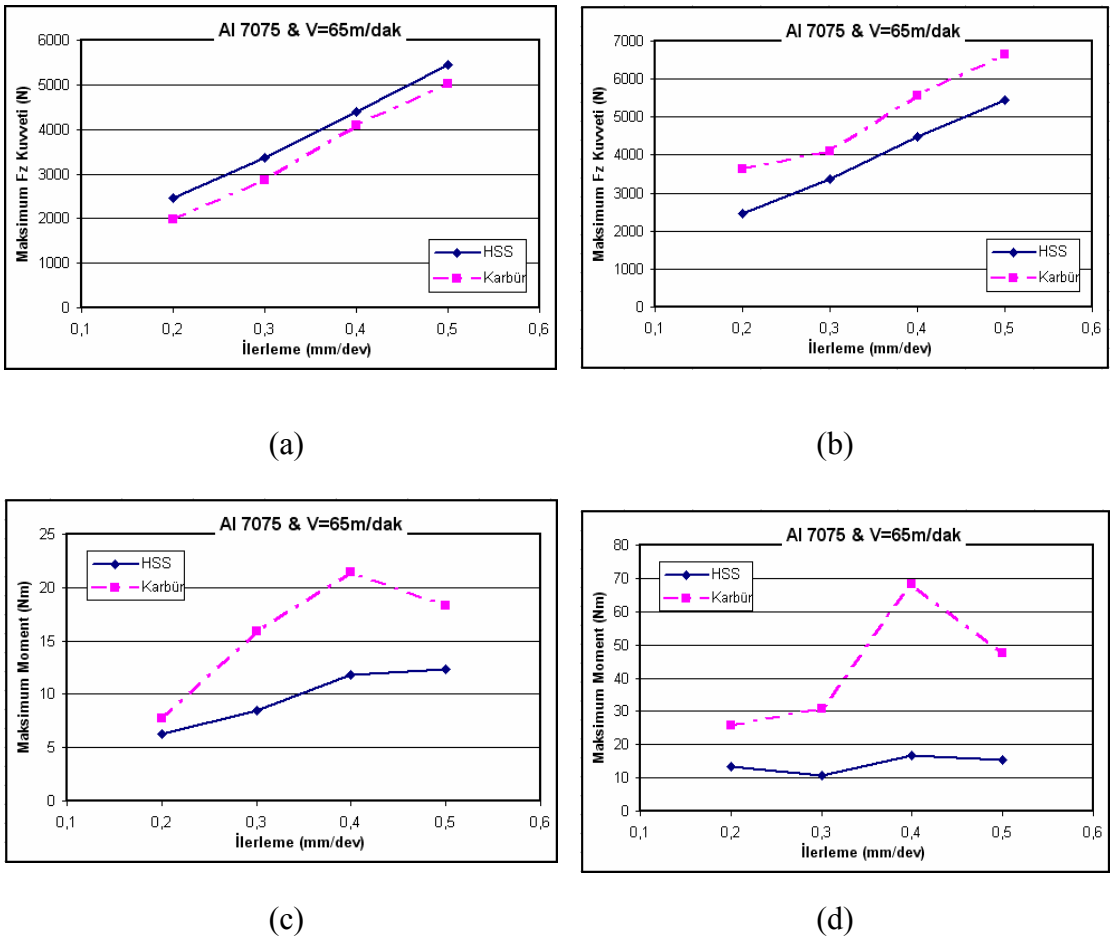
Şekil 6.8. 7075 malzeme ve 80m/dak kesme hızı için moment grafikleri
(a) Maksimum moment grafiği
(b) Ortalama moment grafiği

Maksimum momentlerde ise özellikle HSS matkaplarda ilerlemenin artışı büyük bir değişikliğe sebep olmazken; karbür matkaplarda ilerlemenin artmasıyla maksimum momentlerin daha belirgin bir artışa sahip olduğu gözlenmiştir. Aynı kesme şartlarında karbür takımda oluşan momentlerin HSS takıma oranla daha fazla olduğu, ayrıca karbür takımın maksimum ilerlemede (0.5mm/dev) kırıldığı gözlenmiştir.

Al 6013 malzeme için yapılan yorumun burada da geçerli olduğu görülmektedir. Yani AL 7075 malzemede delik delme işleminde düşük ilerlemelerde karbür takımın kullanılması daha uygunken yüksek ilerlemelerde HSS matkaplar daha iyi sonuç vermektedir. Bu durumda malzemenin kuvvet ve momentler üzerindeki etkisinin diğer faktörler kadar (kesici, ilerleme oranı, kesme hızı) etkili olmadığı yorumu yapılabilir

6.3.1. HSS ve karbür takımlardaki talaş sıkışmasının incelenmesi

EK-2 de takım malzeme ve kesme parametrelerinin her biri için ayrı kuvvet-moment ölçümleri tablo halinde verilmiştir. Ayrıca maksimum kuvvet ve momentlerdeki talaş sıkışması etkisini dikkate alan ölçümler de Ek-2'deki tabloda ayrı sütunlar halinde verilmiştir. Deneylerde talaş sıkışması göz ardı edilerek alınan maksimum kuvvet-moment ölçüm aralığı grafiği ile talaş sıkışması dikkate alınarak belirlenen ölçüm aralığı grafiği aşağıda karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.

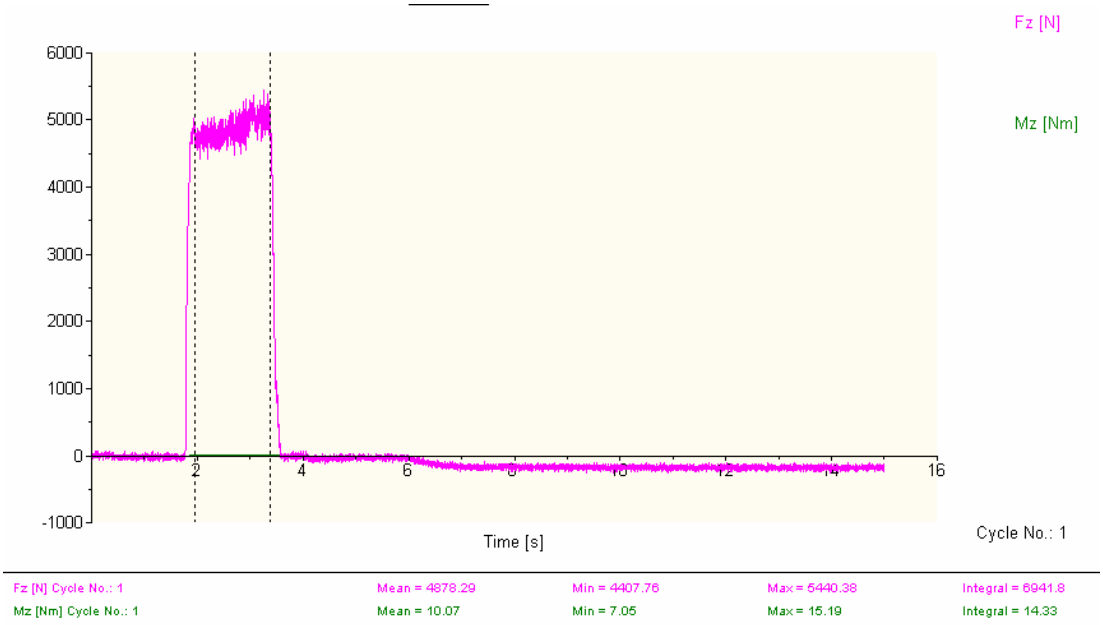


Şekil 6.9. Al 7075 malzeme ve 65m/dak kesme hızı için kuvvet ve moment grafikleri
(a) Maksimum kesme kuvveti grafiği (Talaş sıkışması göz ardı edilmiş)
(b) Maksimum kesme kuvveti grafiği (Talaş sıkışması dikkate alınmış)
(c) Maksimum moment grafiği (Talaş sıkışması göz ardı edilmiş)
(d) Maksimum moment grafiği (Talaş sıkışması dikkate alınmış)

