

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

**MİKROALAŞIMLI ÇELİKLERİN FREZELENMESİNDE
KESME PARAMETRELERİNİN TALAŞLI
İŞLENEBİLİRLİĞE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

**Kenan ÇİFTÇİ
(Teknik Öğretmen)**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
Yrd. Doç. Dr. Mustafa GÜRLER**

İSTANBUL 2005

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

**MİKROALAŞIMLI ÇELİKLERİN FREZELENMESİNDE
KESME PARAMETRELERİNİN TALAŞLI
İŞLENEBİLİRLİĞE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

**Kenan ÇİFTÇİ
(141101720020318)**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
Yrd. Doç.Dr. Mustafa GÜRLER**

İSTANBUL 2005

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans tezimi yöneten ve hazırlanması sırasında çalışmalarımı teşvik eden danışman hocam Sayın Yrd.Doç.Dr. Mustafa GÜRLER'e, teorik ve deneysel çalışmalarında gerekli cihaz, donanımları temin etmeme, deney sisteminin kurulmasına ve deney çalışmalarına yardımcı olan Arş.Gör.Dr. Servet GÜLMEZ'e teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Ayrıca Makine Eğitimi Bölüm Başkanı Prof.Dr. Mustafa KURT'a, Malzeme temininde yardımcı olan Asil Çelik şirketinden Eğitim ve İnsan Kaynakları Müdürü Sayın Haluk SOMUNKIRANOĞLU'na, deneysel çalışmalarında yardımcı olan Arş.Gör.Dr. Şeref AYKUT'a, kesici takım temininde SECO Firmasından Sayın Ümit ERDEM'e verdikleri maddi desteklerinden dolayı teşekkür ederim. Ayrıca çalışmalarım süresince maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

Temmuz, 2005

Kenan ÇİFTÇİ

İÇİNDEKİLER

	<u>SAYFA NO</u>
ÖZET	I
ABSTRACT	II
SEMBOL LİSTESİ	III
KISALTMALAR	V
ŞEKİL LİSTESİ	VI
TABLO LİSTESİ	XI
BÖLÜM I	1
I. GİRİŞ	1
I.1. FREZELEME İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR	3
I.2. FREZE TEZGAHLARI VE FREZELEME İŞLEMİ	7
I.3. FREZELEME İŞLEMİNDE TALAŞ KALDIRMA	8
I.3.1. Alın Frezeleme Yöntemi ile Talaş Kaldırma	8
I.3.1.1. Simetrik Frezeleme Yöntemi	9
I.3.1.2 Asimetrik Frezeleme Yöntemi	10
I.3.2. Çevresel Frezeleme Yöntemi İle Talaş Kaldırma	11
I.3.2.1. Aynı Yönlü Frezeleme	12
I.3.2.2. Zıt Yönlü Frezeleme	13
I.3.3. Çevresel Frezeleme Yöntemlerinin Karşılaştırılması	14
I.4. KESİCİ TAKIMLARIN ÖZELLİKLERİ	15
I.5. KESİCİ TAKIM GEOMETRİSİ	20
I.5.1. Takma Uçlu Alın Freze Çakısının Takım Geometrisi ..	20
I.5.2. Takma Uçların Freze Kafasına Bağlanması	21
I.6. MALZEMELERİN İŞLENEBİLİRLİĞİ	23
I.7. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ	26

BÖLÜM II	28
II.1. MİKROALAŞIMLI ÇELİKLERİN TANIMI	28
II.2. MİKROALAŞIM ELEMENTLERİNİN ROLÜ	29
II.3. MİKROALAŞIMLI ÇELİKLERİN ÜRETİM AŞAMALARI	31
II.4. MİKROALAŞIMLAMA VE KONTROLLÜ HADDELEME ..	31
II.5. YASSI ÜRÜNLER	34
II.5.1. Alaşım Elementlerinin Hadde Ürünlerine Etkisi	35
II.6. DÖVME ÜRÜNLER	37
II.6.1. Alaşım Elementlerinin Dövme Ürünlerine Etkisi	38
BÖLÜM III	40
III. DENEYSEL ÇALIŞMA	40
III.1. DENEY DÜZENEGİ	40
III.1.1. Üniversal Freze Tezgahı	41
III.1.2. Kuvvet Sensörü	41
III.1.3. Yük Amplifikatörü	43
III.1.4. Veri Toplama Kartı	44
III.1.5. Bağlantı Kabloları	44
III.1.6. Malzemenin Mekanik ve Kimyasal Özellikleri	45
III.1.7. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜK CİHAZI	48
III.2. DENEY SİSTEMİNİN ÇALIŞMA PRENSİBİ	48
III.3. KUVVET SENSÖRÜN KALİBRASYONUNUN YAPILMASI	49
III.3.1. Sensörün Z Ekseninde Kalibrasyonu	50
III.3.2. Sensörün Y Ekseninde Kalibrasyonu	51
III.3.3. Sensörün X Ekseninde Kalibrasyonu	52
III.4. KESME ŞARTLARI	53

BÖLÜM IV	55
IV.I. SONUÇLAR	55
BÖLÜM V	57
V.I. ÖNERİLER	57
KAYNAKLAR	58
EKLER	64
EK A. TALAŞ DERİNLİĞİNE GÖRE KESME	
KUVVETLERİ GRAFİKLERİ	64
EK B. KESME HIZINA GÖRE KESME KUVVETLERİ	
GRAFİKLERİ	66
EK C. İLERLEME HIZINA GÖRE KESME KUVVETLERİ	
GRAFİKLERİ	68
EK D. KESME HIZI-ORTALAMA YÜZEY	
PÜRÜZLÜLÜĞÜ GRAFİKLERİ	70
EK E. İLERLEME HIZI-ORTALAMA YÜZEY	
PÜRÜZLÜLÜĞÜ GRAFİKLERİ	71
EK F. KESME DERİNLİĞİ-ORTALAMA YÜZEY	
PÜRÜZLÜLÜĞÜ GRAFİKLERİ	72
ÖZGEÇMİŞ	73

ÖZET

Bu çalışmada, doğal gaz ve petrol boru hatlarında, aktarma organı elemanlarında ve otomotiv endüstrisinde kullanılan mikroalaşımli çeliklerden 38MnSiVS5 kullanılmıştır.

Simetrik düzlem yüzey frezeleme yöntemi ile talaş kaldırma işlemi, PVD kaplamalı sert maden uçlarla deneyler yapılmıştır. Deneylerde Taksan marka dijital eksen göstergeleri bulunan üniversal freze tezgahı, 63 mm çapında kesici ağız sayısı 8 olan kesici takım, KISTLER marka 5011B tipi kuvvet dinamometresi ve Mitutoyo firmasının ürettiği Surf test 211 yüzey pürüzlülük cihazı kullanılmıştır.

38MnSiVS5 mikroalaşımli çeliğin işlenebilirliği için düzlem yüzey simetrik frezeleme işlemleri için kesme derinliği (0,4- 0,6- 0,8 ve 1 mm), ilerleme hızı (160, 200, 250 ve 315 mm/min) ve kesme hızı (70, 90, 100 ve 140 m/min) talaş kaldırma parametreleri değiştirilerek talaşlı işlenebilirliği incelenmiştir.

Kesme parametrelerine (Kesme hızı, İlerleme hızı, Talaş derinliği) bağlı olarak elde edilen kesme kuvvetleri (F_x , F_y ve F_z) ve ortalama yüzey pürüzlülük değerleri (R_a), elde edilen deney verileri grafiklere dönüştürülerek meydana gelen değişimler gözlemlenmiştir.

ABSTRACT

In this study, 38MnSiVS5 microalloyed steel is used popular in natural gas and oil pipes, couplings and automotive industry.

Experiments on machining with symmetric face milling process are done using PVD coated hard metal inserts. In these experiments, TAKSAN universal milling machine (having digital axis measurement tools, 63 mm diameter cutting tool, 8 inserts) and KSITLER 5011B type force dynamometer and SurfTest 211 type surface roughness equipment are used.

To investigate the machinability of 38MnSiVS5 microalloyed steel, cutting depth for symmetric face milling processes (0,4- 0,6- 0,8 and 1 mm), feed rate (160, 200, 250 and 315 mm/min) and cutting speed (70, 90, 100 and 140 m/min) in chip removal parameters are changed for every case.

Cutting parameters (cutting speed, feed rate, depth of cut) depend on cutting forces (F_x , F_y ve F_z) values and average surface roughness (R_a) values, analysis of experiments results has been evaluated with graphics using obtaining experimental data.

SEMBOL LİSTESİ

a_p	: Talaş derinliği, (mm)
b	: İş parçası genişliği, (mm)
D	: Kesici takım kesme çapı, (mm)
f	: Tezgah tablası ilerleme hızı ve yönü, (mm/min)
F_x	: X eksenindeki kesme kuvveti, (N)
F_y	: Y eksenindeki kesme kuvveti, (N)
F_z	: Z eksenindeki kesme kuvveti, (N)
h_m	: Ortalama talaş kalınlığı, (mm)
N	: İş milinin devir sayısı, (dev/min)
R	: Kesici takım burun yarıçapı, (mm)
K_T	: Özgül kesme kuvveti katsayısı
K_R	: Teğetsel kuvveti radyal kuvvete dönüştürme sabiti
K_A	: Teğetsel kuvveti aksenal kuvvete dönüştürme sabiti
R_e	: Akma mukavemeti, (MPa)
R_m	: Çekme mukavemeti, (MPa)
V_C	: Kesme hızı, (m/min)
Z_n	: Kesici ağız sayısı
E	: İş mili eksantrikliği, (mm)
f_t	: Diş başına ilerleme miktarı (mm/diş)
R_a	: Ortalama pürüzlülük değeri, (μm)
ϕ	: Kayma açısı, ($^\circ$)
β	: Kama açısı, ($^\circ$)
α	: Boşluk açısı, ($^\circ$)
κ	: Sert maden kesici uç yerleştirme açısı, ($^\circ$)
γ_A	: Kesici takım aksenal talaş açısı, ($^\circ$)
γ_L	: Kesici takım yük açısı, ($^\circ$)

- γ_R : Kesici takım radyal talaş açısı, (°)
 λ : Talaş açısı, (°)

KISALTMALAR

AISI	Amerikan Demir ve Çelik Standardı Enstitüsü
ANSI	Amerika Milli Standartlar Enstitüsü
CBN	Kübik Bor Nitrür
CVD	Kimyasal Buhar Çöktürme Yöntemi ile Kaplama
HRC	Rockwell Sertlik Değeri
HB	Brinel Sertlik Değeri
HSS	Yüksek Hız Çeliği
HV	Vickers Sertlik Değeri
PVD	Fiziksel Buhar Çöktürme Yöntemi ile Kaplama
SAE	Amerikan Otomotiv Mühendisleri Derneği
AFP	Çökelti ile Sertleşen Ferritik Perlitik Çelikler
TMP	Termomekanik Proses
HSLA	Yüksek Dayanımlı Düşük Alaşımli Çelikler
ISO	Uluslararası Standart Organizasyonu
DIN	Alman Standardı
BS	İngiliz Standardı
AFNOR	Fransız Standardı

ŞEKİL LİSTESİ

SAYFA NO

Şekil I.1 Kesici Uçların Tutucu Şafta Yerleştirilmesi.....	9
Şekil I.2 Simetrik Alın Frezelemenin Gösterilişi.....	10
Şekil I.3 Asimetrik Frezelemenin Gösterilişi.....	11
Şekil I.4 Çevresel Frezelemenin Gösterilişi.....	12
Şekil I.5 Aynı Yönlü Çevresel frezelemenin Gösterilişi.....	13
Şekil I.6 Zıt Yönlü Frezelemenin Gösterilişi.....	14
Şekil I.7 Sert Maden Uçlu Alın Freze Çakısının Takım Geometrisi.....	21
Şekil I.8 Kesici Uçlara Eksenel ve Radyal Olarak Verilen Talaş Açılarının Gösterilişi	23
Şekil I.9 Talaşlı işlemden işlenebilirliği etkileyen faktörler.....	25
Şekil I.10 Yüzey Pürüzlülüğünün Üç boyutlu Gösterilmesi ve yüzey profili.....	26
Şekil I.11 Ra ortalama pürüzlülük değerinin gösterilmesi.....	27
Şekil II.1 Mikroalaşım Elementlerinin Östenit Yeniden Kristalleşme Sıcaklığına Etkisi.....	30
Şekil II.2 Mukavemet Arttırımı ile Elde Edilen Kütle Tasarrufunun Mikroalaşımli Boru Malzemelerde Örneklemesi	36
Şekil II.3 Mikroalaşımli Dövme Çelikleri ile Islah Çeliklerinin Üretim (a) ve Maliyet (b) Açısından Karşılaştırılması.....	37
Şekil II.4 AFP Çeliklerinde Mekanik Özellikler Doğrultusunda Alaşım Dizayn Geliştirilmesi.....	39
Şekil III.1 Kesme Kuvvetlerinin Ölçülmesinde Kullanılan Deney Düzeneginin Genel Şeması.....	41
Şekil III.2 Kuvvet Sensörünün Freze Tezgahı tablasına Montaj Resmi.....	42
Şekil III.3 Sensörün Amplifikatörlere ve Bilgisayara Bağlantı Şeması	45
Şekil III.4 Deneylerde Kullanılan Yüzey Pürüzlülük Cihazı Fotoğrafi.....	48
Şekil III.5 Deney Setinin Fotoğrafi.....	49

Şekil III.6 Kuvvet Sensörünün Z Eksenindeki Kalibrasyon Eğrisi.....	51
Şekil III.7 Kuvvet Sensörünün Y Eksenindeki Kalibrasyon Eğrisi.....	52
Şekil III.8 Kuvvet Sensörünün X Eksenindeki Kalibrasyon Eğrisi.....	53
Şekil III.9 Kesme Kuvveti Ölçümü İçin Hazırlanan İş Parçası.....	54
Şekil III.10 Kesme Derinliğinin Kesme Kuvvetlerine Etkisi ($V_c=70$ m/min, $f=160$ mm/min)	64
Şekil III.11 Kesme Derinliğinin Kesme Kuvvetlerine Etkisi ($V_c=70$ m/min, $f=200$ mm/min).....	64
Şekil III.12 Kesme Derinliğinin Kesme Kuvvetlerine Etkisi ($V_c=70$ m/min, $f=250$ mm/min)	64
Şekil III.13 Kesme Derinliğinin Kesme Kuvvetlerine Etkisi ($V_c=70$ m/min, $f=315$ mm/min)	64
Şekil III.14 Kesme Derinliğinin Kesme Kuvvetlerine Etkisi ($V_c=90$ m/min, $f=160$ mm/min)	64
Şekil III.15 Kesme Derinliğinin Kesme Kuvvetlerine Etkisi ($V_c=90$ m/min, $f=200$ mm/min)	64
Şekil III.16 Kesme Derinliğinin Kesme Kuvvetlerine Etkisi ($V_c=90$ m/min, $f=250$ mm/min)	64
Şekil III.17 Kesme Derinliğinin Kesme Kuvvetlerine Etkisi ($V_c=90$ m/min, $f=315$ mm/min)	64
Şekil III.18 Kesme Derinliğinin Kesme Kuvvetlerine Etkisi ($V_c=110$ m/min, $f=160$ mm/min)	65
Şekil III.19 Kesme Derinliğinin Kesme Kuvvetlerine Etkisi ($V_c=110$ m/min, $f=200$ mm/min)	65
Şekil III.20 Kesme Derinliğinin Kesme Kuvvetlerine Etkisi ($V_c=110$ m/min, $f=250$ mm/min)	65
Şekil III.21 Kesme Derinliğinin Kesme Kuvvetlerine Etkisi ($V_c=110$ m/min, $f=315$ mm/min)	65
Şekil III.22 Kesme Derinliğinin Kesme Kuvvetlerine Etkisi ($V_c=140$ m/min, $f=160$ mm/min)	65