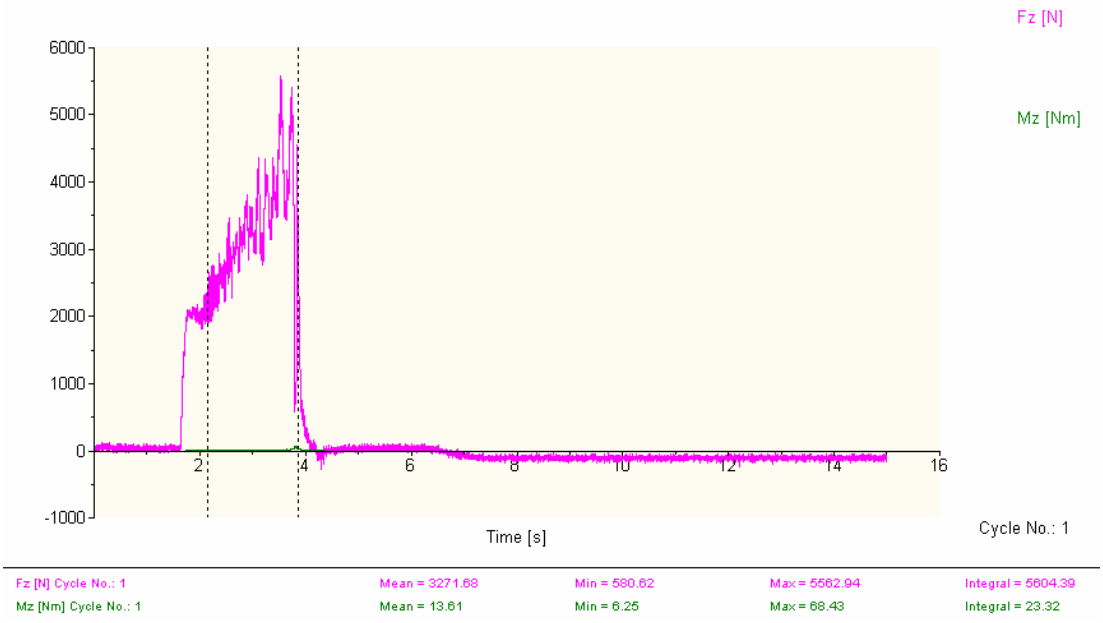
Şekil 6.9.'daki grafiklerde Al 7075 malzemelerin HSS ile karbür matkaplarla 65m/dak kesme hızında ve farklı ilerleme oranlarındaki delik deleme sürecinde takımda oluşan maksimum kuvvet ve momentlerin talaş sıkışmasına bağlı olarak değişimi verilmiştir.

Aynı kesme şartlarında HSS ve karbür matkaplarda oluşan maksimum kuvvet e momentler incelendiğinde görülüyor ki; karbür takımlardaki talaş sıkışması dikkate alınarak ölçülen maksimum kesme kuvveti ile talaş sıkışması göz ardı edilerek ölçülen maksimum kesme kuvveti arasındaki fark HSS matkaplara oranla daha fazladır. Aynı durum maksimum momentlerin ölçümünde de söz konusudur. Bu sonuçlara bakılarak karbür takımlardaki talaş sıkışması HSS takımlara oranlara daha fazla olduğu görülmektedir. Bu durum deney sürecinde takımlar üzerinde de gözlenebilmektedir.

Al 7075 malzemede 65m/dak kesme hızı ve 0.3mm/dev ilerleme oranı kullanılarak delik deleme işlemi yapılırken DynoWare programı ile zamana göre kuvvet ve momentler ölçülerek grafikleri çıkartılmıştır. Her iki matkap türü için söz konusu kesme şartlarında yapılan delik delme işlemlerinde ölçülen verilerin grafikleri aşağıdaki gibidir. Grafiklerden de açıkça görüldüğü gibi karbür matkaplardaki kuvvet ve moment değer aralığı HSS matkaplardan daha fazladır. Bu da yukarıda belirtildiği gibi HSS matkaplara oranla Karbür matkaplarda talaş sıkışmasının daha fazla olduğunu göstermektedir.



Şekil 6.10 Al 7075 malzeme ve HSS matkap ile delik delme sürecinde zamana göre kuvvet-moment grafiği



Şekil 6.11 Al 7075 malzeme ve karbür matkap ile delik delme sürecinde zamana göre kuvvet-moment grafiği

6.4. Takım Aşınması-Sıvanması ile Çıkan Talaş Şekillerinin İncelenmesi

Bu çalışmada kesici takım olarak matkap, deney numunesi malzemesi olarak alüminyum kullanıldığı için bu malzemenin işlenmesinde matkapta oluşacak muhtemel takım aşınması ve talaş tipleri hakkında aşağıda bazı bilgilere yer verilmiştir.

6.4.1. Takım aşınmasının incelenmesi

Matkap ucundaki aşınma başlangıçta yavaş zamanla ivme kazanan bir süreçtir. Matkap delme işlemine başladığı andan itibaren aşınma sürecine de girmiş olur. Aşınma ilerledikçe kesici kuvvetler artar daha fazla ısı ortaya çıkar buna bağlı olarak aşınma hızlanır. Aşınma matkapta kesici uçların yok olmasına yol açar.

Malzeme tipi, ilerleme oranı, kesme hızı gibi parametrelere bağlı olarak matkap üzerinde çeşitli aşınma tipleri oluşur. Bu aşınmalar şu şekilde sınıflandırılmıştır: Dış köşe aşınması, yan kesici kenar aşınması (flank), hudut aşınması, kavitasyon ve ekesici uç(chisel edge) aşınmasıdır. Çoğu araştırmacı dış köşe aşınmasını en etkin aşınma türü olarak saptamışlardır. Çünkü en yüksek kesme hızı kesme kenarlarının en dış köşelerinde görüldüğünden dolayı en fazla aşınma da bu bölgede oluşur. Aşınmanın artmasıyla bu bölgedeki sürtünme artar daha fazla ısı enerjisi ortaya çıkar ve bütün bunlar takımın aniden kırılmasına yol açabilecek etkiler yapar. [73]

Talaş kaldırma sırasında kesici kenar üzerindeki etkili olan yük faktörlerinin bir sonucu olarak bazı temel aşınma mekanizmaları talaş kaldırma işlemine etki eder.

Bunlar:

- Abrasyon (aşındırıcılarla) aşınması ya da abrasif aşınma,
- Difüzyon aşınması,
- Oksidasyon aşınması,
- Yorulma ile aşınma (statik ve dinamik)
- Yapışma (adezyon) ile aşınma ya da adheziv aşınmadır.

Bu aşınma çeşitli mekanizmalarından bir kaçı aynı zamanda oluşabilir veya birisi işleme hâkim olabilir.

Alüminyum gibi sünek bir malzemenin işlenmesinde takımlarda daha çok yapışma (adezyon) ile aşınma görülmektedir. Adezyon ile aşınma mekanizması, genellikle kesici kenar ile talaş arasında BUE oluşmasına sebep olur. BUE, genellikle yumuşak malzemelerin düşük kesme hızlarında işlenmesinde oluşan talaş malzemesinin kesme kenarına yapışması olayıdır. Normal yük altında iki kütle arasında bir bağıl hareket olduğu zaman yumuşak iş malzemesinin parçacıkları sert takım malzemesine yapışır. Yapışan malzeme kararsızdır ve o kesici takımdan ayrılır ve ayrılırken takım malzemesini yırtar. Dinamik bir yapısı vardır. Talaştan birbirini takip eden katmanlar talaş yüzeyine kaynaklanarak sertleşir ve kesici kenarın bir parçası halini alır. Takımın talaş yüzeyinde daha düşük işleme sıcaklıklarında oluşur. Uzun talaş ya da kısa talaş veren tüm iş parçalarının hepsinde görülebilir. BUE'nin boyut ve kararlılığına bağlı olarak, ya efektif talaş açısının pozitif olmaya başlamasından dolayı kuvvetler azalır veya yığılmış BUE takımı kesmez kılar ve kuvvetler artar. Bu süreçte BUE tabakası kopup uzaklaşabilir ve tekrar birikmeye başlayabilir veya kesici kenardan küçük parçaların kırılıp uzaklaşmasına sebep olabilir [74].

Bu çalışmada yapılan deneylerde her delik delme işlemi için farklı parametreler ve ayrı matkaplar kullanılmıştır. Bu şekilde hangi parametrenin takım aşınmasında ne tür bir etki yaptığı gözlemlenmesi amaçlanmıştır. Alüminyum yumuşak bir malzeme olduğu ve her takım tek bir işlemde kullanıldığı için takımlarda büyük aşınmalar gözlenmemiştir. Daha çok sıvanma ve özellikle talaş sıkışmasından kaynaklanan takım kırılmaları gözlenmiştir. Karbür takımla Al 7075 malzemenin delinmesinde: 0,3mm/dev ilerleme oranı ile 35m/dak kesme hızı, 0.5 mm/dev ilerleme oranı ile 65 m/dak kesme hızı ve 0.5 mm/dev ilerleme oranı ile 80 m/dak kesme hızı gibi üç farklı kesme şartında takım kırılması olmuştur. Şekil 6.12' kırılan takımların resimleri verilmiştir.



(a) (b) (c)

Şekil 6.12. Al7075 malzemenin işlenmesinde kırılan karbür takımlar
(a) 0.3 mm/dev ilerleme ve 35 m/dak kesme hızı
(b) 0.5 mm/dev ilerleme ve 65 m/dak keme hızı
(c) 0.5 mm/dev ilerleme ve 80 m/dak kesme hızı

0.3 mm/dev ilerleme ve 35 m/dak kesme hızında takımın kırılmasının sebebi muhtemelen düşük kesme hızlarının da tetiklediği BUE oluşumudur. BUE takımın kesici kenarında tahribata sebep olduğu için bu oluşum sürecinin takımı kırılmaya kadar getirebileceği daha önce de belirtilmişti. Deneylerde görülmüştür ki talaş HSS takıma oranla karbür takımdan daha zor akmaktadır. Diğer iki takım kırılmasının sebebinin de talaş akışındaki sıkıntıyla oluşan talaş sıkışmasından ve yine takım sıvanmasından kaynaklandığı söylenebilir. Şekil 6.13 de aynı kesme şartlarında HSS ve karbür takımın resimleri verilmektedir

Karbür takımlara oranla HSS takımlarda daha çok sıvanma gözlemlenmiştir (BUE). Bu sıvanmanın ilerlemenin artışına bağlı olarak arttığı gözlenmiştir. Şekil 6.13 de aynı kesme hızı ve farklı ilerlemelerde kullanılmış olan iki HSS takımda bu durum daha açık görülmektedir.



(a) (b)

Şekil 6.13. Al 6013'ü işlerken 35 m/dak kesme hızında HSS takımlardaki sıvanma
(a) 0.2 mm/dev ilerleme oranı
(b) 0.5 mm/ dev ilerleme oranı

Şekil 6.14'de Al6013 ile Al7075 malzemenin aynı kesme şartları altında HSS takımlarla işlenmesinde takım uçlarındaki aşınma incelenecek olunursa, Al7075 de kullanılan takımda sıvanmayla birlikte daha çok aşınma, Al6013 takımda hemen hemen sadece sıvanma görülmektedir.



(a) (b)

Şekil 6.14. HSS matkaplarla 50 m/dak kesme hızı ve 0,3 mm/dev ilerlemede delik delinmesi (a) Al 7075 malzeme, (b) Al6013 malzeme

6.4.2. Talaş şekillerinin incelenmesi

Talaşın şekli ve tipi yüzey pürüzlülüğü, takım ömrü ve titreşim üzerinde anlamlı bir etkiye sahiptir. Talaşlar dört kategoride sınıflandırılabilir:

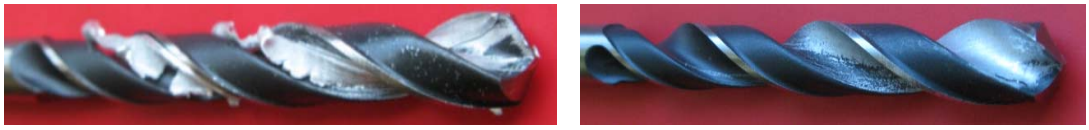
- Sürekli talaş,
- Sıvanma (BUE-Built up edge) ile birlikte sürekli talaş,
- Kesikli (segmentli) talaş,
- Süreksiz talaş.

Sürekli talaş genelde, sünek iş parçası malzemelerinin yüksek kesme hızlarında ve daha büyük talaş açısına sahip takımlarla işlenmesinde oluşmaktadır. Sürekli talaş oluşumunda çok iyi yüzey kalitesi elde edilmesine rağmen tezgâh, takımlar ve operatör büyük zararlar görmektedir.

Talaş tipini, işlenen malzeme, kullanılan takım türü, kesme parametreleri, tezgahın rijitliği, ve soğutma sıvısı etkilemektedir. Bu çalışma kuru kesme şartlarında yapıldığı ve aynı takım tezgahı kullanıldığı için soğutma sıvısı ve tezgah faktörü göz ardı edilmiştir.

Bir delik delme süreci içinde de birden çok talaş tipi oluşması söz konusudur. Bunun sebeplerini inceleyecek olursak: Bir matkaptaki talaş açısı, matkap merkezinden kesici kenar köşelerine doğru gidildikçe değiştiği için delik delme sürecinde oluşan talaş şekli tek tip değildir. Bunun diğer bir sebebi talaş akışıyla ilgilidir. Delik delmeye başlandığı sürecin ilk aşamasında talaş düzgün konik helis şeklinde çıkarken matkap delinen malzemede ilerledikçe talaş akışındaki zorlanmayla birlikte kırık talaş şeklini almaktadır.

Alüminyum malzeme HSS matkaplara az da olsa sarılmıştır, bu sarılmanın yüksek kesme hızlarında arttığı görülmüştür. Şekil 6.15 de bu dumum açıkça görülmektedir.



(a) (b)

Şekil 6.15. Al 6016 malzemenin HSS matkaplarla 0.2 mm/dev ilerlemede talaşın takıma sarılması. (a) 80 m/dak kesme hızı, (b) 35 m/ dak kesme hızı

Alüminyum malzeme karbür matkaplara, HSS uçlara göre daha fazla sarıldığı görülmüştür. Karbür takımlarla gerçekleştirilen hemen hemen her delik delme işleminde talaş takıma sarılmıştır. Şekil 6.16 da delik delme işleminden sonra talaş sarılmış bir karbür takım örneği verilmiştir.



Şekil 6.16 Karbür takımla delik delerken takıma sarılan talaşın görüntüsü

Kesme parametrelerinin talaş şekilleri üzerinde etkili olduğu daha önce vurgulanmıştı. Yapılan deneylerde de kesme hızı arttıkça çıkan talaş boyunun azaldığı gözlenmiştir. Şekil 6.17 de farklı kesme hızlarında, Al 6013 malzeme HSS takımla 0.2 mm/dev ilerleme ile delinmesinde oluşan talaşların uzunlukları bir gösterilmiştir.



(a) (b)

Şekil 6.17 Kesme hızının talaş tipine etkisi
(a) 35 m/dak kesme hızı
(b) 65 m/dak kesme hızı

Ayrıca yapılan deneylerde ilerleme arttıkça talaş kalınlıklarının arttığının talaş boyutunun azaldığı gözlenmiştir. Şekil 6.18 de farklı ilerleme oranları için Al 6013 malzeme karbür takımla 35 m/dak kesme hızıyla delinmesi sürecinde oluşan talaş tipleri gösterilmiştir.



(a) (b)

Şekil 6.18 İlerleme oranının talaş tipine etkisi
(a) 0.3 mm/dev ilerleme oranı
(b) 0.5 mm/dev ilerleme oranı

Karbür matkaplarla delik delmede talaş boyunun HSS matkaplarla delik delmeye nazaran daha uzun olduğu gözlenmiştir. 80 m/dak kesme hızında, Al6013 alüminyum malzemede HSS ve karbür matkapla delik delerken oluşan talaş tipleri şekil 6.19 da verilmiştir.



(a) (b)

Şekil 6.19 Aynı kesme şartlarında farklı matkaplar kullanılmasının talaş tipine etkisi
(a) Karbür matkapla oluşturulan talaş
(b) HSS matkapla oluşturulan talaş

Ek-3'de deney sürecinde her delik delmede kullanılan takım ve o takımın oluşturduğu talaş tiplerinden örnekler verilmiştir. Delik delme işleminde çıkan talaş kümesini temsil edebilecek örnekler alınırken nicelik ve nitelik olarak o kümeyi temsil edebilecek örneklerin alınmasına dikkat edilmiştir.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmayla endüstride çok kullanılan Alüminyum alaşımlarının talaşlı imalattaki işlenebilirliği sürecinde matkapla delik delme işlemi incelenmiştir. Literatürde yer aldığı gibi bu çalışmada yapılan deneyler sonunda da kesici takım ve kesme parametrelerinin delik delme performansında birinci derecede etkili olduğu gözlenmiştir. Delik delme performansını belirleyen kriterler olan ölçü tamlığı yüzey prüzlülüğü, (takım sıvanması-aşınmasına yada kırılmasına bağlı olan) takım ömrü ve işleme zamanı; seçilen kesici takım türü ve işleme parametrelerine bağlı olarak doğrudan değişmektedir.