Şekil III.23 Kesme Derinliğinin Kesme Kuvvetlerine Etkisi ($V_c=140$ m/min, $f=200$ mm/min)	65
Şekil III.24 Kesme Derinliğinin Kesme Kuvvetlerine Etkisi ($V_c=140$ m/min, $f=250$ mm/min)	65
Şekil III.25 Kesme Derinliğinin Kesme Kuvvetlerine Etkisi ($V_c=140$ m/min, $f=315$ mm/min)	65
Şekil III.26 Kesme Hızının Kesme Kuvvetlerine Etkisi ($a=0,4$ mm, $f=160$ mm/min)	66
Şekil III.27 Kesme Hızının Kesme Kuvvetlerine Etkisi ($a=0,4$ mm, $f=200$ mm/min)	66
Şekil III.28 Kesme Hızının Kesme Kuvvetlerine Etkisi ($a=0,4$ mm, $f=250$ mm/min)	66
Şekil III.29 Kesme Hızının Kesme Kuvvetlerine Etkisi ($a=0,4$ mm, $f=315$ mm/min)	66
Şekil III.30 Kesme Hızının Kesme Kuvvetlerine Etkisi ($a=0,6$ mm, $f=160$ mm/min)	66
Şekil III.31 Kesme Hızının Kesme Kuvvetlerine Etkisi ($a=0,6$ mm, $f=200$ mm/min)	66
Şekil III.32 Kesme Hızının Kesme Kuvvetlerine Etkisi ($a=0,6$ mm, $f=250$ mm/min)	66
Şekil III.33 Kesme Hızının Kesme Kuvvetlerine Etkisi ($a=0,6$ mm, $f=315$ mm/min)	66
Şekil III.34 Kesme Hızının Kesme Kuvvetlerine Etkisi ($a=0,8$ mm, $f=160$ mm/min)	67
Şekil III.35 Kesme Hızının Kesme Kuvvetlerine Etkisi ($a=0,8$ mm, $f=200$ mm/min)	67
Şekil III.36 Kesme Hızının Kesme Kuvvetlerine Etkisi ($a=0,8$ mm, $f=250$ mm/min)	67
Şekil III.37 Kesme Hızının Kesme Kuvvetlerine Etkisi ($a=0,8$ mm, $f=315$ mm/min)	67

Şekil III.38 Kesme Hızının Kesme Kuvvetlerine Etkisi ($a=1$ mm, $f=160$ mm/min)	67
Şekil III.39 Kesme Hızının Kesme Kuvvetlerine Etkisi ($a=1$ mm, $f=200$ mm/min)	67
Şekil III.40 Kesme Hızının Kesme Kuvvetlerine Etkisi ($a=1$ mm, $f=250$ mm/min)	67
Şekil III.41 Kesme Hızının Kesme Kuvvetlerine Etkisi ($a=1$ mm, $f=315$ mm/min)	67
Şekil III.42 İlerleme Hızının Kesme Kuvvetlerine Etkisi ($a=0,4$ mm, $V_c=70$ m/min)	68
Şekil III.43 İlerleme Hızının Kesme Kuvvetlerine Etkisi ($a=0,4$ mm, $V_c=90$ m/min)	68
Şekil III.44 İlerleme Hızının Kesme Kuvvetlerine Etkisi ($a=0,4$ mm, $V_c=110$ m/min)	68
Şekil III.45 İlerleme Hızının Kesme Kuvvetlerine Etkisi ($a=0,4$ mm, $V_c=140$ m/min)	68
Şekil III.46 İlerleme Hızının Kesme Kuvvetlerine Etkisi ($a=0,6$ mm, $V_c=70$ m/min)	68
Şekil III.47 İlerleme Hızının Kesme Kuvvetlerine Etkisi ($a=0,6$ mm, $V_c=90$ m/min)	68
Şekil III.48 İlerleme Hızının Kesme Kuvvetlerine Etkisi ($a=0,6$ mm, $V_c=110$ m/min)	68
Şekil III.49 İlerleme Hızının Kesme Kuvvetlerine Etkisi ($a=0,6$ mm, $V_c=140$ m/min)	68
Şekil III.50 İlerleme Hızının Kesme Kuvvetlerine Etkisi ($a=0,8$ mm, $V_c=70$ m/min)	69
Şekil III.51 İlerleme Hızının Kesme Kuvvetlerine Etkisi ($a=0,8$ mm, $V_c=90$ m/min)	69
Şekil III.52 İlerleme Hızının Kesme Kuvvetlerine Etkisi ($a=0,8$ mm, $V_c=110$ m/min)	69

Şekil III.53 İlerleme Hızının Kesme Kuvvetlerine Etkisi ($a=0,8$ mm, $V_c=140$ m/min)	69
Şekil III.54 İlerleme Hızının Kesme Kuvvetlerine Etkisi ($a=1$ mm, $V_c=70$ m/min)	69
Şekil III.55 İlerleme Hızının Kesme Kuvvetlerine Etkisi ($a=1$ mm, $V_c=90$ m/min)	69
Şekil III.56 İlerleme Hızının Kesme Kuvvetlerine Etkisi ($a=1$ mm, $V_c=110$ m/min)	69
Şekil III.57 İlerleme Hızının Kesme Kuvvetlerine Etkisi ($a=1$ mm, $V_c=140$ m/min)	69
Şekil III.58 Kesme Hızının Ortalama yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi	70
Şekil III.59 Kesme Hızının Ortalama yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi	70
Şekil III.60 Kesme Hızının Ortalama yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi	70
Şekil III.61 Kesme Hızının Ortalama yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi	70
Şekil III.62 İlerleme Hızının Ortalama yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi	71
Şekil III.63 İlerleme Hızının Ortalama yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi	71
Şekil III.64 İlerleme Hızının Ortalama yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi	71
Şekil III.65 İlerleme Hızının Ortalama yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi	71
Şekil III.66 Kesme Derinliğinin Ortalama yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi.....	72
Şekil III.67 Kesme Derinliğinin Ortalama yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi.....	72
Şekil III.68 Kesme Derinliğinin Ortalama yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi.....	72
Şekil III.69 Kesme Derinliğinin Ortalama yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi.....	72

TABLO LİSTESİ

	<u>SAYFA NO</u>
Tablo II.1 Çökelti sertleşen ferritik-perlitik çelikler (SEW 101).....	38
Tablo III.1 Kuvvet Sensörünün Teknik Özellikleri.....	42
Tablo III.2 KISTLER Marka 5011b Amplifikatörün Teknik Özellikleri.....	43
Tablo III.3 PCL – 812 PG Veri Toplama Kartının Teknik Özellikleri.....	44
Tablo III.4 Deneylerde Kullanılan Mikroalaşımli Çeliğin Mekanik Özellikleri	45
Tablo III.5 Deneylerde Kullanılan Mikroalaşımli Çeliğin Bileşimindeki Elementlerin Kimyasal Analiz Değerleri.....	46
Tablo III.6 Kesici Takımın İlk Yerleştirme Hataları.....	46
Tablo III.7 Kesme Kuvvetlerinin Ölçülmesinde Kullanılan Sayısal Değerler... ..	47
Tablo III.8 Z Ekseninde Uygulanan Kuvvet Değerleri, N ve Kuvvet Sensörünün Üretmiş Olduğu Gerilim, mV.....	50
Tablo III.9 Y Ekseninde Uygulanan Kuvvet Değerleri, N ve Kuvvet Sensörünün Üretmiş Olduğu Gerilim, mV	52
Tablo III.10 X Ekseninde Uygulanan Kuvvet Değerleri, N ve Kuvvet Sensörünün Üretmiş Olduğu Gerilim, mV.....	53

BÖLÜM I

I. GİRİŞ

Endüstride talaşlı imalatın yapılabilmesi için çeşitli takım tezgahları ve kesici takımlar kullanılmaktadır. Talaş kaldırma yöntemlerinden frezeleme işlemi, talaşlı imalatta geniş uygulama alanına sahiptir.

Frezeleme işleminde farklı geometrideki iş parçalarının talaşlı işlenebilmesi, freze tezgahının X, Y, Z eksenlerinde hareket edebilme kabiliyetine bağlıdır. Bu işleme tekniğinde, çok eksenli takım tezgahlarının kullanımının mevcut olması, farklı geometrilere iş parçalarının talaşlı işlenmesini mümkün kılmaktadır.

Endüstriyel gereksinimleri karşılamak amacıyla freze tezgahları değişik tiplerde ve ölçülerde yapılmaktadır. Son yıllarda bilgisayar kontrollü sistemlerin gelişmesiyle birlikte talaşlı imalatta kullanılan takım tezgahları da hızlı bir değişim sürecine girmiştir. Günümüzde NC (Nümerik Kontrollü), CNC (Bilgisayar Nümerik Kontrollü) takım tezgahlarının gelişmesiyle daha kompleks geometrik şekle sahip iş parçalarını endüstri ihtiyacına uygun olarak istenilen hassasiyette ve yüzey kalitesinde üretilmektedir.

Bu takım tezgahları sayesinde imalat maliyeti düşmekte, üretim kapasitesi artmakta ve konvansiyonel takım tezgahlarının iş yapma imkanı ile kıyaslandığında daha ekonomik sonuçlar sağlandığı görülmektedir.

Freze tezgahlarında yapılan imalatın kalitesi, kesme parametreleri, freze tezgahının mekanik yapısı ve iş parçası malzemesi ile ilişkilidir. Kesme hızı ve ilerleme miktarı, talaş derinliği, kesici takım malzemesi, kesici takım geometrisi ve işlenen malzemenin özelliğine bağlı olarak kesme kuvvetleri değişkenlik gösterir. Kesme kuvvetlerinde meydana gelen değişiklik freze tezgahında titreşime sebep olmakta, bu da yüzey kalitesi ve yüzey pürüzlülüğüne olumsuz etki etmektedir.

Yüzey kalitesine etki eden faktörler aşağıdaki şekilde sıralanabilir. Bunlar kesici ağız sayısı, sert maden kesici ağızların aksenel ve radyal olarak ilk bağlama hataları, iş mili eksantrik açısı, kesici takımın aşınması, kesici takımın kavrama açısı,

iş parçası malzemesinin talaşlı işlenebilirlik kabiliyeti, mekanik ve kimyasal özellikleri, takım tezgahının stabilitesi gibi faktörler kesme süresince kesme kuvvetlerini ve yüzey kalitesini etkilemektedir. Bu nedenle istenilen imalat kalitesini ve düşük maliyeti elde etmek için uygun talaş kaldırma parametrelerinin seçilmesi gerekmektedir.

I.1. FREZELEME İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR

Yapılan literatür taramasında, frezeleme ile ilgili yapılan araştırma çalışmalarının bazıları aşağıda sunulmuştur.

Gu ve arkadaşları düzlem yüzey frezeleme işlemi ile önceden ısıtılmış AISI 4140 çeliğinin davranışlarını ANSI standartlarına göre kaplamasız C5 ve TiN, ile ZrN ve (Ti,Al)N kaplamalı kesici uçlarla incelemiştir. TiN ve onu takiben ZrN kaplamalar iyi performansa sahip olduğunu bulmuşlardır. Düşük kesme hızlarında talaş yığılması oluşmakta, yüksek kesme hızlarında ise aşınma miktarı artmıştır. Kesme hızının 120 m/min değerinde en iyi takım ömrünü elde etmişlerdir [1].

Diniz ve Filho düzlem yüzey frezelemede takım ömrü, takım aşınması ve son işlemlerin takım ve malzeme üzerindeki etkileri, takım ve malzeme bağlama pozisyonları takım ömrüne ve yüzey pürüzlülüğünün etkilerini incelemiştir. Asıl kesici kenar üzerindeki aşınmanın, malzemenin yüzey pürüzlülüğüne etkisinin bulunmadığını ve yüzey pürüzlülüğünün birbirini takip eden kesici kenarın üzerindeki aşınmadan dolayı olduğu göstermişlerdir [2].

Fu ve arkadaşları çok kesici ağızlı freze çakısı ile düzlem yüzey frezeleme işleminde meydana gelen kesme kuvvetlerinin hesaplanmasını sağlayan bir matematiksel model geliştirmişlerdir. Matematiksel modelde kesme kuvvetlerinin hesaplanmasında, kesici takım geometrisi, kesici takım iş mili eğikliğini dikkate alarak, talaş kesit alanını hesaplamışlardır. Daha sonra kesme kuvvetini hesaplamışlardır. Kesici takımın farklı devir sayıları ve ilerleme miktarları için özgül kesme kuvveti katsayısını ve teğetsel olarak etki eden kuvvetin, radyal kuvvete dönüş katsayılarını yaptıkları deneysel çalışmalarla bulmuşlardır. Özgül kesme kuvveti katsayısını talaş kesiti ve ilerleme miktarı etkiler. Deneysel olarak buldukları sonuçların teorik olarak hesaplanan kesme kuvveti sonuçlarıyla uyum sağladığını göstermişlerdir [3].

Cheng ve arkadaşları düzlem yüzey frezeleme işleminde ortaya çıkan ani kesme kuvveti katsayılarının özelliklerinin belirlenmesi için bir çalışma yapmışlardır. Ani kesme kuvveti katsayıları ile deneylerde ölçülen kesme kuvveti sinyalleri arasında bağıntılar oluşturmuşlardır. Yaptıkları çalışmada, kesme kenarı uzunluğu,

kesme hızı ve talaş kalınlığının yatay kesme kuvvet katsayısını etkilediğini ortaya koymuşlardır [4].

Kim ve Ehmann alın fereze çakısı ile düzlem yüzey frezeleme esnasında meydana gelen kesme kuvvetlerinin matematiksel modelini elde etmişlerdir. Talaş kaldırma esnasında kesici uçların radyal ve aksenal yerleştirme hatalarının, iş mili dönme eksantrikliğinin statik ve dinamik kesme kuvvetlerine etkilerini inceleyen bir model kurmuşlardır. Kurdukları modelin geçerliliğini kontrol etmek için deneyler gerçekleştirmişlerdir. Bu deneyler sonucunda modelin uygun olduğunu ispatlamışlardır [5].

D'Errico ve arkadaşları yüzey frezeleme işleminde sermet kesici takım uçlarının takım ömrüne etkisini araştırmışlardır. Bazı sermet kesici takım uçlarını yüzey frezeleme işleminde kullanmışlardır. Kuru olarak çalışma yaparken karbon çeliği AISI-SAE 1045 malzemesini kullanmışlardır. Sermet kesici takım sert maden uç olarak ISO standartlarından P05-P40 derecelerindeki uçları kullanmışlardır. Uçları mekanik özelliklerine, malzeme bileşimine ve kenar kesme özelliklerine göre sınıflandırmışlardır. Bu kesici takım uçlarını birçok deneysel çalışmada kullanmışlardır. Deneysel çalışma sonuçlarını bir ucun aşınmaya karşı direncine, mekanik darbeye, ve kırılma mekanizmasına göre yapmışlardır [6].

Shunmugam ve arkadaşları çok ağızlı kesici takımlarla düzlem yüzey frezeleme yönteminde bir genetik algoritma ile optimum kesme şartlarını incelemişlerdir. Talaş kaldırma işleminde kesme parametrelerinden kesici ağız sayısı, kesme hızı, ilerleme hızı, talaş derinliğini tespit ederek optimum sonuç veren kesme parametrelerini seçmişlerdir. Maliyetin en aza indirgenmesi için paso sayısı, her pasodaki kesme derinliği, kesme hızı ve ilerleme miktarı, parametrelerinin önemli olduğu üzerinde durmuşlardır [7].

Lee ve Ko çevresel frezeleme yöntemi ile uzun ve derin talaş kaldırma söz konusu olduğu durumlarda, yüzey kalitesi hassasiyetini arttırmak için zıt ve aynı yönlü frezeleme yöntemi performanslarını teorik ve deneysel olarak karşılaştırmışlardır. Bu çalışmada değişik takım geometrileri ve kesme koşulları kullanarak kesme kuvvetlerini ölçmek için geometrik yaklaşımı okuyan bir program geliştirmişlerdir. Bu deneyler sonucunda aynı yönlü frezelemeye nazaran, zıt yönlü

frezeleme metoduyla yüzey hatalarının büyük oranda azaltılabilir olduğunu göstermişler ve optimum kesme koşullarını tavsiye etmişlerdir [8].

Jawaid ve arkadaşları düzlem yüzey frezeleme işleminde, titanyum alaşımlı kaplanmış kesici takımların aşınma mekanizmaları üzerinde çalışmışlardır. Farklı kesme koşullarında takım ömrü, takım aşınması ve aşınma mekanizmalarını deneysel olarak incelemişlerdir. Takım ömrü ve talaş kaldırma hacmi bakımından kimyasal buhar çöktürme (CVD) yöntemiyle kaplanmış kesici takımların performansının, fiziksel buhar çöktürme (PVD) yöntemiyle kaplanmış kesici takımlardan daha iyi olduğunu gözlemlemişlerdir. Kaplanmış takımlarda sonlu elmanlar metoduyla, iş parçasındaki difüzyonun, termal çatlaklıkların ve plastik deformasyonun kesici takım aşınmasına etkilerini analitik olarak açıklamışlardır [9].

Beak ve arkadaşları düzlem yüzey frezeleme işleminde dinamik model üzerinde çalışmışlardır. Yüzey pürüzlülüğünü analitik olarak hesap edebilmek için matematiksel bir model geliştirmişlerdir. Bu modelde dinamik ve statik kesme kuvveti bileşenlerini incelemişlerdir. Deneylerde yüzey düzgünlüğü ve işlenen parçaların kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkileri incelenmiştir [10].

Zheng ve arkadaşları düzlem yüzey frezelemede çok ağızlı takımlarla talaş kaldırma işleminde meydana gelen kesme kuvvetinin teorik olarak modellenmesi ve simülasyonu üzerinde çalışmışlardır. Kesme kuvvetinin malzeme özelliklerine, kesme parametrelerine, kesici ağız geometrisine, kesme şartlarına ve frezeleme yöntemine göre yorumlamışlardır. Kesme bölgesindeki iş parçası ve kesici takım arasındaki sıcaklığı hesaplamışlardır [11].

Bouzid ve arkadaşları son frezeleme işleminin yüzey karakteristiklerine etkilerini incelemişlerdir. İşlem sonrasında yüzeydeki artık gerilmeler, mikro yapının özelliği, mikro sertlikler ve yüzey pürüzlülüğü gibi farklı parametreler arasındaki ilişkiyi değerlendirilmiştir. Yüzeydeki artık gerilmeleri straingage kullanılarak tespit edilmiştir. Yaptıkları çalışmada iki farklı malzeme kullanmışlardır. Bu malzemeler Karbonlu çelik ve iki katlı paslanmaz çeliktir. Deneysel çalışmada kesme sıcaklığı, talaş geometrisi ve kesme kuvvetlerinin yüzey karakteristiklerindeki farklı etkileri değerlendirilmiştir. Yüksek kesme hızı ve düşük ilerleme değerlerinin işlenmiş yüzeyin kalitesini arttırdığını tespit etmişlerdir [12].

Kwon ve Choi yüzey frezeleme yöntemi ile kesme kuvvetlerini kullanarak radyal dalma açısını hesaplamak için bir model geliştirmişlerdir. Yüzey frezeleme işleminde radyal dalma oranının önemli bir faktör olduğunu göstermişlerdir. Frezeleme işlemi esnasında ölçmüş oldukları kesme kuvvetleri ile geliştirdikleri modelden elde ettikleri sonuçları karşılaştırmışlar ve yakın değerler çıktığını tespit etmişlerdir [13].

Bedi ve arkadaşları frezeleme işleminde mekanik kesme modeli geliştirmişlerdir. Çok eksenli freze tezgahlarında kesme kuvvetlerini hızlı hesaplamak için mekanik bir model elde etmişlerdir. Modelde elde ettikleri verileri deneysel verilerle karşılaştırarak doğruluğunu göstermişlerdir [14].

I.2. FREZE TEZGAHLARI VE FREZELEME İŞLEMİ

Frezeleme işlemi; kesici takımın kendi eksenini etrafında dönme hareketine karşılık, iş parçasının ilerlemesi ile meydana gelen talaş kaldırma işlemine frezeleme denir. Frezeleme yöntemi, üzerinde kesici uçlar bulunan kesici takımın kendi eksenini etrafında dönmesi ile iş parçasının bağlı olduğu tablanın X,Y ve Z eksenlerinde hareket etmesiyle iş parçası üzerinden talaş kaldırmasıdır [15].

Frezeleme yöntemi ile düz yüzeylerin, eğrisel yüzeylerin, T kanalların, helisel kanalların, dişli çarkların ve hareket millerinin imal edilmesi için çeşitli geometriye sahip kesici takımlarla talaş kaldırma işlemi gerçekleştirilir [16].

Frezeleme işlemi ile talaş kaldırma esnasında iş parçasından elastik ve plastik deformasyon sonucu ayrılmış olan parçalara talaş denir. Talaş kaldırma sırasında kesici takım ile iş parçası arasında kesme hareketi, sürtünme hareketi, ilerleme hareketi ve yardımcı hareketler meydana gelir.

Kesme hareketi; yani kesme hızı, bir freze çakısının çevresindeki kesen bir dişin, kesici kenarın bir dakikada metre cinsinden keserek aldığı yoldur.

Sürtünme hareketi; Kesici takım ile iş parçası arasında kesme olayı sırasında ve talaş hızından dolayı meydana gelen harekettir.

İlerleme hareketi; Kesme üzere döndürülen kesici takımın dönme hareketine karşı, iş parçasının bir dakikada milimetre cinsinden aldığı yoldur.

Yardımcı hareketler; Kesici takımın iş parçasına yanaşması ve talaş kaldırma işlemi bittikten sonra kesici takımın iş parçasından uzaklaşması için yapmış olduğu harekettir [17,18].

Talaşlı imalat gereksinimleri karşılamak amacıyla freze tezgahları değişik tiplerde ve ölçülerde yapılmaktadır. Genel olarak, freze tezgahlarını aşağıdaki gibi sınıflandırabiliriz [17,19,20,21].

1- Konvansiyonel Freze Tezgahları

- a- Yatay Freze Tezgahları
- b- Düşey Freze Tezgahları
- c- Üniwersal Freze Tezgahlar

2- Özel İmalat Freze Tezgahları

- a- Kopya Freze Tezgahlar
- b- Yatay Delik Freze Tezgahları (Bohrwerk)
- c- Dişli Açan Freze Tezgahları

- d- Azdırma Dişli Tezgahları
- 3- Modern İmalat Tezgahları
 - a- NC Freze Tezgahları
 - b- CNC Freze Tezgahları

I.3. FREZELEME İŞLEMİNDE TALAŞ KALDIRMA

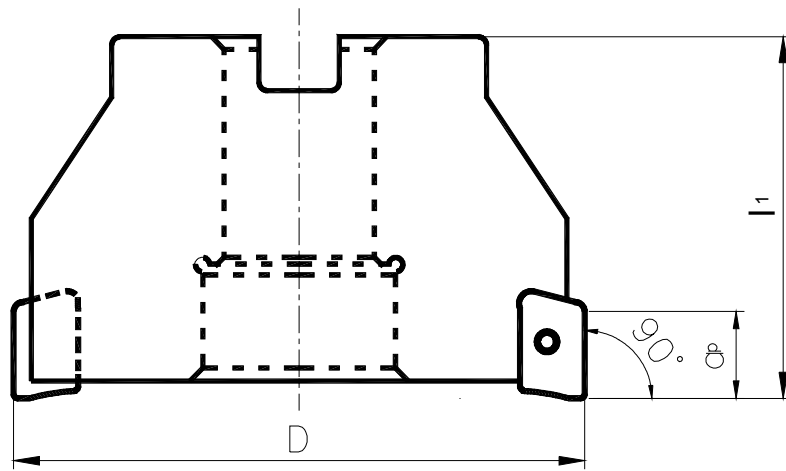
Frezeleme yöntemi ile talaş kaldırma işlemi diğer talaş kaldırma işlemlerinden farklı olarak, kesici takımında bulunan kesici ağız sayısının birden fazla olması ve kesici takımların çeşitliliği bakımından oldukça karmaşık bir talaş kaldırma işlemidir. Freze tezgahında talaş kaldırma işlemi, kullanılan kesici takımın çeşidine ve frezeleme yönüne göre adlandırılırlar. Genel olarak frezeleme işlemi ile talaş kaldırma yöntemini dört ana başlık altında incelenebilir.

1. Silindirik vals freze çakısı ile çevresel frezeleme
 - a) Aynı yönlü çevresel frezeleme
 - b) Zıt yönlü çevresel frezeleme
2. Takma uçlu alın freze çakısı ile düzlem yüzeylerin frezelenmesi
 - a) Simetrik frezeleme
 - b) Asimetrik frezeleme
3. Form ve biçim freze çakısı ile frezeleme
 - a) Modül freze çakısı ile frezeleme
 - b) Değişik geometrilere sahip iç bükey ve dış bükey yüzeylerin frezelenmesi
4. Saplı freze çakısı ile frezeleme
 - a) Parmak uçlu freze çakısı ile frezeleme
 - b) Küresel uçlu freze çakısı ile frezeleme [18].

I.3.1. Alın Frezeleme Yöntemi ile Talaş Kaldırma

Freze çakısının alın ve çevresindeki kesici ağızların birlikte kesmesi ile yapılan frezelemedir. Elde edilen yüzeyler çakının dönme eksenine diktir. Burada kesme işleminin büyük bir kısmı, çevredeki kesici ağızlar tarafından yapılır. Alın yüzeydeki kesici ağızlar ise ince talaş işleme etkisi gösterirler. Silindirik alın freze çakıları ve takma uçlu alın freze çakıları ile düzlem yüzeyler işlenmeden önce iş mili diklik kontrolünün yapılması gerekmektedir.

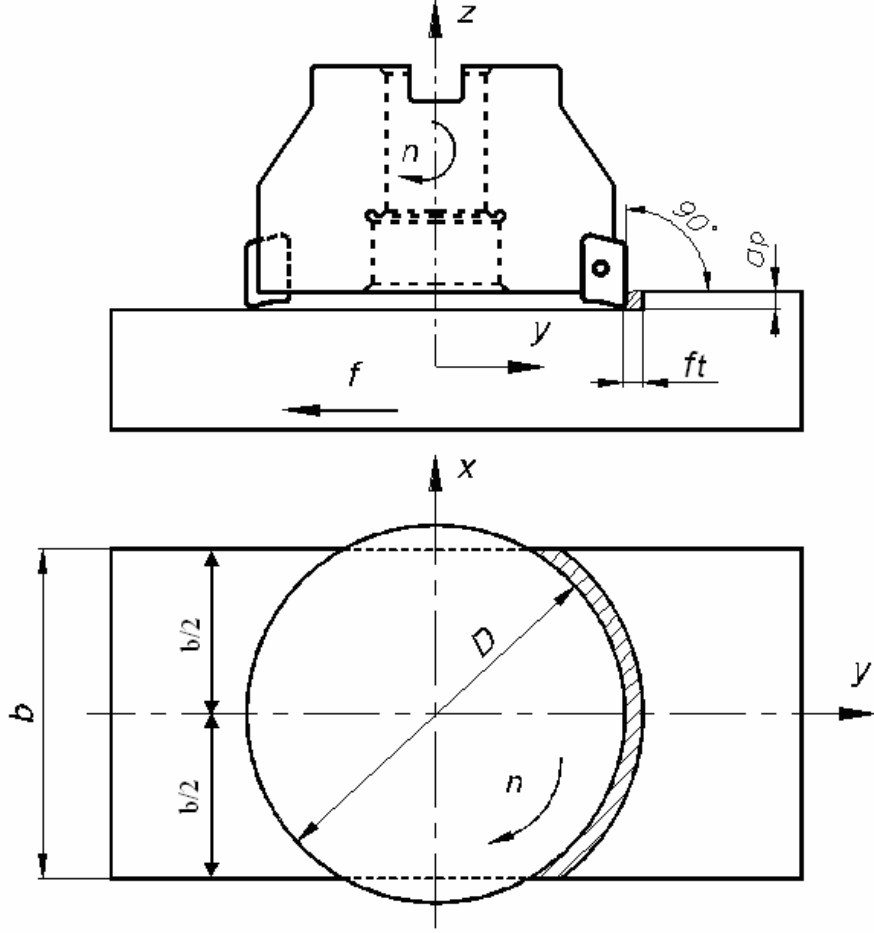
Silindirik alın freze çakıları, yüksek hız çeliğinden (HSS) bir bütün olarak imal edildiği gibi sert maden takma uçlu kesiciler sinterleme yöntemi ile imal edilir. Sinterleme yöntemi ile imal edildikten sonra kaplama yöntemleri ile kaplanarak daha yüksek kesme hızlarına ulaşmak mümkün olmaktadır. Sert maden kesici uçlar tutucu şaftın etrafına mekanik sıkımalık veya lehimleme yöntemi ile takılırlar. Alın freze çakıları ile düzlem yüzeylerden simetrik ve asimetrik yöntemle talaş kaldırılır. Sert maden kesici ucun mekanik sıkıma yöntemi ile şafta bağlantısı şekil I.1’de gösterilmiştir.