Bu çalışmada yapılan deneylerde farklı iki tür alüminyum alaşımı (AI7075 ve AI6013), 8 mm çapında farklı iki tür matkap (HSS ve Karbür), dört farklı ilerleme (0,2 mm/dev, 0,3 mm/dev, 0,4 mm/dev 0,5 mm/dev) ve dört farklı kesme hızıyla (35 m/dak, 50m/dak, 65 m/dak ve 80 m/dak) yapılan delik delme işlemleri sonucunda elde dilen veriler değerlendirildiğinde ulaşılan sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir.

Fz maksimum kuvvetlerine, kesici, kesme hızı ve ilerlemenin etkili olduğu ve malzemenin ise etkili olmadığı belirlenmiştir. Mz maksimum momentlerine kesici ve ilerlemenin etkili olduğu, malzeme ile kesme hızının ise etkili olmadığı belirlenmiştir. AL 6013 malzemenin delinmesinde ortaya çıkan Fz maksimum kesme kuvveti, AL 7075'e göre daha azdır. HSS matkapla delik delmede ortaya çıkan Fz maksimum kesme kuvveti, karbür matkaplarla delik delmede ortaya çıkan kuvvetten daha fazladır. Kesme hızı arttıkça Fz maksimum kesme kuvveti de artmaktadır. İlerleme miktarı arttıkça Fz maksimum kesme kuvveti de artmaktadır. İlerleme miktarındaki artış, Fz maksimum kesme kuvvetini diğer kesme faktörlere göre daha fazla artırmıştır.

Alüminyum malzeme HSS matkaplara az da olsa sarılmıştır, bu sarılmanın yüksek kesme hızlarında arttığı görülmüştür. Alüminyum malzeme karbür matkaplara, HSS uçlara göre daha fazla sarıldığı görülmüştür.Kesme hızı arttıkça çıkan talaş boyunun

azaldığı gözlenmiştir. İlerleme arttıkça talaş kalınlıklarının arttığının talaş boyutunun azaldığı gözlenmiştir.Karbür matkaplarla delik delmede talaş boyunun HSS matkaplarla delik delmeye nazaran daha uzun olduğu gözlenmiştir. Her delik delme deneyinde kesici takım değiştirilmiştir. Her bir takımla 7012mm^3 talaş kaldırılmıştır. Alüminyum malzeme yapısı sert olmadığı ve her delik delme deneyinde kesici takım değiştirildiği için uçlarındaki aşınma fazla olmamıştır. Ancak takımlarda aşınma yerine sıvanma görülmektedir. Karbür uçlu matkaplarda malzeme sıvanması pek görülmemiştir. HSS matkaplarda delik delme sonrasında ekseriyetle alüminyum sıvanması görülmekle birlikte bu sıvanmanın ilerlemenin artışına bağlı olarak arttığı gözlenmiştir.

Bu çalışmanın sonuçlarına göre şu önerilerde bulunulabilir.

Delik delme sürecinde performansı etkileyen bir diğer faktör işleme sürecinde takımda ve malzemede meydana gelen ısı ve titreşimlerdir. Yapılan deneylerde malzemede oluşan sıcaklık ve titreşimler ölçülmüş fakat hem tez süresinin hem de kapsamın sınırlılığı sebebiyle ölçülen sonuçlar bu tezde işlenememiştir. Bu konu çerçevesinde bundan sonra yapılacak olan benzer çalışmalarda titreşim ve ısının da dikkate alınarak delik delme performansının incelenmesi daha faydalı olacaktır.

Alüminyum malzemenin işlenmesinde bu çalışmada kullanılan kesme hızlarından daha yüksek kesme hızları ile çalışma yapmak deneylerde kullanılan tezgah kapasitesinin sınırlılığından dolayı mümkün olmamıştır. Deneylerde 3500 dev/dak değeri aşıldığında tezgahta titreşim artmış ve takım tutucuya monte edilen dinamometrede aşınmalara sebep olmaya başlamıştır. Aynı malzemeyi daha yüksek kesme hızlar ile işleyebilmek için kapasitesi 5000 dev /dak üzerinde tezgahların kullanılması alınan sonuçlardan yola çıkarak önerilebilir. Yine yüksek kesme hızlarını deneyebilmek için çapı daha büyük bir makta ile benzer kapasitedeki bir tezgahta deney yapılabilir.

Deneysel çalışma öncesi yapılan literatür araştırmaları ve deneylerden alınan sonuçlar göstermektedir ki; maliyeti HSS matkaplardan daha fazla olan karbür takımlarla bazı kesme parametrelerinde daha olumsuz sonuçlar gözlenmiştir. Alüminyum gibi sünek bir malzemenin bu parametrelerde karbür takımla işlenmesinde daha fazla talaş sıkışması takım kırılması görülmektedir. Buna karşılık olarak HSS matkaplarda yüksek ilerleme ve kesme hızlarında takım sıvanmasından kaynaklanan kesme zorluğu buna bağlı olarak titreşimin ve kuvvetlerin artışı; ölçü tamlığı ve yüzey pürüzlülüğünü etkilemektedir. Buna bağlı olarak düşük kesme hızlarında HSS takımın kullanılması bu çalışmadan elde edilen sonuçlar ışığında önerilebilir.

KAYNAKLAR

1. Şeker, U., "Talaşlı İmalatta Takım Tasarımı", **G.Ü.** ***Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Ders Notları*****,** 39-45, Ankara (2000).

2. Oxford, JR., Rochester, M. "On The Drilling of Metals I- Basic Mechanics of Procces", ***The American Society of Mechanical Engineers*** 53-A-167 (1953).

3. Oxford, JR., Shaw, M.C., "On The Drilling Of Metals II- The Torque and Thrust in Drilling", ***The American Society of Mechanical Engineers*****,** 3:68-127 (1955).

4. Galloway, D.F., Leicestershire, "Some Experiments on the influence of Various Factor on Drilling Performance", ***The American Society of Mechanical Engineers*****,** 56-SA-18 (1956).

5. Eggeleston, D.M., Herzog, R., Thomson, E.G., "Observation on the Angle Relationship in Metal Cutting", ***The American Society of Mechanical Engineers*****,** 58-A-138 (1959).

6. Haggrty, W.A., "Effect of Point Geometry and Dimentional Symmetry on Drill Performance", ***Int. J. Mach. Tool Des. Res*****.,** 1:41-58 (1961).

7. Pal, A.K., Bhattacharvya, A., Sen, C.C., "İnvestigotion of the Torgue in Drilling Ductile Materials", ***Int. J. Mach. Tool Des. Res.*****,** 4:205-221 (1965).

8. Williams, R.A., "Dynamıc Geometry of a Twist Drill", ***Int. J. Mach. Tool Des. Res.*****,** 7:253-267 (1969).

9. Fujıl, S., Devrıes, M.F., Wu, S.M., "An Analysis of Drill Geometry for Optimum Drill Desing by Computer", ***Journal of Engineering For Industry*****,** 70(5) (1970).

10. Fujıı, S., Devrıes, M.F., Wu, S.M., "Analyses of Chisel Edge and the Effect of the d-Theta Relationship on Drilling Point Geometry", ***Journal of Engineering For Industry*****,** 1**:**12-70 (1971).

11. Armerago, E.J.A., Cheng, O.Y., "Drilling With Flat Rake Face and Conventional Twist Drill-I. Theorretical İnvestigation", **Int*****. J. Mach. Tool Des. Res*****.,** 12:17-35 (1972).

12. Armerago, E.J.A., Cheng, O.Y., "Drilling With Flat Rake Face and Canventional Twist Drill-II. Experimental Investigation", ***Int. J. Mach. Tool Des. Res*****.,** 12:37-54 (1972).

13. Yuzo, S., Kinji, S., Makota, O., Tsuneo, S., "Drilling machinibity of wrought pure aluminium for industrial use", ***J. Jap. Inst. Light Met.***, 23(2):72-77 (1973).

14. Williams, R.A., "A Study of Drillng Process", ***Journal of Engineering For Industry*****,** 70-WA(6) (1974).

15. Watson, A.R., Williams, R.A., "Spesification of the Cutting Geometry of Single Point Tools and Twist Drills Using the ISO System", ***Int. J. Mach. Tool Des. Res*****.,** 17:103-116 (1977).

16. Subramanian, K., Cook, N.H., "Sensing of drill wear and prediction of drill life", ***Journal of Engineering for Industry***, 5:295-301 (1977).

17. Wiriyacosol, S., Armarego, EJA., "Thrust and torque predictionin drilling from a cutting mechanics approch", ***Cırp Annales***., 28(1):87-91(1979).

18. Tsai, W.D., Wu, S.M., "A Mathematical Model for Drill Point Design and Grinding", ***Journal of Engineering For Industry*****,** 78-WA(35)(1979).

19. Billau, D.J., McGoldrick, P.F., "An Analysis of the Geometry of the Priphery of the Flank Face of Twist Drills Ground with Cylindirical and Conical Forms", ***Int. J. Mach. Tool Des. Res.*****,** 19:69-86 (1979).

20. Radhakrishnan, T., Wu, S.M., "On-Line Hole Quality Evaluation for Drilling Composite Material Using Dynamic Data" , ***Journal of Engineering For Industry*****,** 80-WA(16) (1981).

21. Kaldor, S., Lenz, E., "Drill Point Geometry and Optimization", ***The American Society of Mechanical Engineers,*** 81-WA(18) (1982).

22. Braun S., Lenz E., Wu C.L., "Signature analysis applied to drilling" Journal of Mechanical Design, 104(4) (1982).

23. Thangaraj, A., Wright, P.K., Nissle, M., "New Experiments on the Temperature Distribution in Drilling", ***Journal of Engneering Materials and Technology,*** 106:242-247 (1984).

24. Watson, A.R., "Drill Model for Cutting Lip and Chisel Edge and Comparison of Experimental and Predicted Results. I –Initial Cutting Lip Model", ***Int. J. Mach. Tool Des. Res.*****,** 25(4):347-365 (1985).

25. Watson, A.R., "Drill Model for Cutting Lip and Chisel Edge and Comparison of Experimental and Predicted Results. II-Revised Cutting Lip Model", ***Int. J. Mach. Tool Des. Res.*****,** 25(4):367-376 (1985).

26. Constantinides, N., Binnett, S., "An İnvestigation Method for the On-Line Estimation of Tool Wear", ***Int. J. Mach. Tool Des. Res.,*** 27(2):225-237 (1987).

27. Stephenson, D.A., Wu, S.M. "Computer models for the mechanics of three-dimensional cutting-part II: Results for oblique end turning and drilling", ***Journal of Engineering for Industry***, 110(2): 38-43 (1988).

28. Thangaraj, A., Wright P.K., "Computer-assisted predicted of drill-failure using in-process measurements of thrust force", ***Journal of Engineering for Industry***, 110(4) (1988).

29. Liu, T.I., Wu, S. M., "On-line detection of drill wear", ***Journal of Engineering For Industry*** , 112(8) (1990).

30. *Rubenstein, C., "The Torque and Thrust Force in Twiist Drilling – I.Theory", ***Int. J. Mach. Tool Des. Manufact.,*** 31(4):481-489 (1991).

31. Stephenson, D.A., Agapiou, J.S., "Calculation of main cutting edge forces and torque for drills with arbitrary point geometries", ***Int. J. Mach. Tools Manufact.*** 32(4):521-538, (1992).

32. Ogawa, M, Inose, M., Arai, M., Saga T., "Micro drilling of 5056 wrought aluminum alloy", ***Journal of Japan Institute of Light Metals (Japan),*** 44(9):486-491 (1994).

33. Haung, H.T., Weng, C., Chen, C.K., "Analysis of Clearance and Rake Angles Along Cutting Edge for Multifacet Drills (MFD)", ***Journal of Engineering For Industry,*** 116(8): 8-16, (1994).

34. Selvam**,** S.V.M**.,** Sujutha, C., **"**Twist Drill Deformation and Optimum Drill Geometry" ***Indian Instuty and Technology, Computer & Structure*****,** 57(5): 903-914 (1995).

35. Lin, C., Kang, S.K., Ehmann, K.H., "Helical Micro-Drill Point Design and Grinding", ***Journal of Engineering for Industry*****,** 117: 277-287 (1995).

36. Routio, M., Saynatjoki, M., "Tool wear and failure in the drilling of stainless steel" ***Journal of Materials Processing Technology***, 52: 35-43 (1995).

37. Salama, A.S., Elsawy, A.H., "The dynamic geometry of a twist drill point" ***Journal of Materials Processing Technology***, 56:45-53 (1996).

38. Chen, W.C., Fuh, K.H., Wu, C.F., Chang, B.R., "Design Optimization of a Split-Point Drill by Force Analysis", ***Journal of Materials Processing Technology*****,** (58):314-322 (1996).

39. Shin, Y.,C., Waters, A.J., "A New Procedure to Determine Instantaneous Cutting Force Coefficients for Machining Force Prediction", ***Int. J. Tools Manufact.,*** (37):1337-1351 (1997).

40. Stephenson, D., A., Bandyopadhyay, P., "Pocess-Independent Force haracterization for Metal Cutting Simulation", ***Journal Engineering Materials and Technology,*** 119 : 86-94 (1997).

41. Ren, K., Ni J., "Analyses of drill flute and cutting angles", ***Int. J. Adv. Manuf. Technol.***, 15:546-553 (1999).

42. Choudhury, S.K., Raju G., "Investigation into crater wear in drilling", ***International Journal of Machine Tools & Manufacture***, 40: 887-898 (2000).

43. Kalidas,S.,Devor,R.E.,Kapoor,S.G.,"Experimental investigation of the effect of drill coating on hole quality under dry and wet drilling conditions", ***Surface and Coating Technology*** ,148:117-128 (2001).

44. Kim, H.Y., Ahn, J.H., Kim, S.H., Takata, S., "Real-time drill wear estimation based on spindle motor power", ***Journal of materials Processing Technology***,124:267-273 (2002).

45. Kelly, J.F., Cotterell, M.G., "Minimal lubrication machining of aluminium alloys", ***Journal of Materials Processing Technology***, 120: 327-334 (2002).

46. Mellinger J.C., Ozdoganlar O.B., Devor R.E., Kapoor S.G., "Modelling chip-evacuation forces and prediction of chip-clogging in drilling", ***Journal of Manufacturing Science and Engineering,*** 124 (2002).

47. Jantunen, E., "A summary of methods applied to cool condition monitoring in drilling", ***International Journal of Machine Tool & Manufacture***, 42: 997-1010 (2002).

48. Haris, S.G., Doyle, E.D., Vlasveld, A.C., Audy, J., Quick D., "A study of the wear mechanisms of $Ti_{1-x}Al_xN$ and $Ti_{1-x-y}Al_xCr_yN$ coated high-speed steel twist under dry machining conditions", ***Wear***, 254:723-734 (2003).

49. Wang,L-J.,Wang,X.,Zhao,H-F.,"Effect of the cutting ratio on cutting forces and the drill life in vibration drilling", ***Int. J. Adv. Manufacturing Technology*****,** 24:865-872 (2004).

50. Ertunc, H.M., Oysu, C., "Drill Wear monitoring using cutting force signals", ***Mechatronics***, 14: 533-548 (2004).

51. Hsieh, J-F.,"Mathematical model for helical drill point", ***International Journal of Machine Tools & Manufacture,*** 45: 967-977 (2005).

52. Vekteris, V., Jurevichius, M., Trumpa, A., "Mechatronical system of drill testing", **Measurement** ,37: 103-107 (2005).

53. Kim, K.W., Ahn, T-K., ”Force prediction and stres analysis of a twist drill from tool geometry and cutting conditions”, ***International Journal of Precision Engineering and Manufacturing***, 6(1) (2005).

54. Pena, B., Aramendi, G., Rivero, A., Lacella, L.L.,”Monitoring of drilling for burr detection using spindle torque”, ***International Journal Of Machine Tools & Manufacture,*** 45: 1614-1621 (2005).

55. Pirtini M., Lazoglu I., “Forces and hole quality in drilling”, ***International Journal of Machine Tools & Manufacture*****,** 45: 1271-1281 (2005).