Şekil I.1 Kesici Uçların Tutucu Şafta Yerleştirilmesi.

I.3.1.1. Simetrik Frezeleme Yöntemi

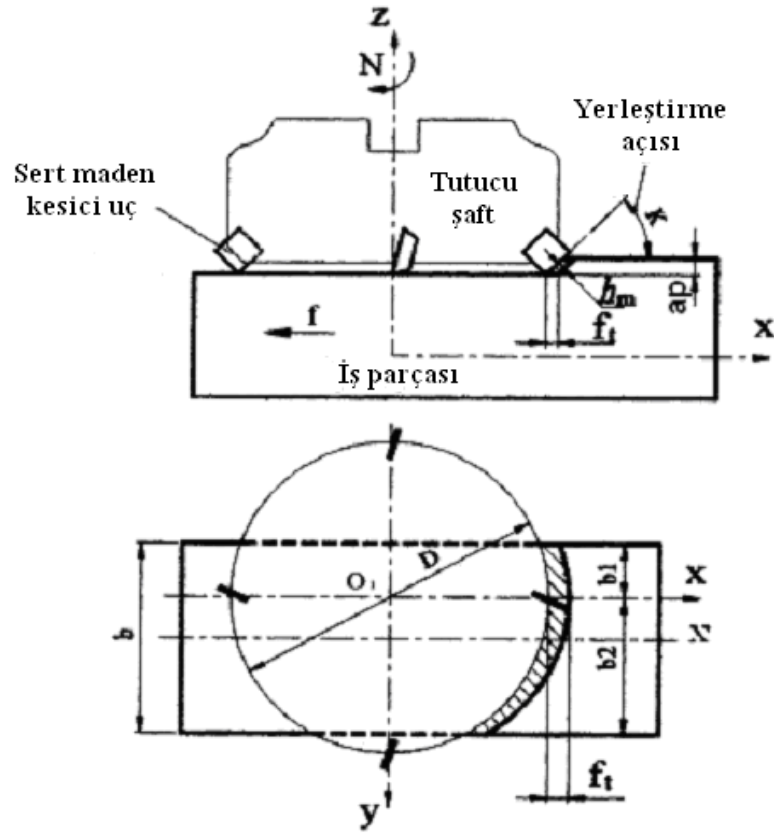
Alın frezeleme çakısı ile şekil I.2’de görüldüğü gibi simetrik frezeleme yapılmaktadır. Simetrik frezeleme yöntemi kesici takımın dönme eksenini ile iş parçasının ilerleme yönündeki eksenini çakıştırmak suretiyle talaş kaldırma işlemidir. Yani kesici takım talaş kaldırırken iş parçasının tam ortasında hareket ettirilmelidir.



Şekil I.2 Simetrik Alın Frezelemenin Gösterilişi

I.3.1.2 Asimetrik Frezeleme Yöntemi

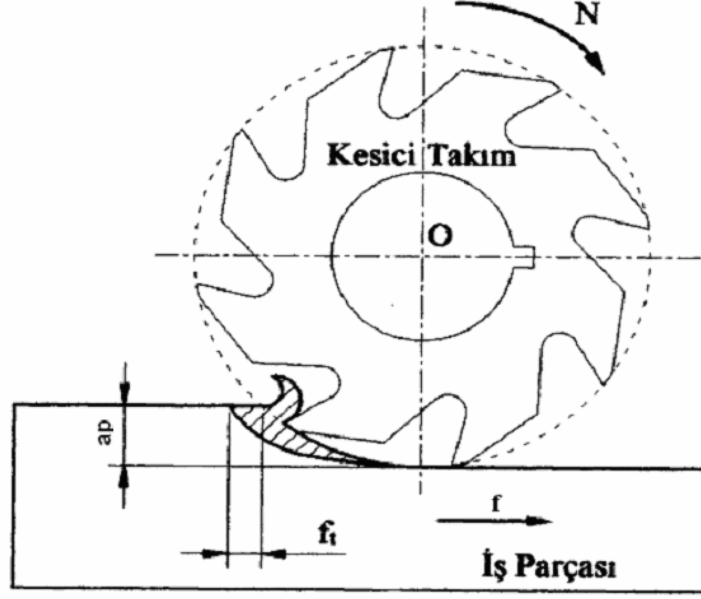
Kesici takımın dönme eksenini ile iş parçasının ilerleme yönündeki eksenini çakışmıyor ise bu frezeleme yöntemine asimetrik frezeleme yöntemi denir. Şekil I.3'te görüldüğü gibi alın freze çakısı ile asimetrik olarak talaş kaldırılmaktadır. Simetrik ve asimetrik olarak talaş kaldırılabilmesi için, kesici takımın çapı frezelenen iş parçasının genişliğinden daima büyük olmalıdır [18,22].



Şekil I.3 Asimetrik Frezelemenin Gösterilişi

I.3.2. Çevresel Frezeleme Yöntemi İle Talaş Kaldırma

Çevresel frezeleme yöntemi, freze çakıların çevresindeki kesici uçların, talaş kaldırma işlemidir. Talaşlar kıvrık, virgül biçiminde ve talaş kesiti sürekli değişmektedir [17]. Kesici takım iş miline uzun malafalar yardımı ile bağlanır. Kesici takımın dönme eksenini ile talaş kaldırılacak yüzey paralel konumundadır. Kesici takımın dönmesiyle ve iş parçasının X, Y ve Z ekseninde belirlenen yönde ilerletilmesiyle talaş kaldırma işlemi gerçekleştirilmektedir.

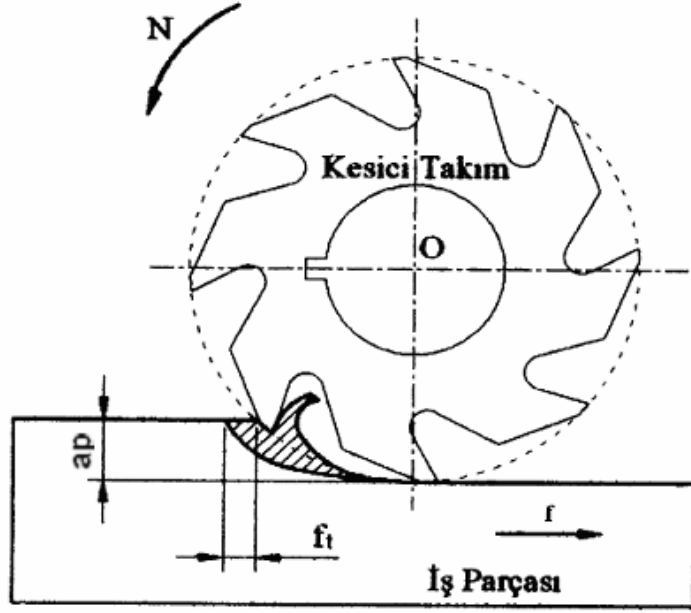


Şekil I.4 Çevresel Frezelemenin Gösterilişi

Çevresel frezeleme yönteminde, kesici takımın dönme yönü ile iş parçasının ilerleme yönüne göre iki metotla talaş kaldırmak mümkündür.

I.3.2.1. Aynı Yönlü Frezeleme

Bu metotla, frezeleme işlemlerinde iş parçasının ilerlemesi, freze çakısının dönüş yönü doğrultusundadır. İş parçasını, her dişin kaldıracağı belirli miktarda talaşa üstten girerek, çok talaştan az talaşa doğru bir kesme yapar. Kesme sırasında dişler, talaşı üstten kavradığından, işi bağlı olduğu tablaya (mengene, masa, bağlama kalıbı v.b) doğru bastırmaya çalışır. İşin sökülmemesi bakımından iyidir. Normal ilerleme yapılırken, kesici dişlerin kaldıracağı bir devirdeki miktar bellidir. Bu miktarı dişler, işin yüzeyinde en büyük değerden, işlenmiş yüzeyde sıfır olacak biçimde kaldırır. Freze çakısı, çok talaştan az talaşa giderken başlangıçta bağlı olduğu mili esnetmeye çalışırsa da, talaş azalarak bittiğinden, düzgün olarak dönen çakı, pürüzsüz bir yüzey çıkarır. Şekil I.5'te aynı yönlü çevresel frezeleme yöntemi gösterilmektedir [17].



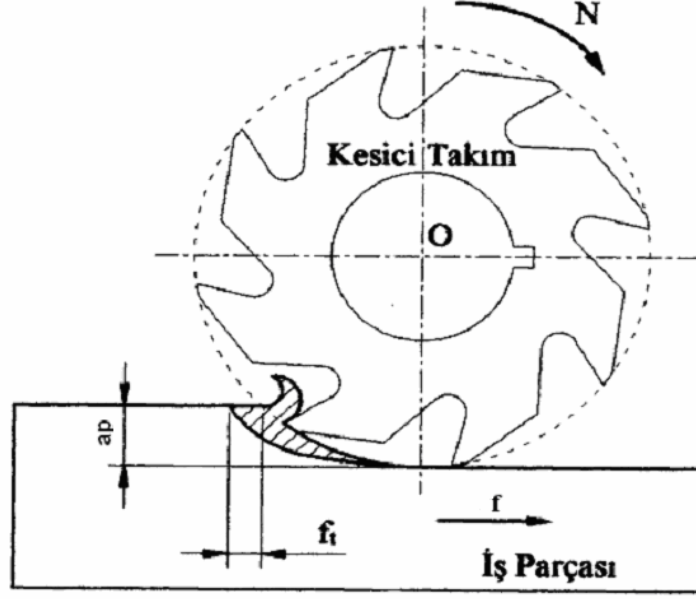
Şekil I.5 Aynı Yönlü Çevresel frezelemenin Gösterilişi

I.3.2.2. Zıt Yönlü Frezeleme

Zıt yönlü frezeleme yönteminde, freze çakısının kesme yönü iş parçasının ilerleme yönüne karşı yönlendirilmiştir. Şekil I.6'da da görüldüğü gibi talaş meydana gelmeden önce, kayar ve kesici ağız iş parçasının yüzeyinde kazıma yapar. Bundan dolayı freze çakısının kesici ağızlarının serbest yüzey aşınması tipik bir aşınma şeklidir. Kesici ağızların malzemeyi kavrama yolu üzerinde talaşın kalınlığı büyür. Virgül şeklinde bir talaş meydana gelir [16].

Bu metotla frezeleme esnasında çakı iş parçasını boyuna itmeye ve tabladan yukarıya doğru kaldırmaya çalışır. Kesme sırasında talaş kalınlığı parçanın üst yüzeyine doğru, düzgün olarak artacağından freze çakısında bir zorlanma meydana gelir. Freze çakısındaki bu zorlanma malafa milini esnetmeye çalışır. Dolayısı ile iş parçasının yüzeyi, ilk bakışta görülmeyecek kadar dalgalı olur. İş parçanın bağlı bulunduğu araçtan yukarıya zorlaması, emniyetli bir şekilde sıkılmasını gerektirir.

Özellikle döküm malzemelerde, çakının dişleri kabuk kısmını kesmez fakat kırarak çıkarır. İyi tarafı ise çakı hemen körleşmez. Talaş kesimi, azdan çoğa doğrudur. Yani kesici takımın iş parçası ile ilk temas ettiği anda talaş kesiti minimum, kesici takımın iş parçasını terk ettiği anda ise talaş kesiti maksimumdur.



Şekil I.6 Zıt Yönlü Frezelemenin Gösterilişi

Tezgah tabla mili somunu, arasındaki boşluklar talaş kaldırmayı ve ilerlemeyi etkilemez. Kuvvete karşı kuvvetle dönen çakı, titreşimsiz bir kesme yapar. İlerleme durdurulduğunda, çakı da olduğu yerde döner. Bu anda işleme devam edilmediği gibi bir tehlike mevcut değildir. Ancak iş parçası üzerinde yüzey kalitesi açısından, kesici takım boşa döndürülmemelidir [15,17].

I.3.3. Çevresel Frezeleme Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Her iki metodun, birbirlerine olan zayıf ve üstün taraflarından dolayı tercih nedenleri vardır. Bu tercih nedenlerini, yüzey kalitesi, enerji sarfiyatı, talaşlı imalat koşullarını etkilemesi, takım ömrüne ve iş parçası bağlama kolaylığına göre aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.

- Aynı yönlü frezeleme işleminde, zıt yönlü frezelemeye nazaran daha büyük ilerleme vermek ve talaş derinliğini arttırmak mümkündür.
- Döküm malzemeler ve yüzeyi sert olan malzemelerin işlenmesi için zıt yönlü frezeleme yöntemi tercih edilir. Çünkü aynı yönlü frezeleme yönteminde kesici takım dişleri başlangıçta bu sert tabakaya nüfuz etmeye çalışacaktır. Bu nedenle kesici takım daha çabuk aşınacak ve ömrü azalacaktır.
- Aynı yönlü frezeleme yönteminde kesme kuvveti başlangıçta büyüktür. İş parçasını freze tablasına doğru bastırmaya çalışır. Emniyet açısından ve yüzey pürüzlülüğü bakımından üstünlük sağlar. Aynı ve zıt yönlü frezeleme

yöntemleri ile ilgili yapılan araştırmalar, aynı yönlü frezeleme yönteminde elde edilen yüzey kalitesinin zıt yönlü frezeleme yöntemine göre iki katı kadar daha iyi olduğu tespit edilmiştir.

- Aynı yönlü çevresel frezeleme işleminde, kesici takımın dönme yönü ile iş parçasının ilerleme yönü aynı doğrultuda olduğu için talaş kaldırma esnasında meydana gelen kesme kuvveti bileşkesi azaldığı için tezgahın enerji sarfiyatı azalır.
- Zıt yönlü frezeleme yönteminde diş, başlangıçta daha yumuşak olan işlenmiş yüzeye nüfuz edecektir. Ancak, kesme ağzının ucu çok az da olsa yuvarlatılmış olması nedeniyle diş, ilkin kayacak ve daha sonra malzemeye nüfuz edecektir. Bu kayma aşınmaya ve takım ömrünün azalmasına neden olacaktır. Bu hususta yapılan incelemeler, aynı kesme koşulları altında aynı yönlü frezeleme yönteminde takım ömrü, zıt yönlü frezeleme yöntemine göre daha uzun olduğunu göstermektedir.
- Zıt yönlü frezeleme yönteminde, kesme kuvvetinin başlangıçta sıfır olması ve tedricen büyümesi bir üstünlüktür. Ancak kesici takımın ekstenel olarak uyguladığı kesme kuvvetinden dolayı parçayı tabladan kaldırmaya çalışması bir mahzurdur. İş parçasının bağlama işleminin emniyetli bir şekilde yapılması gerekir.
- Zıt yönlü frezeleme yönteminde, kesici takımın dönme hareketi ile iş parçasının ilerleme hareketi zıt yönde olduğu için tezgahın hareket mili ile somun arasındaki başlıklar talaş kaldırma esnasında problem oluşturmaz. Çünkü hareket milinin çalıştığı temas yüzeyi ile hareket somununun temas yüzeyi daima başlıksız çalışmaktadır.
- Aynı yönlü çevresel frezeleme yönteminde, kesici takımın iş parçasına uyguladığı radyal kuvvet arttığı için, iş parçasını tablaya doğru bastıracaktır. Böylece iş parçası emniyetli bir şekilde bağlanmış olur [15,17,18,19].