56. Hamade, R.F., Seif, C.Y., Ismail, F.,”Extracting cutting force coefficients from drilling experiments”, ***International Journal of Machine Tools & Manufacture***, 46: 387-396 (2006).

57. Chern, G-L., Lee, H-J., ”Using workpiece vibration cutting for micro-drilling”, **Int. J. Adv. Manufacturing Techology** , 27:688-692(2006).

58. Sanjay, C., Jyothi, C., “A study of surface roughness in drilling using mathematical analysis and neural networks”, ***Int. J. Adv. Manufacturing Technology*****,** 29:846-852 (2006).

59. Fermandes, M., Cook, C., “Drilling of carbon composites using a one shot drill bit. Part I: Five stage representation of drilling and factors affecting maximum force and torque”, ***International Journal of Machine Tools & Manufacture*****,** 46: 70-75 (2006).

60. Bagci, E.,Özçelik, B., “Finite element and experimental investigation of temperature changes on a twist drill in sequential dry drilling”, ***Int. J. Adv. Manufacturing Technol.***, 28:680-687 (2006).

61. Rivero, A., Aramendi, G., Herranz, S., Lacalle, L.N.L., “An experimental investigation of he effect of coating and cutting parameters on the dry performance of aluminium alloys”, ***Int. J. Adv. Manuf. Technol.***, 28:1-11 (2006)

62. Akkurt, M., “Talaş kaldırma yöntemleri ve takım tezgahları”, ***Birsen Yayınevi***, İstanbul 23-90, (1998).

63. Mıstıkoğlu, S., “Torna Tezgahlarında Kesici Kaleme Gelen Kuvvet ve Gerilmelerin Bilgisayar Desteğiyle Ölçülerek Denetimi, Simülasyonu Ve HSS Kalemlerinin Optimum Profilinin Belirlenmesi”, Doktora Tezi ***Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Adana, 47-56 (1995).

64. Taşgetiren, S., Aslantaş, K., “Tornada kesme için yeni bir sert metal uç tutucusu tasarımı”, ***3. GAP Mühendislik Kongresi***, Şanlıurfa,150-157 (2000).

65. Mendi, F., "Takım tezgahları teori ve hesapları", ***ISBN 975-96008***, Ankara, 5-40, (1996).

66. Şahin,Y., "Kesici Takım Geometrisi ve Seçimi", **Talaş Kaldırma Prensipleri,** Cilt 1 Ankara (2000).

67. Günay, M., "Talaş Kaldırma İşlemlerinde Kesici Takım Talaş Açısının Kesme Kuvvetlerine Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, ***Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Ankara, (2003).

68. Dönertaş, M. A., "Freze Tezgahında Gerilim Ölçme Esaslı, Bilgisayar Bağlantılı Dinamometrenin Tasarımı ve İmalatı", Doktora Tezi, ***Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Ankara, (1999).

69. Wronko, A., Huang, J.,Altintaş Y., "Piezoelectric tool actuator for precision machiningon conventional CNC turning centers", ***Precision Engineering***, 27: 335–345 (2003).

70. Erdoğan, M., "Demir Dışı Alaşımlar", ***Mühendislik Alaşımlarının Yapı ve Özellikleri*****,** Cilt1

71. Mills, B., Redford., A.H., "Mechanibility of Engineering Metarials" NewYork, USA (1983).

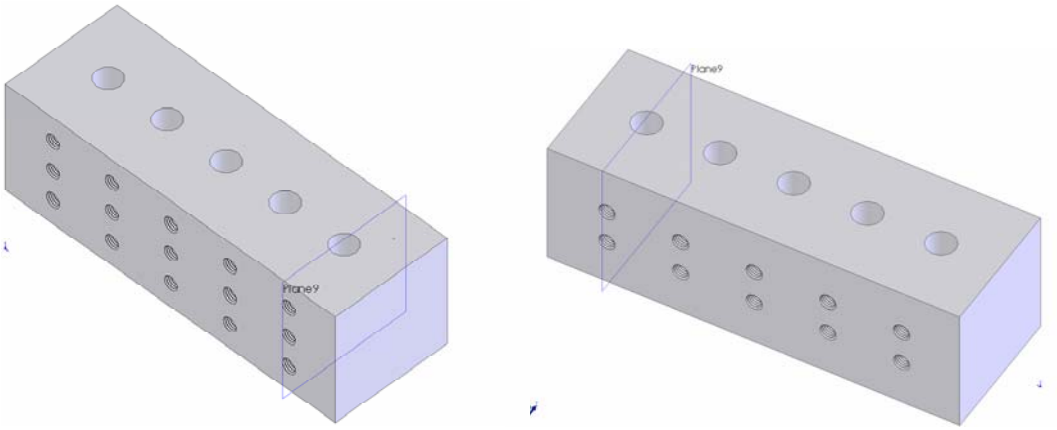
72. Aluminyum, "Farication and Finishing, American Society for Metals", Park, Ohio (1967).

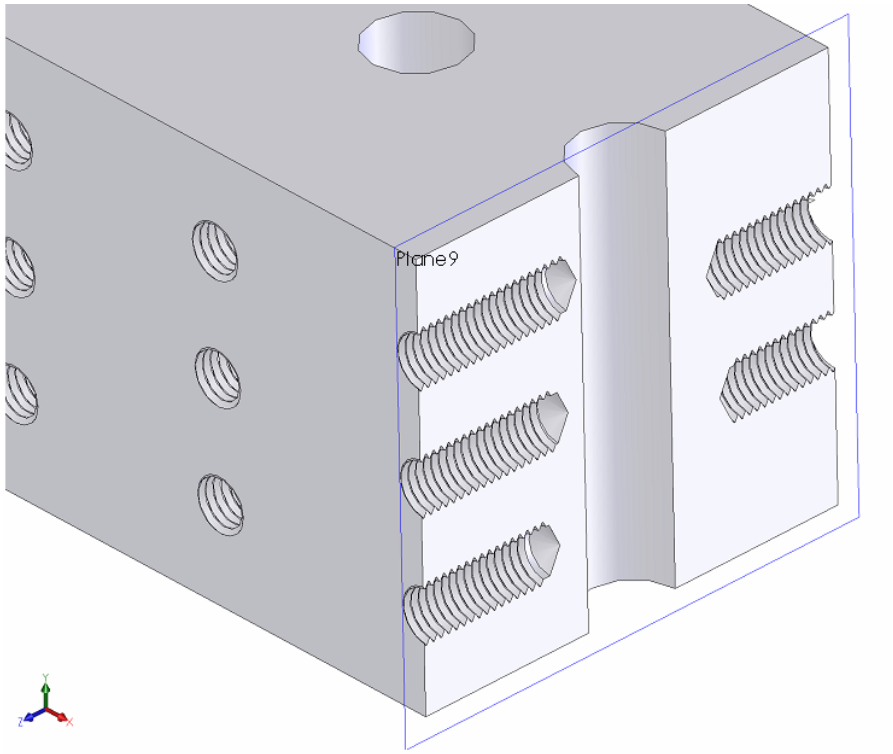
73. Kanai, M., Kanda, Y., "Statistical Charasteristics of Drill Wear and Drill Life for The Standarsized Performance Tests" ***CIRP Annual***, 61-66 (1988).

74. Lee, E.H. and Shaffer, B.W., "Theory of Plasticity Applied to the Problem of Machining", ***Journal of Applied Mechanics,*** 18: 405-413 (1951).