I.4. KESİCİ TAKIMLARIN ÖZELLİKLERİ

Kesici takımlar, iş parçalarının şekillendirilmesinde kullanılan yüksek kaliteli, yüksek boyut hassasiyetli ve çoğu ileri teknoloji ürünü olan malzemelerden üretilirler. İşlenecek parçanın özellikleri, kullanılacak kesici takım malzemelerine

sınırlandırmalar getirdiği gibi, takımın kullanım şartları da takım malzemesi seçimini büyük çapta etkiler.

Talaş kaldırma esnasında oluşan kuvvetler, basınç, sürtünme, ısı oluşumu ve ekonomiklik gibi olaylar dikkate alındığında genellikle bir kesici takımda bulunması gereken özellikler şöyle sıralanır;

- Sertlik ve yüksek sıcaklıklarda sertliğini muhafaza etmesi,
- Yüksek basma ve eğilme mukavemeti göstermesi,
- Yüksek sıcaklıkta aşınmaya karşı direnci ve kimyasal kararlılığa sahip olması,
- Yüksek ısı iletim yeteneği,
- Darbe etkisine karşı yüksek tokluğa sahip olması,
- Ekonomik olması [23,24].

Uygun takım malzemesinin seçimi ile kesici takım-iş parçası malzemeleri arasında sürtünme sonucu oluşan yüksek sıcaklık ve aşınma mekanizmalarının (difüzyon, oksidasyon v.b.) bertaraf edilmesi ile yüksek kesme hızlarına ulaşılır. Böylece takım ömrü ve üretim hızı artırılarak ekonomiklik sağlanır. Malzemelerine göre kesici takımları üç ana grupta toplanabilir.

1. Metal esaslı kesici takımlar,
2. Karbür esaslı kesici takımlar,
3. Seramik esaslı kesici takımlar.

Günümüzde frezeleme işleminde yaygın olarak kullanılan kesici takım malzemeleri; Yüksek hız çelikleri (HSS), sinterlenmiş karbür uçlar ve elmas uçlar. Takım ömrünün artırılması, yüksek kesme hızlarına ulaşmak için kesici takımların yüzeyleri çeşitli kaplama metotları ile kaplanırlar [23,25].

Talaş kaldırma işlemlerinde uygun kesici takımı seçerken, iş parçası malzemesinin mekanik özellikleri göz önünde bulundurulur. Uygun takım malzemesinin seçiminde, takımın kesme işlemi ve fonksiyonu üzerine nasıl etki edeceğinin belirlenmesi için bu malzemelerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin bilinmesi gerekir [26]. Burada önemli olan işlenecek iş parçasına göre en uygun kesici takım malzemesinin seçimidir.

Yüksek hız çeliği (HSS) ve sert maden kesici takım malzemelerinin kesme hızlarını ve aşınma dirençlerini arttırmak için kesici takım yüzeyine CVD kimyasal buhar evresi ile kaplama ve fiziksel buhar evresi ile kaplama PVD yöntemleri ile oluşturulan sert aşınma direnci yüksek tabakalar takımların performansını birkaç

misli artırır. Titanyum nitrid (TiN) kaplama ile başlayan bu gelişme son zamanlarda titanyum karbür (TiC) ve oksit kaplama yöntemlerini de içine alarak yaygınlaşmaktadır [18].

Karbonlu ve alaşımlı takım çelikleri; temel olarak % 0,8–2 oranında karbon içeren demir alaşımıdır. Karbon çelikleri, kesici takım malzemesi olarak kullanılan en eski tip çeliklerdir. Düşük alaşımlı çeliklerde, kesme özelliklerini iyileştirmek amacıyla az miktarda krom (Cr), vanadyum (V), tungsten (W), molibden (Mo), mangan (Mn) gibi alaşım elementleri bulunmaktadır. Çelikler, tavlama şartlarında kolayca şekillendirilebilir ve takiben su verme ve temperleme ile yüzeyi sertleştirilir. Takım kesitinin tamamı martenzite dönüşmez, iç kısım tok ve yüksek şok direncine sahip olur [27].

Karbon çeliklerinin sertliği martenzitik yapısından ileri gelir (58-64Rc). 250°C üzerindeki sıcaklıklarda temperleme sonucu martenzit yumuşar. Bu nedenle, karbon çelikleri sadece ahşap gibi yumuşak malzemelerin işlenmesi için, düşük üretim hızlarında (10m/min) kullanılırlar. Karbon çeliklerinin en önemli avantajı, kolay işlenmesi ve ucuz olmasıdır. Ayrıca 200–250°C çalışma sıcaklıklarında sertliklerini ve keskinliklerini korurlar [28].

Düşük alaşımlı çeliklerin sertliği, su verme ve temperlemeden sonra yaklaşık 700 HV'dir. Temperlenmiş çeliğin mukavemeti, ince demir karbür partiküllerinden ileri gelmektedir. 350°C'nin üzerinde demir karbür partikülleri hızla kabalaşarak çelik yumuşar ve aşınma direnci giderek azalır. Bu nedenle düşük üretim hızlarında kullanılmaktadır. Düşük alaşımlı çelikler hızlı aşınır çünkü sert partiküllerin hacmi sadece %5 civarındadır. Genellikle bu sert partiküller en yumuşak karbürlerden biri olan Fe₃C esaslıdır. Bütün bu dezavantajlarından dolayı metallerin işlenmesinde sınırlı kullanım alanına sahiptir. Bununla birlikte ucuz olmalarından dolayı, karbon çeliklerinde olduğu gibi ağaç işlemede kullanılırlar [29].

Yüksek hız çelikleri; XX. yüzyılın başından beri bilinen ve sürekli geliştirilen bu takım malzemesi, diğer takım malzemelerine oranla düşük maliyeti ve işlenebilme kabiliyeti nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Yüksek hız çelikleri, oda sıcaklığında ve yüksek sıcaklıklarda yüksek sertlik ve yüksek direnci sayesinde iyi performansıyla kesici takım malzemesi olarak kullanılmaktadır. Yüksek hız çelikleri önemli miktarda W, Mo, V ve Co gibi karbür yapıcı elementler içerir [27,29].

Her tür yüksek hız çeliği arzu edilen boyuta sıcak haddelenebilir veya dövülebilir. Tavlanmış halde iken geleneksel talaşlı imalat teknikleri ile kesici takımlar kolayca üretilebilir. Son bilemeden önce, takımlara ısıl işlem uygulanır. Ostenitleme (1190-1270°C) ve genelde üç kez menevişleme (~550°C) ile makul ölçüde tokluk özelliği ile birlikte yüksek mukavemet ve yüksek sertlik (750 HV) kazanırlar. Yüksek hız çelikleri, 650°C'ye kadar olan işlem sıcaklıklarında kullanılabilir. Kesici takımlar tekrar tekrar bilenebilmektedir. Talaşlı işlemlerde eğilimin yüksek hızlara kayması nedeniyle yüksek hız çeliklerinin önemi giderek azalmaktadır. Bu takımlar metal kesme endüstrisinde (özellikle tokluk beklenen alanlarda) özellikle matkaplar, broşlar ve diğer tüm şekil verme takımları olarak önemli kullanım alanına sahiptirler [30].

Ergitme ve döküm tekniklerindeki gelişmeler takım kalitesini iyileştirmektedir. İnce karbürlerin daha üniform bir dağılımını sağlamak için, bazı kaliteler ön alaşımlanmış atomize tozların konsolidasyonu ile yapılmaktadır. Yöntemin pahalı olması, mikroyapısal avantajların kullanılmasını büyük ölçüde engellemiştir. Takım yüzeylerine, metal karbür ve nitrür ile ince kaplama yapılarak yüksek sertlik ve aşınma dayanımı elde edilmektedir. Böylece yüksek hız çeliğinden üretilmiş takımların performansında birkaç misli artış sağlanır. Düşük sıcaklıklarda (300–550°C) PVD yöntemi ile takım malzemesinin olumsuz yönde etkilenmesi engellenir. Buharda temperleme (mavileştirme) uygulanması ile takımın ömrünü artıran sert ve poröz mavi oksit film (Fe_3O_4) oluşturulur. TiC, TiN, HfN ve alumina kaplama yapılarak takım ömründe 2 ile 6 kat artış sağlanır. Yaygın olarak altın renkli TiN kaplamalar uygulanmaktadır [27,28].

Sert maden kesici takımlar; aşınmaya dirençli, yüksek sıcaklığa dayanıklı malzeme sınıfından olup, sert karbür parçacıklarının yumuşak ve sünek metallerle birleştirilmesiyle üretilirler. Önce tungsten karbür (WC) ile kobalt bağlayıcı kullanılarak döküm yöntemi ile güçlükle üretilmiştir. Daha sonra sürekli geliştirilmiştir. Talaş kaldırma işlemi dışında madencilik, inşaat, kaya delme ve metal şekillendirme gibi aşınmaya dirençli yerlerde uygulama alanlarına sahiptir. 40m/dak dan 350 m/min, kesme hızına kadar sertliğini ve kesiciliğini kaybetmeden kullanılırlar. Günümüzde en çok sinterlenmiş karbürü kesici takımlar kullanılmaktadır. Malzeme bileşimlerine göre değişik isimlerde adlandırılırlar [24].

Sermetler; genellikle toz metallurjisi tekniği ile metal ve seramik tozların bir araya getirilmesiyle üretilir. Őu anda sermet kesici takımlar, değişik oranlarda TiC, TiN, TaC, WC ve Mo₂C gibi sert malzemeler ile Ni, Co, Mo ve Al gibi metallerden oluşur.

Kesici takım olarak sermetler %20'den daha az bağlayıcı iğermeKtedirler. Bu malzemeler çelik ve dökme demirler için özellikle orta ve hafif yükler altında yüksek hızda yüzey operasyonlarında kullanılmaktadır. Buna karŐın, kaba ve darbeli işlemlerde, boşluklu ve pürüzlü yüzeylerde, sert dökümlerde, grafit ve sıcak iş takım çeliklerinde, demir dıŐı malzemelerde Al, Cu gibi yüksek oranda nikel iđerен malzemelerde (malzemelerdeki nikel ile sermetteki nikel birleŐme eğilimi göstermektedir) kullanılması halinde iyi sonuçlar vermemektedir [23].

Seramikler; seramiklerin en önemli bileŐeni alüminyum oksittir (Al₂O₃). Seramikler 1000-1100°C sıcaklıklarda bile sertliklerinden yitirmeyen yeterli mukavemet ve tokluk özelliği gösteren iŐ parçası malzemesi ile reaksiyona girmeyen malzemelerdir. Ömürleri sürekli yüksek olup, yüksek kesme hızları uygulanabilir. İŐlem koŐullarına göre doğru parametrelerin sečilmesi durumunda, yüksek talaŐ hacimlerinin kaldırılması mümkün olur [31].

Seramik kesicileri temel olarak üç sınıfta incelemek mümkündür. Bunlar Alüminyum oksit (Al₂O₃) iđerен seramikler, silisyum nitrür (Si₃N₄) iđerен seramikler ve kaplamalı seramiklerdir.

Seramik kesiciler diğer kesicilere oranla daha sert ve dolayısıyla kırılğan bir yapıya sahiptir. Seramik kesici takımların kullanıldığı tezgahlar rijit ve titreşimsiz olmalı son bitirme pasolarında yüksek kesme hızlarında kullanılabilen seramik kesicilerle, taŐlama kalitesinde yüzeyler elde edilmektedir [32].

Kübik bor nitrür (CBN); elmaŐtan sonra en sert kesici takım malzemesidir. Yüksek sıcaklık ve aşırı yüksek basınç altında sinterlenerek elmasa yakın özelliklere sahip olan bu malzemeler aşınmaya dirençlidirler. Kırılğan bir malzeme olmasına rağmen seramik malzemelere göre daha toktur.

Yüksek sıcaklık ve basınçta, küçük miktarlardaki seramik veya metal bağlayıcı %100 yoğunluktaki bor nitrür ile karıŐtırılarak üretilir. Kübik bor nitrürün sertliği, sıcaklık artıŐı ile azalmaktadır. Elmasla karıŐlaştırıldıđında kübik bor nitrürün en önemli avantajı, demir veya diğer metaller ile temasında veya havada yüksek sıcaklıkta sahip olduğu çok yüksek kararlılığıdır. Çok kristalli kübik bor nitrür endüstriyel alanda son birkaç yıldır kullanım alanı bulmaktadır. Ferro malzemeler ile

reaksiyon direnci ve mükemmel abrasif direnci ile kombine edilen kübik bor nitrür, diğer takım malzemelerden daha yüksek sıcaklıklarda ve daha yüksek hızlarda sert malzemelerin işlenmesinde kullanılmaktadır. Özellikle, elmasın kullanımını engelleyen hızlı aşınma olmaksızın yüksek hızlarda sert dökme demir ve sertleştirilmiş çeliğin kesimi için kullanılmaktadır. Ayrıca, süper alaşımlar (nikel ve kobalt esaslı), kübik bor nitrür kompozit kesici takımlarla, sement karbürlerden çok daha yüksek hızlarda işlenebilmektedir [23].

Elmaslar; elmas karbonun tetrahedral formudur ve en sert ve en yüksek çizme dirençli malzeme olarak bilinir. Morhs ölçeğinde sertlik numarası 10'dur Bu özellikler elması takım malzemesi olarak çekici kılar; ne var ki, endüstriyel alanda kullanılan doğal tek kristal elmasın küçük miktarları bile oldukça pahalıdır. Elmas 650°C'de hızla okside olmaya başlar ve atmosferik basınçta 1500°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda tekrar grafit dönüşür. Yüksek sıcaklıkta demir için karbonun kolaylıkla çözünmesi veya demire difüze olan grafit dönüşmesi sebebiyle ferro malzemelerin işlenmesinde elmas yeterli performansı sağlamamaktadır. Bununla birlikte, elmas takımlar yüksek silisyumlu dökme alüminyum alaşımları, bakır ve alaşımları, sinterlenmiş sement tungsten karbürler, silika cam ile doyurulmuş kauçuk, cam-fiber/plastik ve karbon/plastik kompozitler ve yüksek alüminalı seramiklerin işlenmesinde kullanılmaktadır [23].

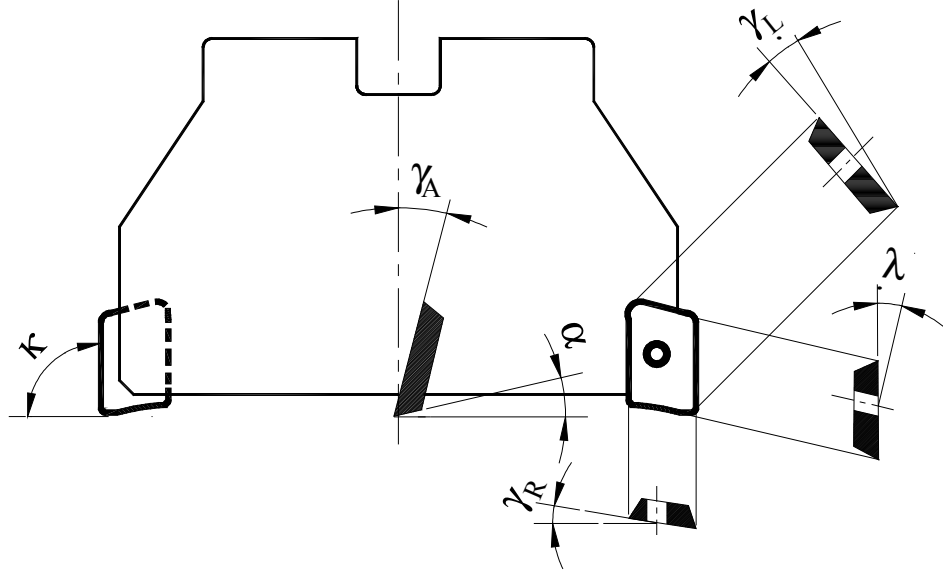
I.5. KESİCİ TAKIM GEOMETRİSİ

I.5.1. Takma Uçlu Alın Freze Çakısının Takım Geometrisi

Kesici takımlar, takım ve iş parçası arasında sürtünen temas alanını en aza indirmek için keskin uçlu olarak tasarlanırlar. Bununla beraber, bu uçların kesme kuvveti ve tezgah gücü, aşınma, takım ömrü ve tezgahın dinamik davranışlarına büyük etkisi vardır. Bir kesici takım üzerinde değişik açılar genellikle takım geometrisi olarak adlandırılır. Talaş kaldırma işlemlerinde kesme sırasında iş parçası ile kesici takım arasında oluşan kuvvetlerin bileşkesine kesme kuvveti denir.

Alın freze çakısı ile düzlem yüzey frezeleme yönteminde iki türlü kesici takım kullanılmaktadır. Alın freze çakıları tek parça halinde yüksek hız çeliğinden (HSS) imal edildiği gibi, sert maden uçların bir freze şaftı üzerine açılmış olan özel bağlama yerlerine takılmak sureti ile de imal edilmektedir. Takma uçlu alın freze çakıları,

kesici uçların freze shaftına yerleştirme açısı (κ) 45°, 60°, 75° ve 90° olacak şekilde yerleştirilerek bağlanmaktadır. Şekil I.7’de sert maden kesici uçlu alın freze çakısının takım geometrisi gösterilmiştir. Deneysel çalışmalarımızda sert maden kesici uçlu, konum açısı 90° olan ve sekiz kesici ağızı bulunan freze çakısı kullanılmıştır.



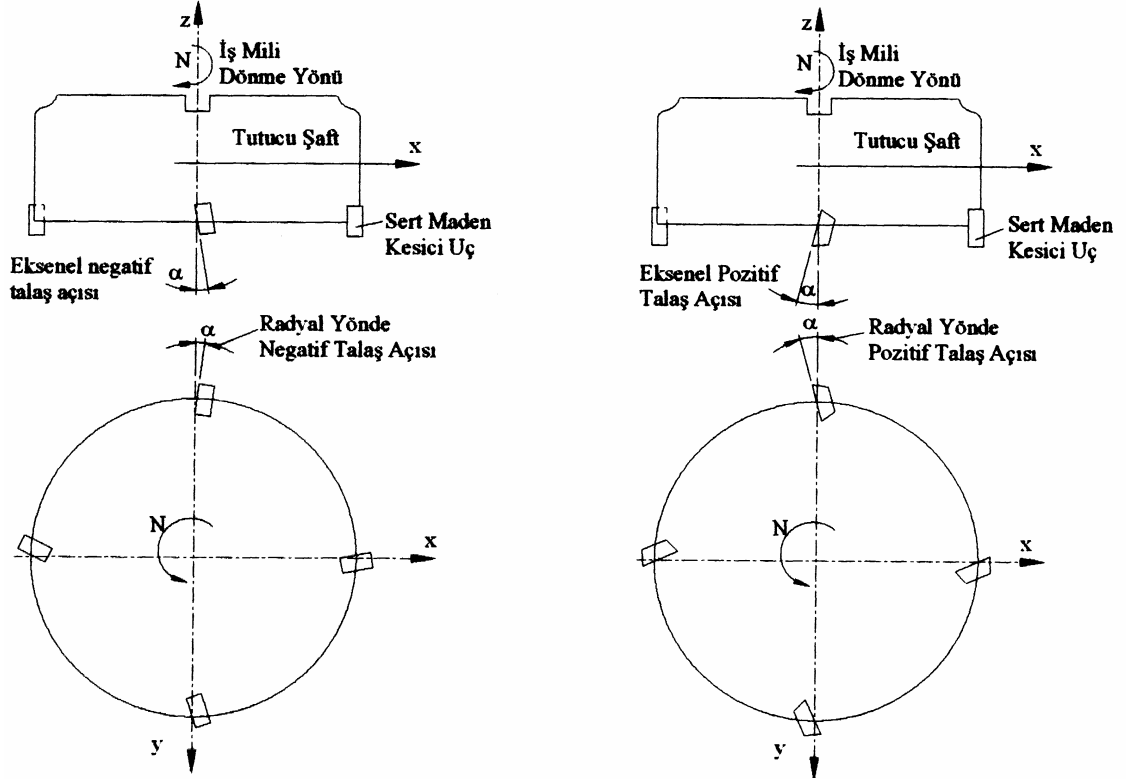
Şekil I.7 Sert Maden Uçlu Alın Freze Çakısının Takım Geometrisi [33].

Kesici takım geometrisini oluşturan açılar; yerleştirme açısı (κ), aksenal talaş açısı (γ_A), kesici takım yük açısı (γ_L), kesici takım radyal talaş açısı (γ_R), kama açısı (β), boşluk açısı (α), talaş açısı (λ) gibi açılardır. Boşluk açısı; kesici takım ucunun taban alt yüzeyinin işlenecek iş parçasına sürtünmesini önlemek amacıyla verilir. Kama açısı; kesici takım ucunun kesme özelliğinin sağlanması yani iş parçasına batmasını kolaylaştırmak için verilen bir açıdır. Bu açının değeri genellikle işlenecek parça malzemesine göre değişir. Talaş açısı; talaşın kesici takım yüzeyinden akarak uzaklaşmasını sağlayan açıdır. Aksenal talaş açısı; kesici takım ucunun iş parçasından talaş kaldırıp yüzeyinden talaşın aktığı açıdır [33].

I.5.2. Takma Uçların Freze Kafasına Bağlanması

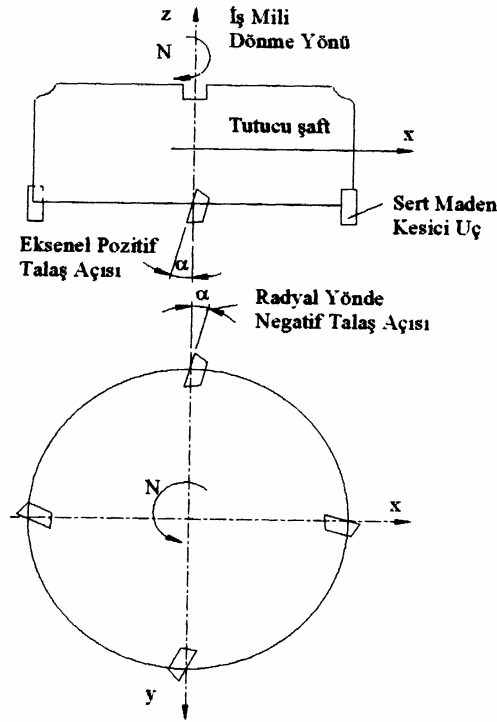
Frezeleme işlemi ile talaş kaldırmada esnasında, kesici takımın maruz kalacağı kuvvetin büyüklüğüne göre kesici uçlar bağlandıkları tutucu shafta aksenal ve radyal olarak farklı talaş açılarında bağlanmaktadır. Bunlar pozitif, nötr ve negatif talaş açılarında bağlanma durumlarıdır. Malzemenin talaşlı olarak işlenmesi zor olan durumlarda kesici uçlar, aksenal ve radyal olarak negatif talaş açılı olarak,

malzemenin talaşlı olarak işlenmesi kolay olan durumlarda ise kesici uçlar, ekstenel ve radyal olarak pozitif talaş açılı olarak bağlanırlar. Bu bağlama yöntemlerinin takım ömrü ve enerji sarfiyatı bakımından birbirlerine göre üstün yönleri bulunmaktadır. Şekil I.8 a,b,c'de sert maden kesici uçların freze kafasına ekstenel ve radyal olarak verilen talaş açılına göre bağlanması gösterilmektedir [22].



(a) Ekstenel ve Radyal Negatif Talaş Açısının Verilmesi.

(b) Ekstenel ve Radyal Pozitif Talaş Açısının Verilmesi.



(c) Eksenel Olarak Pozitif Yönde, Radyal Olarak Negatif Yönde Talaş Açısının Verilmesi.

Şekil I.8 Kesici Uçlara Eksenel ve Radyal Olarak Verilen Talaş Açılarının Gösterilişi [18].

I.6. MALZEMELERİN İŞLENEBİLİRLİĞİ

Metal ve alaşımlarının talaşlı işlemindeki en önemli husus, işlemin mümkün olan en düşük maliyetle, istenilen kalite beklentilerine uygun olarak gerçekleşmesidir. Bunu gerçekleştirmek için talaşlı imalatta işlenebilirlik kavramı ortaya çıkmıştır. Talaşlı işlenebilirlik; uygun kesme şartları belirlenmesinin yanında, kesici takım, iş parçası malzemesi yoğun etkisini içerir. Talaşlı imalatta işlenebilirliğin tespitine çalışılması, işlenecek malzemenin kimyasal ve fiziksel özelliğine uygun, kesici takım malzemelerinin ve takım geometrilerinin geliştirilmesini gerekli kılmaktadır. Bunun için son yıllarda hem iş parçası malzemelerinde hem de kesici takım malzemelerinde önemli gelişmeler olmuştur. Ayrıca değişik kesme işlemleri ve kesme parametreleriyle elde edilen sonuçların değerlendirildiği işlenebilirlik veri bankaları oluşturulmuştur.

Bütün bu gelişmelerin ana gayesi, talaşlı işlem sırasında kesici takım ve iş parçası malzemeleri arasında oluşan olumsuz ilişkiyi engellemektir. Kaldırılan talaşın kesici takım yüzeyine sürtünmesi ile meydana gelen sıcaklıktan dolayı, kesici takım aşınması oluşmaktadır. Kesici takım ile iş parçası arasındaki sürtünmeyi azaltmak ve yüksek kesme hızlarına ulaşmak için, kesici takım yüzeylerine çeşitli

kaplamalar yaparak ve farklı geometrilere kesici takımlar imal ederek kesici takımların performansı artırılmıştır.

Malzemelerin bileşimindeki elementler kesici takım ömrünü direkt etkilemektedir. Örneğin, çelik içerisindeki karbon miktarı azaldıkça süneklik artar ve talaşlı işlenebilirlik özelliği düşer. Çünkü süneklik arttığından ve sünek malzemelerin işlenmesi esnasında çıkan talaş kesici takım ucuna yapışarak körlenmesini hızlandırır. Diğer taraftan karbon oranı arttıkça malzemelerin sertliği arttığından, sertlikte kesici takım aşınmasını hızlandırır. Bu nedenle çelikler için en iyi talaşlı işlenebilirlik kabiliyeti %0.2 C içerikli çelik malzemelerdir. Çelik içerisindeki alaşım elementleri miktarı değiştirilerek, kesici takım ömrünün artırılması, daha iyi yüzey kalitesi elde edilmesi, sıcaklık oluşumunun azalması ve talaş kaldırma işlemi için daha az güç sarfiyatı gereksinimi sağlanır.

Mekanik özelliklerde malzemelerin sertliği ve kopma dayanımı arasında bir ilişki mevcuttur. Bir malzemenin sertliği ve kopma dayanımı arttıkça o malzemenin talaşlı işlenebilirliği zorlaşmaktadır. Örneğin, yüksek alaşımlı çelikler ve paslanmaz çeliklerin talaşlı işlenebilirlik özelliği çok düşüktür. Bu tür malzemeler zor işlenir. Bunun nedeni ise alaşımında Ni, W, ve Mn gibi elementlerinin olmasından kaynaklandığı ileri sürülmektedir [34].

Talaşlı işlenebilirliği; kesici takım malzemesi, iş parçası malzemesi, talaşlı imalat yöntemi, takım tezgahı, kesme koşulları, yüzey kalitesi, imalat maliyeti gibi etkenler belirler. Talaşlı imalatta bir malzemenin işlenebilirliği için kesici takım ömrü, kesme hızı ve ilerleme, talaş kaldırma miktarı, kesme kuvvetleri, yüzey kalitesi ve talaş şekli gibi kriterler dikkate alınarak değerlendirilmeye tabi tutulur.

Malzemelerin talaşlı işlenebilirliği, kesme koşulları sabit tutularak genellikle belli bir takım ömrü için malzemenin kesme hızlarını karşılaştırmak suretiyle ölçülür. Karşılaştırmada işlenmesi en zor olan ve belli bir takım ömrü için en düşük kesme hızı gerektiren bir malzeme alınır. Böylece talaşlı olarak işlenecek malzemenin aynı koşullardaki kesme hızları karşılaştırılarak izafi olarak talaşlı işlenebilirlik özelliği tespit edilir [24].