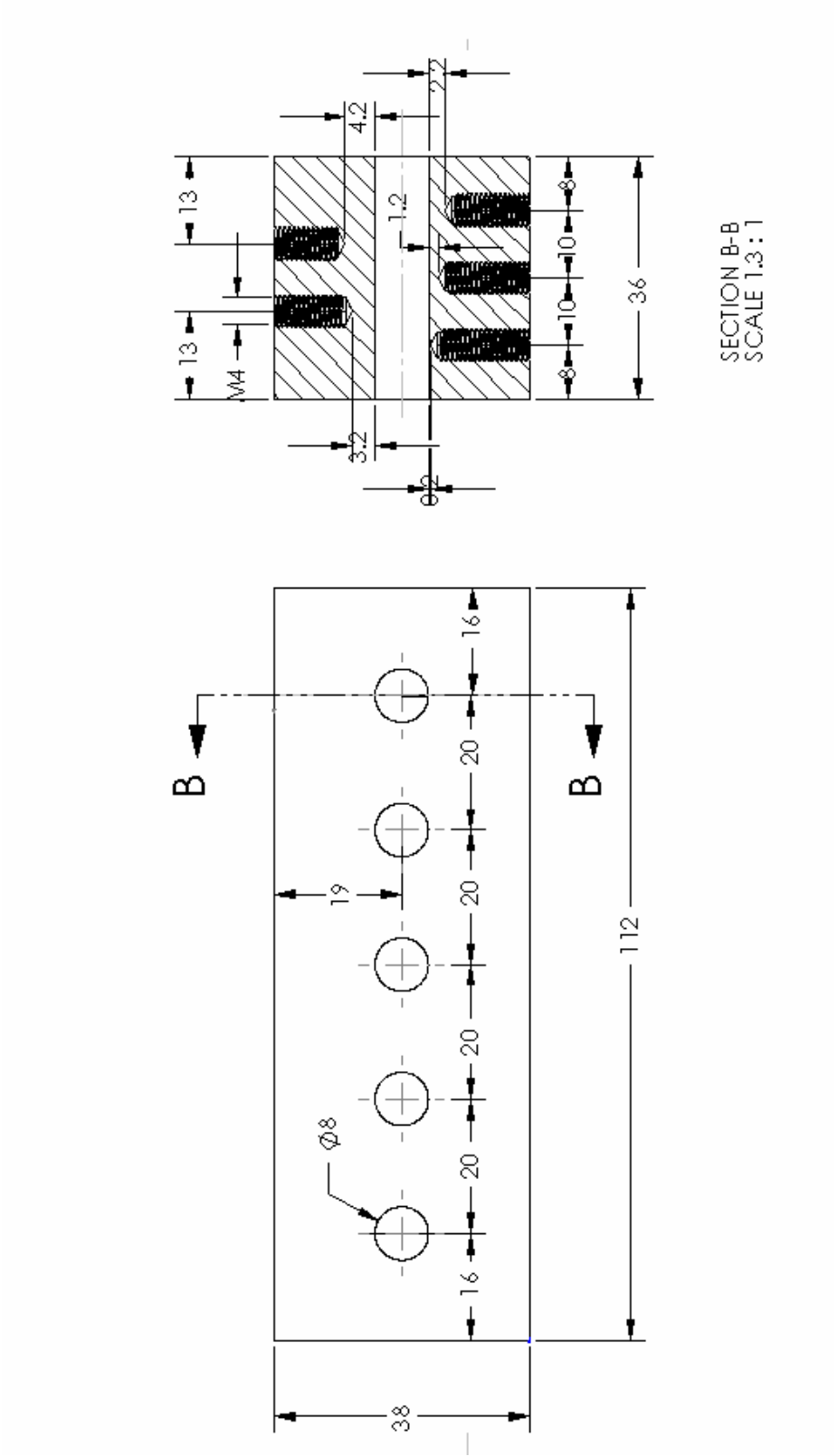
EKLER

EK-1 Deney numunesinin çizilerek ölçülendirilmesi





EK-1 (Devam) Deney numunesinin çizilerek ölçülendirilmesi



EK-2 Malzeme, takım ve kesme parametrelerine bağlı olarak deneylerden elde edilen kuvvet ve moment verileri

8mm	Karbür	AL 6013				Talaş Sıkışması		
v (m/dk)	f (mm/dev)	Fmax (N)	Fmean (N)	Mmax (Nm)	Mmean (Nm)	Fzmax (N)	Mmax (Nm)	
35	0.2	1639.94	1277.8	12.06	4.97	1888.7	16.25	
35	0.3	2792.69	1926.5	13.6	9.25	4434.5	29.53	
35	0.4	3166.43	2414	16.71	10.12	3920	25.86	
35	0.5	3623.89	2839.1	14.57	11.41	4315.5	21.09	
50	0.2	1971.06	1461.6	10.64	7.64	4315.5	29.55	
50	0.3	3282.91	2191.85	11.08	8.42	3373.9	18.83	
50	0.4	3803.47	3115.28	11.26	9.77	4193	22.71	
50	0.5	4609.19	3767.51	13.59	11.54	5312.97	35.9	
65	0.2	2488.12	1744.73	13.12	6.17	4632.3	24.77	
65	0.3	3622.67	2627.66	17.27	9.11	4453.9	29.17	
65	0.4	3620.25	3158.36	17.22	10.32	4058.3	24.6	
65	0.5	4984.13	3729.06	15.96	10.74	5225.6	26.3	
80	0.2	2699.26	2079.8	15.14	7.95	4072.9	21.94	
80	0.3	3393.34	2622.5	18.34	9.09	3649.4	43.2	
80	0.4	4172.35	3432.2	15.73	10.9	4577.6	23.23	
80	0.5	4587.34	4055.55	19.61	11.96	5745	31.5	
8mm	Karbür	AL 7075				Talaş Sıkışması		
v (m/dk)	f (mm/dev)	Fmax (N)	Fmean (N)	Mmax (Nm)	Mmean (Nm)	Fzmax (N)	Mmax (Nm)	Kırık
35	0.2	1730.95	1195.18	11.92	4.51	3528	41.72	
35	0.3	13498.7	10961.8	50.06	19.24	13498.7	50.06	Kırık
35	0.4	2462.64	2117.19	12.82	8.8	4057.1	28.04	
35	0.5	3541.37	2930.66	21.17	15.48	5112.8	39.36	
50	0.2	1279.55	1065.11	6.53	3.75	1527.1	10.33	
50	0.3	2921.31	1962.45	13.79	9.12	5485.3	28.36	
50	0.4	3123.96	2455.05	13.95	9.96	6241.2	34.14	
50	0.5	5175.85	3565.24	16.16	12.42	6865	44.72	
65	0.2	1976.06	1442.3	7.69	4.25	3638.5	25.71	
65	0.3	2860.64	2083.09	15.95	7.12	4110.5	30.7	
65	0.4	4092.27	3225.28	21.43	10.56	5563	68.43	
65	0.5	5019.32	3887.82	18.26	13.07	6652.6	47.63	
80	0.2	2501.47	1601.54	10.53	5.4	4037.6	22.23	
80	0.3	3053.58	2559.91	12.47	7.64	3622.7	21.11	
80	0.4	3725.81	3273.32	15.56	10.84	4250	23	
80	0.5	11226	6101.5	41.14	10.71	11226	41.14	Kırık

EK-2 (Devam) Malzeme, takım ve kesme parametrelerine bağlı olarak deneylerden elde edilen kuvvet ve moment verileri

8mm	HSS	AL 6013				Talaş	Sıkışması
v (m/dk)	f (mm/dev)	Fmax (N)	Fmean (N)	Mmax (Nm)	Mmean (Nm)	Fzmax (N)	Mmax (Nm)
35	0.2	2273.35	2036.9	8.46	4.11	2449.29	13
35	0.3	2949.2	2608.8	7.76	5.53	2949.2	8.52
35	0.4	4105.6	3655.4	13.23	8.29	4105.6	14.99
35	0.5	4605.5	4127.32	13.61	10.94	4605.5	16.73
50	0.2	2489.34	2096.2	9	4.79	2599.76	12.17
50	0.3	3104.54	2847.6	8.46	5.87	3196.76	12.54
50	0.4	3592.3	3216.9	10.89	7.55	3592.3	17.98
50	0.5	4631	4172.4	12.01	10.25	4631	14.1
65	0.2	2517.25	2173.1	8.21	3.95	2809.68	15.24
65	0.3	3233.2	2830.4	8.26	6.05	3223.2	10.4
65	0.4	3915.1	3487.3	10.47	8.15	3915.1	12.99
65	0.5	5024.2	4564.3	11.86	9.87	5024.2	15.22
80	0.2	2701.7	2212.4	7.72	3.81	2701.7	10.08
80	0.3	3187	2830	7.39	5.66	3187	10.63
80	0.4	3961.22	3575.1	12.06	8.09	4256.08	14.82
80	0.5	4406.5	3942.4	10.94	8.95	4406.5	12.91
8mm	HSS	AL 7075				Talaş	Sıkışması
v (m/dk)	f (mm/dev)	Fmax (N)	Fmean (N)	Mmax (Nm)	Mmean (Nm)	Fzmax (N)	Mmax (Nm)
35	0.2	2634.6	2332.6	9.87	7.28	2634.6	13.39
35	0.3	2974.56	2780.2	10.3	7.95	3161.7	14.31
35	0.4	4486.63	4030	15.97	10.01	4718.9	21.94
35	0.5	5073.93	4722.2	13.16	11.79	5308.1	22.79
50	0.2	1973.63	1766.03	5.8	3.59	2031.8	7.13
50	0.3	3377.56	3022.69	10.86	7.75	3610.5	16.78
50	0.4	4867.01	4204.79	15.13	10.55	5226	18.61
50	0.5	4873.93	4534.02	16	10.96	5106.7	16
65	0.2	2460.1	2070.4	6.32	4.84	2460.1	13.27
65	0.3	3371.5	2961	8.49	6.31	3371.5	10.56
65	0.4	4382.28	3995.1	11.77	8.54	4492.7	16.66
65	0.5	5440.4	4878.3	12.36	10.07	5440.4	15.37
80	0.2	2584.8	2097.9	8.31	6.18	2584.8	12.6
80	0.3	3916.3	3470.1	7.76	5.92	3916.3	10.89
80	0.4	4061.9	3702.2	11.97	7.74	4061.9	11.97
80	0.5	5293.56	4847.9	11.62	10.26	5395.5	15.92