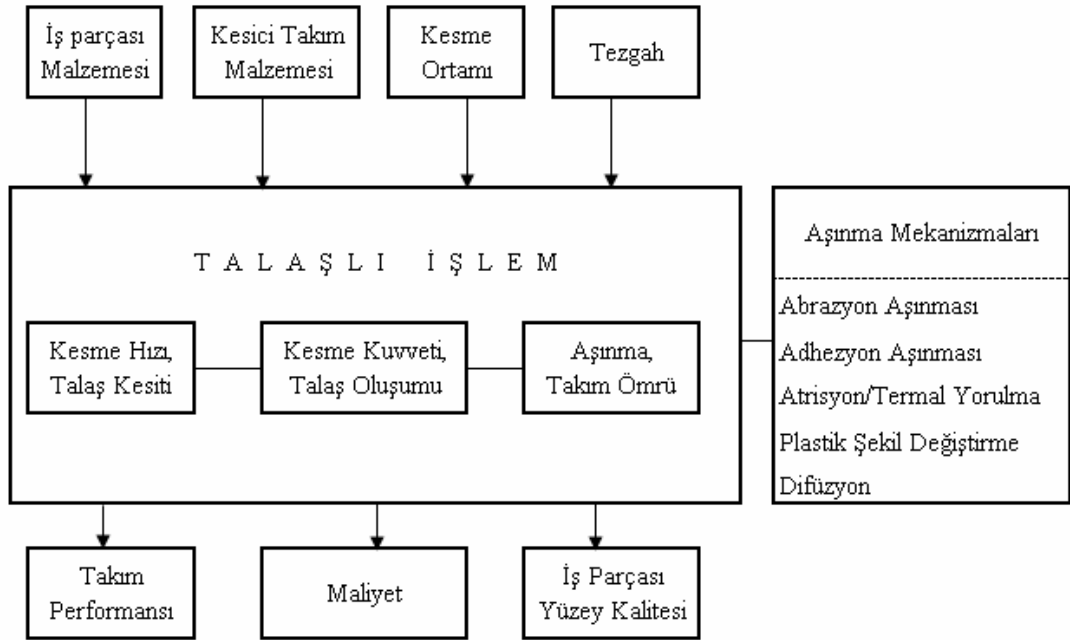
Frezeleme işleminde kesici takımlar ile talaş kaldırma esnasında imalatı yapılan malzemenin, kesme kuvvetlerine karşı göstermiş olduğu direnç talaş kaldırma kabiliyeti denir. Talaş kaldırma kabiliyeti; işlenecek malzemenin kimyasal bileşimindeki elementlerin türüne, malzemenin kristal kafes yapısına, kayma düzlemine ve mekanik özelliklerine bağlı olduğu gibi talaş kaldırma işleminde

kullanılan kesici takım çeşidine, frezeleme yöntemine, kesme zamanına ve işlenecek yüzeyin kalitesine bağlı olarak değişmektedir.

Talaş kaldırma kabiliyetini etkileyen faktörler aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

- İşlenecek malzemenin kimyasal ve mekanik özellikleri,
- Kesici takımın kimyasal ve mekanik özellikleri,
- Kesici takım geometrisi,
- Talaş kaldırmada frezeleme yöntemi,
- Kesici takımın ve iş parçasının bağlama rijitliği,
- Talaş kaldırma parametreleri,
- Takım tezgahının rijitliği gibi sıralanabilir [18].

Malzemelerin talaşlı işlenebilirliğine etki eden nedenler kısaca; malzemenin mikro yapısının etkisi, malzemenin ısıl işleminin etkisi, bileşimindeki alaşım elementlerinin etkisi ve mekanik özelliklerinin etkisi gibi sıralanabilir. Şekil I.9'da talaşlı işlemden işlenebilirliği etkileyen faktörler gösterilmiştir.

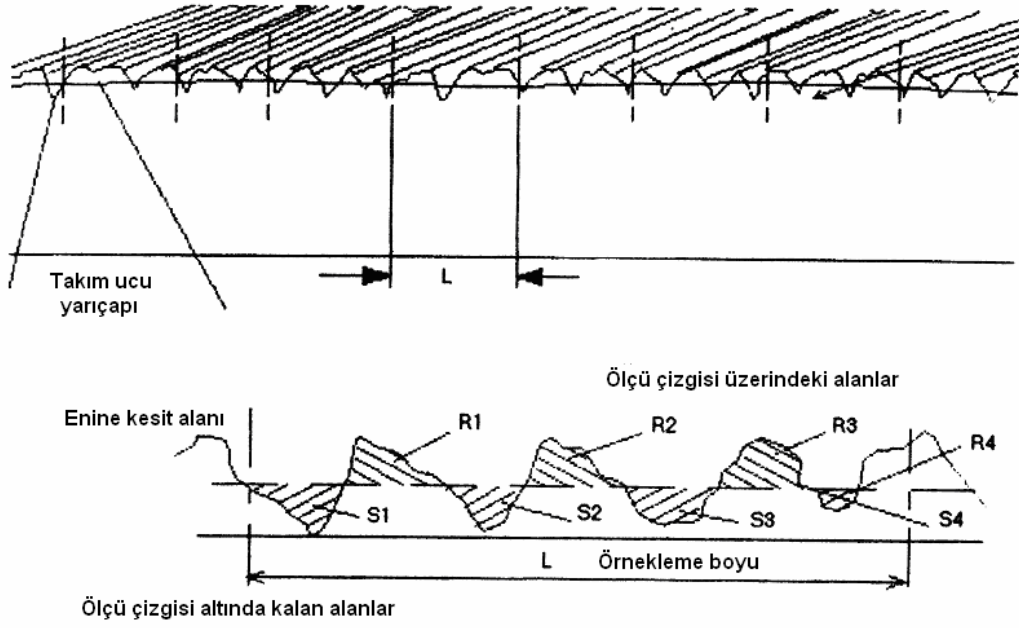


Şekil I.9 Talaşlı işlemden işlenebilirliği Etkileyen Faktörler [35].

I.7. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ

Yüzey kalitesi, parça yüzeyinde genellikle kesici takımın bıraktığı izlerden ve baskılardan meydana gelir. Yüzey kalitesi; kabalık, dalgalık, izler ve hatalar olmak üzere dört elemandan oluşmaktadır.

Yüzey pürüzlülüğü Şekil I.10'da görüldüğü gibi bir takım girinti ve çıkıntılardan meydana gelmektedir. Ölçme tekniğinin gelişmesiyle bu düzensizlik kolayca ölçülebilmektedir. Ayrıca bu tekniğe uygun olarak yüzey pürüzlülüğünü objektif bir şekilde ifade eden ve uluslararası kabul edilen bir sistem geliştirilmiştir.

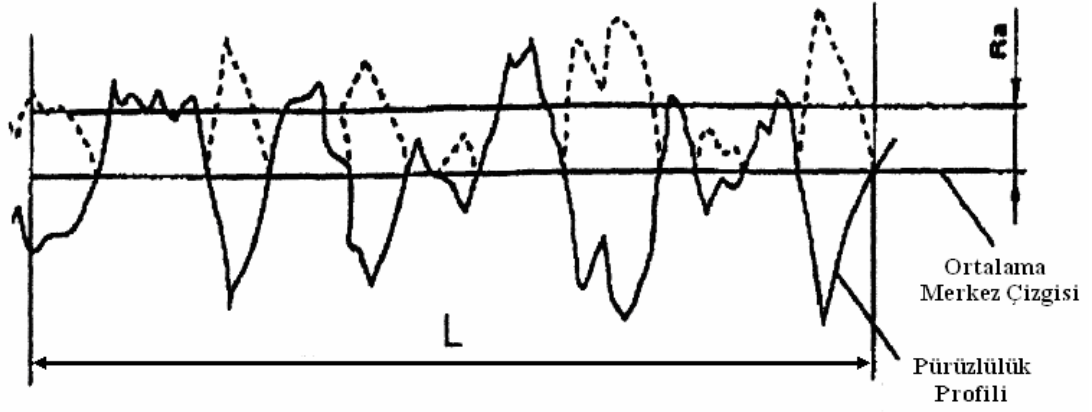


Şekil I.10 Yüzey Pürüzlülüğünün Üç Boyutlu Gösterilmesi ve Yüzey Profili

Bu sisteme göre pürüzler, yüzeylere dik olan kesite göre takdir edilir. Bu kesitte numune uzunluğu boyunca pürüzlerin şeklini gösteren profilin ortalama çizgisine göre ortalama sapmaları tayin edilir. Şekil I.11 Profil ile ortalama çizginin üstünde ve altında kalan alanların toplamı birbirine eşit olmak üzere bu çizginin yeri tayin edilir. Yüzey pürüzlülüğü profilin aritmetik ortalama yüksekliğidir ve R_a ile gösterilir. Böylece referans olarak profilin ortalama çizgisi alınırsa, yüzey

pürüzlülüğü; $R_a = \frac{1}{L} \int |x| dx$ veya $R_a = \frac{|X_0| + \dots + |X_n|}{n}$ bağıntısı ile ifade

edilir. Burada X_0 , X_n geometrik ortalama pürüz yükseklikleri ve n numune uzunluğuna tekabül eden pürüz sayısıdır [36].



Şekil I.11 Ra ortalama pürüzlülük değerinin gösterilmesi [37].

Yüzey yapısındaki profil için en önemli ölçme tekniği mekanik-elektronik pürüzlülük ölçme aygıtı kullanılmakta olup, küçük radyüslü elmas uçlu iğne, talaşlı olarak işlenmiş yüzey çizgileri üzerinden geçmesi esnasında yüzey profilinden alınan pürüzlülüğü okuyarak çıktı olarak gösterir. En genel olan standart elmas iğnenin eğrilik yarıçapı $10\mu\text{m}$ dir. Ancak araştırmalarda $2,5\ \mu\text{m}$ kadar küçük radyüslü iğne uçları da kullanılmaktadır. Her zaman 0.8mm genişliğinde işlenmiş yerde uygulanabilir. Toplam iğne yer değiştirme mesafesi genellikle işleme genişliğinin 20-60 katı kadardır. Elektronik devreli aygıtlar ile kesilme genişliği üzerinde sürekli olarak ortalama değerler okunur. Elektronik yüzey ölçme aygıtları genellikle pürüzlülüğü gösterirken yüzeyin fiziksel karakteristiğini göstermezler [20].

Yüzey kalitesine etki eden birçok faktörler bulunmaktadır. Parçanın talaşlı imalatı sırasındaki kesici takım hatalarına ve kesme esnasındaki meydana gelen titreşime bağlı olarak iş parçasının yüzeyinde geometrik hatalar meydana gelir. Kesici takım hataları, kesici ağızların aksel ve radyal olarak hatalı yerleştirilmesi, kesici ağızların kesme esnasında kesme kuvveti etkisi altında şekil değiştirmesi ve takım aşınması olarak karşımıza çıkar. Freze tezgahlarında kesici takımın dönme eksenindeki açıdan dolayı eksantriklik hatası meydana gelir. Bu hata işlenen yüzeyde iç veya dış bükeylik meydana getirir. Bütün bu hatalar beraberinde işlenen yüzeylerin pürüzlü çıkmasına ve yüzey kalitesinin kötüleşmesine neden olmaktadır. Talaşlı imalat esnasında meydana gelebilecek hataları ortadan kaldırmak için imalat öncesi kontrollerimizi çok iyi yapmamız gerekir [20].

BÖLÜM II

II.1. MİKROALAŞIMLI ÇELİKLERİN TANIMI

Mikroalaşımli çelikler mekanik özellikleri açısından yüksek mukavemetli, düşük alaşımli çelikler (HSLA çelikler, High Strength, Low Alloyed Steel) olarak isimlendirilirler. Son yıllarda üretilen miktar açısından en önemli gelişmesini gösteren mikroalaşımli çelikler, öncelikle imalat çeliklerinin mukavemet kapasitelerinin yetersizliği nedeniyle geliştirilmiştir.

Mikroalaşımlama düşük karbon içeren çeliklerden ötektoid kompozisyonlu çeliklere kadar uygulanmaktadır. Mikroalaşımli çelikler yassı ve dövme mamullerinde alaşım tasarımı özellikle karbon (C) miktarında büyük farklılıklar göstermektedir. Yassı mamullerde karbon miktarı % 0,05-0,15 arasında değişmesine rağmen dövme mamullerinde ise günümüzde dövme işlemi sadece kontrollü soğutma mekanizmasıyla çalıştığından %0,25'lik karbon oranı alt sınır olarak görülmektedir. Kimyasal bileşimine niobyum (Nb), titanyum (Ti) ve vanadyum (V) gibi elementler yalnız, ikli ve üçlü kombinasyonlar halinde mikroyapı içerisinde oluşturdukları karbonitrür çökeltileri ile tane boyutunu incelterek tokluk ve mukavemeti birlikte artırır. İlave olarak gerçekleşen çökelti sertleşmesi mekanizmasıyla mukavemet bir kez daha artar.

Mikroalaşımlama adından da anlaşılacağı gibi çok az miktarda alaşım elementi katkılarında meydana gelir. Genelde mikroalaşım, niobyum (Nb), titanyum (Ti) ve vanadyum (V) gibi karbür, nitrür veya karbonitrür oluşturan elementlerden toplam olarak maksimum %0.25 oranında element içerir. Ayrıca alüminyum (Al), molibden (Mo) ve bor (B) da mikroalaşımlama elementleri olarak kullanılmaktadır [35,38,39].

Mikroalaşımli çelikler orta karbonlu ıslah çelikleri yerine geçmesi için geliştirilmiştir. Mikroalaşımlama ile aynı anda değişik sertleştirme mekanizmaları ve uygun termomekanik işlemler uygulanmış ve öncelikle arzulanan mukavemet ve tokluk artırımı sağlanmıştır. Tane inceltme mekanizması ile mukavemet ve tokluk artırılmakta, çökelti ve dislokasyon sertleşmesi mekanizmaları ile mukavemet artış miktarı daha da artmaktadır. Düşük sıcaklıkta gevrek kırılma emniyeti ve kaynaklanabilirlik gibi değişik çok iyi özelliklere sahip bir malzeme gurubudur. Üretim biçimlerine göre yassı ve dövme mamuller olarak iki guruba ayrılır.

Uygulama alanı yassı mamullerde gaz, petrol boru hattı, off-shore konstrüksiyonlarda kullanılan sac ve levhalar v.b. dövme mamüllerinde ise genellikle otomotiv sanayiinde kullanılmaktadır [40,41].

Yassı mamüller mikro alaşımlamayla birlikte uygun bir termomekanik işlemin uygulanması gerekir. Kontrollü haddeleme adı ile gerçekleştirilen bu işlemden, genelde 1000-1200 °C'de yapılan ön deformasyona, düşük sıcaklıklarda (700-800°C) son bir deformasyon eklenir. Haddeleme sonrası değişik soğuma hızları kullanılarak mikroyapının ince taneli ferrit veya beynitten oluşması sağlanır. Soğuma şartlarına bağlı olarak az miktarda perlit veya martenzit yapı elde edilir.

II.2. MİKROALAŞIM ELEMENTLERİNİN ROLÜ

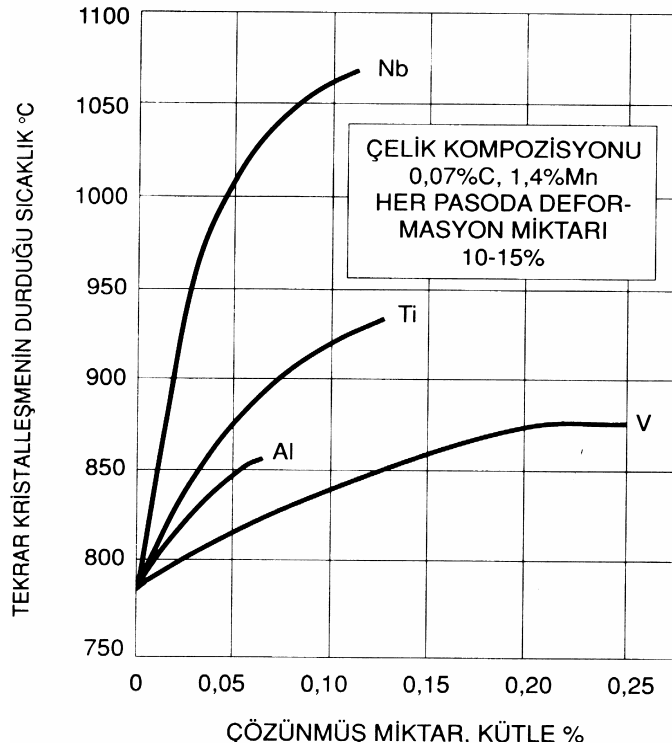
Birçok HSLA çelikleri yapılarında birden çok mikroalaşım elementi bulundurmaktadırlar. Mikroalaşım elementlerin ana rolü; tane boyutunu küçültmek ve çökeltme sertleşmesine katkıda bulunmaktır. Genelde mikroalaşım niobyum, titanyum ve vanadyum gibi karbür, nitrür ve karbonitrür oluşturan elementlerin küçük miktarını içerir [42].