EK-3 Deney sürecinde kullanılan takımlar ve çıkan talaş resimleri





1) AL 6013 malzemede 35 m/dak kesme hızı ve 0,2 mm/dev ilerleme ile delik delmede kullanılan 8 mm çaplı HSS matkap ve çıkan talaş örneği





2) AL 6013 malzemede 35 m/dak kesme hızı ve 0,3 mm/dev ilerleme ile delik delmede kullanılan 8 mm çaplı HSS matkap





3) AL 6013 malzemede 35 m/dak kesme hızı ve 0,4 mm/dev ilerleme ile delik delmede kullanılan 8 mm çaplı HSS matkap

EK-3 (Devam) Deney sürecinde kullanılan takımlar ve çıkan talaş resimleri





4) AL 6013 malzemede 35 m/dak kesme hızı ve 0,5 mm/dev ilerleme ile delik delmede kullanılan 8 mm çaplı HSS matkap





5) AL 6013 malzemede 50 m/dak kesme hızı ve 0,2 mm/dev ilerleme ile delik delmede kullanılan 8 mm çaplı HSS matkap





5) AL 6013 malzemede 50 m/dak kesme hızı ve 0,3 mm/dev ilerleme ile delik delmede kullanılan 8 mm çaplı HSS matkap

EK-3 (Devam) Deney sürecinde kullanılan takımlar ve çıkan talaş resimleri





7) AL 6013 malzemede 50 m/dak kesme hızı ve 0,4 mm/dev ilerleme ile delik delmede kullanılan 8 mm çaplı HSS matkap





8) AL 6013 malzemede 50 m/dak kesme hızı ve 0,5 mm/dev ilerleme ile delik delmede kullanılan 8 mm çaplı HSS matkap





9) AL 6013 malzemede 65 m/dak kesme hızı ve 0,2 mm/dev ilerleme ile delik delmede kullanılan 8 mm çaplı HSS matkap

EK-3 (Devam) Deney sürecinde kullanılan takımlar ve çıkan talaş resimleri





10) AL 6013 malzemede 65 m/dak kesme hızı ve 0,3 mm/dev ilerleme ile delik delmede kullanılan 8 mm çaplı HSS matkap





11) AL 6013 malzemede 65 m/dak kesme hızı ve 0,4 mm/dev ilerleme ile delik delmede kullanılan 8 mm çaplı HSS matkap





12) AL 6013 malzemede 65 m/dak kesme hızı ve 0,5 mm/dev ilerleme ile delik delmede kullanılan 8 mm çaplı HSS matkap

EK-3 (Devamı) Deney sürecinde kullanılan takımlar ve çıkan talaş resimleri





13) AL 6013 malzemede 80 m/dak kesme hızı ve 0,2 mm/dev ilerleme ile delik delmede kullanılan 8 mm çaplı HSS matkap





14) AL 6013 malzemede 80 m/dak kesme hızı ve 0,3 mm/dev ilerleme ile delik delmede kullanılan 8 mm çaplı HSS matkap





15) AL 6013 malzemede 80 m/dak kesme hızı ve 0,4 mm/dev ilerleme ile delik delmede kullanılan 8 mm çaplı HSS matkap

EK-3 (Devam) Deney sürecinde kullanılan takımlar ve çıkan talaş resimleri



16) AL 6013 malzemede 80 m/dak kesme hızı ve 0,5 mm/dev ilerleme ile delik delmede kullanılan 8 mm çaplı HSS matkap



17) AL 6013 malzemede 35 m/dak kesme hızı ve 0,2 mm/dev ilerleme ile delik delmede kullanılan 8 mm çaplı karbür matkap



18) AL 6013 malzemede 35 m/dak kesme hızı ve 0,3 mm/dev ilerleme ile delik delmede kullanılan 8 mm çaplı karbür matkap

EK-3 (Devam) Deney sürecinde kullanılan takımlar ve çıkan talaş resimleri



19) AL 6013 malzemede 35 m/dak kesme hızı ve 0,4 mm/dev ilerleme ile delik delmede kullanılan 8 mm çaplı karbür matkap



20) AL 6013 malzemede 35 m/dak kesme hızı ve 0,5 mm/dev ilerleme ile delik delmede kullanılan 8 mm çaplı karbür matkap



21) AL 6013 malzemede 50 m/dak kesme hızı ve 0,2 mm/dev ilerleme ile delik delmede kullanılan 8 mm çaplı karbür matkap

EK-3 (Devam) Deney sürecinde kullanılan takımlar ve çıkan talaş resimleri



22) AL 6013 malzemede 50 m/dak kesme hızı ve 0,3 mm/dev ilerleme ile delik delmede kullanılan 8 mm çaplı karbür matkap



23) AL 6013 malzemede 50 m/dak kesme hızı ve 0,4 mm/dev ilerleme ile delik delmede kullanılan 8 mm çaplı karbür matkap



24) AL 6013 malzemede 50 m/dak kesme hızı ve 0,5 mm/dev ilerleme ile delik delmede kullanılan 8 mm çaplı karbür matkap

EK-3 (Devam) Deney sürecinde kullanılan takımlar ve çıkan talaş resimleri



25) AL 6013 malzemede 65 m/dak kesme hızı ve 0,2 mm/dev ilerleme ile delik delmede kullanılan 8 mm çaplı karbür matkap



26) AL 6013 malzemede 65 m/dak kesme hızı ve 0,3 mm/dev ilerleme ile delik delmede kullanılan 8 mm çaplı karbür matkap



27) AL 6013 malzemede 65 m/dak kesme hızı ve 0,4 mm/dev ilerleme ile delik delmede kullanılan 8 mm çaplı karbür matkap

EK-3 (Devam) Deney sürecinde kullanılan takımlar ve çıkan talaş resimleri



28) AL 6013 malzemede 65 m/dak kesme hızı ve 0,5 mm/dev ilerleme ile delik delmede kullanılan 8 mm çaplı karbür matkap



29) AL 6013 malzemede 80 m/dak kesme hızı ve 0,2 mm/dev ilerleme ile delik delmede kullanılan 8 mm çaplı karbür matkap



30) AL 6013 malzemede 80 m/dak kesme hızı ve 0,3 mm/dev ilerleme ile delik delmede kullanılan 8 mm çaplı karbür matkap

EK-3 (Devam) Deney sürecinde kullanılan takımlar ve çıkan talaş resimleri



31) AL 6013 malzemede 80 m/dak kesme hızı ve 0,4 mm/dev ilerleme ile delik delmede kullanılan 8 mm çaplı karbür matkap



32) AL 6013 malzemede 80 m/dak kesme hızı ve 0,5 mm/dev ilerleme ile delik delmede kullanılan 8 mm çaplı karbür matkap

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ÇAKIR, Ayşegül

Uyruğu : T.C.

Doğum tarihi ve yeri : 01.02.1983 Trabzon

Medeni hali : Bekar

Telefon : 0 (312) 211 12 42

e-mail : aysegulcakir61@hotmail.com.

Eğitim

Derece	**Eğitim Birimi**	**Mezuniyet tarihi**
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi /Makine Eğitimi A.B.D	2009
Lisans	Gazi Üniversitesi/ Makine Eğitimi Bölümü	2006
Lise	Of H.M.B Ulusoy A.T.L./CNC Bölümü	2000

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Bilgisayar teknolojileri, Resim, Şiir, Doğa gezisi