Termomekanik işlem sırasında bu alaşım elementleri aşağıda verilen fonksiyonların birini veya bir kaçını yerine getirirler.

- Östenitleştirme sırasında östenit tane büyümesinin geciktirilmesi,
- Yeniden kristalleşmeden sonra ikincil tane büyümesinin geciktirilmesi,
- Yeniden kristalleşmenin geciktirmek veya önlemektir.

Mikroalaşım elementlerinin ikinci rolü ise östenit dışında çökeltme sertleşmesi sağlamasıdır. Mikroalaşım elementlerine ve termomekanik işleme bağlı olarak, östenitte çözülmüş mikroalaşım elementlerinin sadece bir kısmı çökeltir. Çökeltide kalanlar dönüşümden sonra veya dönüşüm sırasında çökeltir. Mikroalaşım elementleri ele alındığında her elementin östenitte çözünürlüğüne bağlı olarak etkisi farklıdır. Niobyum, titanyum ve vanadyumun karbon ve azotla bileşik oluşturma şiddeti farklıdır. Niobyum östenitte küçük çökelti oluşumlarıyla düşük sıcaklıkta tokluğun eldesinde önemli rol oynar. Ancak yüksek niobyum içeriği sınırlandırılmıştır; çünkü uygulamada niobyum karbonitrürleri östenitleştirmede kısmen çözünmeden kalır [43].

En etkili mikroalaşım elementi niobyumdur. Tipik sıcak işlem sıcaklıklarında, düşük miktarlarda bile östenit içi çözünen niobyumun yeniden kristalleşmeyi geciktirici etkisi oldukça büyüktür. Mikroalaşım elementlerinin östenit yeniden kristalleşmesine etkisi şekil II.1’de gösterilmiştir. Niobyum mukavemet ve tokluğun artmasında da etkilidir, çünkü niobyum deforme edilmiş östenit tanelerinin yeniden kristalleşmesini geciktirir ve tane boyutunu küçültür. Vanadyum ise çökeltme sertleşmesine etkisinden dolayı çeliğin akma mukavemeti, artan vanadyum miktarı ile artar. Tane inceltme etkisinin zayıf olması nedeni ile vanadyum tokluğa etkisi negatiftir. En yüksek tane küçültme etkisi niobyumdadır. Titanyumda ise çökelti sertleştirme karakteristiği ile vanadyuma benzer. Östenit tane küçültücü etkisi ise niobyum ile vanadyum etkileri arasındadır [44,45].



Şekil II.1 Mikroalaşım Elementlerinin Östenit Yeniden Kristalleşme Sıcaklığına Etkisi [35].

Mikroalaşım elementlerinin dışında HSLA çelikleri %1.5 Mn içerirler. Karbon miktarı ise kullanım alanı ile alakalıdır. Tokluk ve kaynaklanabilirlik özelliklerine negatif etkisi yüksek olduğundan günümüz mikroalaşımli çeliklerde karbon oranı % 0,1’in altına düşmüştür. Niobyum, titanyum, vanadyum ve alüminyum tane büyümesini geciktiren elementlerdir [46,47].

II.3. MİKROALAŞIMLI ÇELİKLERİN ÜRETİM AŞAMALARI

Çelik endüstrisinde mikroalaşımli çeliklerin üretimi aşağıdaki dört ana aşamada gerçekleştirilmektedir.

1. Döküm,
2. Östenitleme (Çözündürme Tavlaması),
3. Haddeleme (Sıcak Plastik Deformasyon),
4. Soğutma.

Bu dört aşamadan en önemlileri çözündürme tavlaması ve haddelemedir.

Mikroalaşımli çeliklerin üretiminde temel mantık kimyasal analiz ayarlamalarında karbon, fosfor gibi elementlerin ağırlıkça % oranları mümkün olduğunca düşük tutarak talaşlı şekillendirilebilirlik ve kaynak edilebilirlik özelliklerini azaltmadan çökeltme ve tane küçültme sertleşmesi mekanizmaları kullanarak mukavemetinin artırılmasını sağlamaktır. Bu mekanizmalar çelik içerisinde bulunan mikroalaşım elementlerinin çeliğin katılaşması sırasında oluşan karbür, nitrür ve karmaşık karbo-nitrür çökeltileri sayesinde çalışmaktadır [48,49].

Alaşım elementlerinin en önemli özelliği belli bir fazın oluşumunu geliştirmek veya onu kararlı hale getirmektir. Bu özelliği veren alaşım elementleri; östenit oluşturucu, ferrit oluşturucu ve nitrür oluşturuculardır.

Östenitleştirme işlemi olan tavlama (1200–1300°C) konvensiyonel hadde öncesi kütük tavlamasında farklılıklar gösterir. Katılaşmada oluşan vanadyum, titanyum ve niobyum karbürlerin etkisini maksimum seviyede kullanmak için çelik içi tüm mikroalaşım elementlerinin östenit tanesinin büyümesine imkan tanımadan çözündürmek gerekir. Bu aşamada sıcaklık, mikroalaşım elementlerinin çözünmesine izin verecek kadar yüksek, fakat tane büyümesine neden olmayacak kadar da düşük olmalıdır [48,50].

Haddeleme ve dövme üretim aşamaları dikkate alınarak mikroalaşımli çelikler yassı ve dövme ürünler olmak üzere iki ana grupta toplamak mümkündür.

II.4. MİKROALAŞIMLAMA VE KONTROLLÜ HADDELEME

Kontrollü haddeleme işlemi genellikle iki veya üç basamak içermektedir. Yüksek sıcaklıkta deformasyon (roughing) daima östenitin yeniden kristalleştiği sıcaklık aralığında yapılır ve düşük sıcaklıkta haddeleme (finishing) östenitin yeniden

kristalleşemediği sıcaklık aralığında yapılır. Eğer yüksek ve düşük sıcaklıklarda haddeleme (deformasyon) sürekli ise işlem sıcak haddeleme, işlem süreksiz ise kontrollü haddeleme olarak isimlendirilir [40].

Kontrollü haddeleme yöntemiyle yüksek mukavemet ve yüksek tokluk sağlamak mümkündür. Kontrollü haddeleme terimiyle haddeleme işleminde en son pasonun herhangi bir yeniden kristalleşme oluşmasını önlemek için veya eğer oluşursa herhangi bir tane büyümesini önlemek için düşük sıcaklıkta verilmesi anlamına gelir. Mikroalaşımlandırmayla sağlanan etki, bu sınırlayıcı son paso sıcaklığını yükseltici niteliktedir [51].

Soğuma sırasında ostenitin dönüşümü ile oluşan ferrit tane boyutu az karbonlu çeliğin mukavemet ve tokluğunu kontrol etmede anahtar bir faktördür. Mukavemeti ve tokluğu en yüksek olan yapı çelikleri, tane küçültmek amacıyla Al, Nb ve V mikro-alaşımlama elementlerinin ayrı ayrı ya da toplu olarak çeliğe ilavesi ile geliştirilmiştir. Karbo-nitrür yapıcı elementlerden Nb ve V, çeliğin çökme sertleşmesi işlemini olumlu yönde etkilemektedir. Çoğu durumda, ferrit tane yapısında maksimum küçülmeyi elde edebilmek için çeliğe düşük sıcaklıkta kontrollü haddeleme işlemi uygulanmaktadır. Kontrollü haddeleme ince plakalar için oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır [52,53].

Makul fiyatla malzemenin performansını geliştirmek için, yapı çeliklerinde mikroalaşımlandırma ve kontrollü haddelemenin birleştirilmesi; çeliklerin geliştirilmesinde son 50 yıldaki en önemli buluşlardan birisidir. Bu gelişmede itici güç, çeliklerden istenen özellik kombinasyonu olarak yüksek mukavemet, iyi kaynaklanabilirlik ve düşük darbe geçiş sıcaklığı talebidir. Bu özelliklerden iyi kaynaklanabilirlik özelliğinin sağlanamamasının neden olduğu, kaynaklı yapının hasarına örnek olarak II. Dünya savaşı sırasında ve sonrasında Liberty gemisinin hasarı verilebilir. 1950'lerden önce, ferrit tane boyutunun küçültülmesinin, akma mukavemetine ve sünek-gevrek geçiş sıcaklığına iyileştirici yönde etkisi ispatlanmıştır. Tane boyutunun küçültülmesi, mukavemeti artırma işlemlerinde tercih edilir. Yüksek mukavemet, tane boyutunu küçültmeye ek olarak, mikroalaşım çökelmeleri ile de elde edilir.

Mikroalaşım çökelmelerinin darbe tokluğunu düşürücü etkisi, tane boyutunu küçültme ile yeterince dengelenebilir. Bu, perlitik ve ferritik çeliklerin C eşdeğeri ($CE = \% C + \% Mn/6$) ile mukavemet artırıcı geleneksel işleminden ayrılmalıdır.

Uygun mukavemeti elde etmek ve aynı zamanda tokluğu, soğuk şekillenebilirliği ve kaynaklanabilirliği geliştirmek için; C içeriği yarı yarıya, hatta daha fazla düşürülmelidir.

Sıcak haddeleme sırasında, hem tane boyutunun hem de mikroalaşımlandırma çökmesinin kontrolü için, kontrollü haddeleme veya termomekanik süreç (TMP) uygulanmaktadır. Bunlardan farklı olarak tane boyutu kontrolü ile ilgili olarak 3 değişik yöntem vardır.

1. Kontrollü sıcaklıkta tekrarlanan östenit yeniden kristalleşmesi ile sıcak haddeleme,
2. Yeniden kristalleşme sıcaklığı altındaki sıcaklıklarda yüksek deformasyonlarda haddeleme ile yeniden kristalleşmemiş yassı östenit taneleri elde etme,
3. Düşük sıcaklıklarda östenit-ferrit dönüşümü.

1. ve 2. sıradaki yöntemler yüksek östenit arayüzey alanı oluşturduklarından ve ferrit çekirdeklenmesi de temel olarak tane sınırlarında olduğundan, yapıdaki ferrit miktarını artırır. Yöntem 3'deki düşük dönüşüm sıcaklığı aşırı soğuma nedeniyle yoğun bir ferrit çekirdeklenmesini sağlar ve böylece de ince taneler oluşur.

Geliştirilen ilk kontrollü haddeleme uygulaması yöntem 2 ile yapılmıştır. Düşük yeniden kristalleşme bitiş sıcaklığı nedeniyle, yeniden kristalleşme gerçekleşmeden haddeleme uygulaması olanaksızlığına karşı, gerekli miktarda mikroalaşımlandırma yapılmıştır. Genel olarak kullanılan mikroalaşımlandırma elementleri olan Nb, Ti, V'dan Nb; deforme edilmiş östenitin yeniden kristalleşmesini etkin şekilde yavaşlatmaktadır ve bu yüzden de bu tür kontrollü haddeleme için tercih edilen element haline gelmiştir. Östenit tanelerinin yeterince yassılaştırılması için genellikle yeniden kristalleşme bitiş sıcaklığının altında % 70 kadar indirgeme yapılması gerekmektedir. Nb ile mikroalaşımlandırma işlemi ile kolayca yaklaşık 1000°C yeniden kristalleşme bitiş sıcaklığı elde edilebilmekte ve böylece sac haddelemede 800°C civarında uygun bitiş sıcaklıkları kullanılabilir.

Bu uygulama kısmen düşük sıcaklıkta yüksek deformasyon gerektirmektedir ve bu yüzden geleneksel sac üretimlerinde uygulanması, ağır hadde yükü uygulaması nedeniyle olanaksız olabilmektedir. Geleneksel yöntemlerle çok hızlı haddeleme ile işlenen uzun ürünler için kontrollü haddelemeye özgü düşük yeniden kristalleşme

bitiş sıcaklığının hedeflenmesi pratik değildir. Bu yüzden son 20 yıl içinde yöntem 1'e dayanan kontrollü haddeleme uygulaması ve mikroalaşımli çelikler geliştirilmiştir. Bu yöntemle yeniden kristalizasyon ve geçişlerdeki tane büyümesinin önlenmesi sayesinde, yöntem 2 ile aynı ferrit tane arttırımını yakalamak olanaklıdır. Bu yöntem "Yeniden Kristalleşme Kontrollü Haddeleme" olarak literatüre geçmiştir. Direkt olarak sürekli dökümde, katılaşma esnasında ve sonrasında oluşan TiN dağılımının, söz konusu tane büyüme olayını önlemede oldukça etkili olduğu kanıtlanmıştır. Klasik kontrollü haddelemede, yeniden kristalleşmeden östenitin büyük miktarda deformasyonu için, yüksek bir yeniden kristalleşme bitiş sıcaklığı gereklidir. Bunun tersi yeniden kristalleşme kontrollü haddeleme için geçerlidir. Burada tekrarlanan yeniden kristalleşme ile östenit artımı için daha geniş bir proses penceresi sağlayacak düşük bir yeniden kristalleşme bitiş sıcaklığı tercih edilmektedir. Sonuç olarak; yeniden kristalleşmeyi biraz yavaşlattığı bilinen V ve Ti elementlerinin mikroalaşım kombinasyonları bu tür kontrollü haddeleme için tercih edilmektedir. Azotun % 0,010 oranlarındaki kontrollü içeriği, genellikle, tane büyümesini önleyen ince dağılmış TiN oluşumunu sağlar ve ferrit fazda VN'nin çökmesi ile mukavemetin artışına katkı sağlar [54].

II.5. YASSI ÜRÜNLER

Mikroalaşım elementlerin arzulanan özellikler doğrultusunda verimli kullanabilmek için sıcak deformasyon, kontrollü haddeleme işlemlerine gereksinim vardır. Termomekanik işlem olarak da adlandırılan kontrollü haddeleme ve nihai soğutma üç değişik üretim şekli oluşmasına olanak tanımıştır. Tüm bu üretim tiplerinde kontrollü haddeleme genelde iki ayrı sıcaklık basamağında yapılmaktadır.

1. Yüksek sıcaklıkta plastik deformasyon, daima östenitin yeniden kristalleştiği bölgedeki sıcaklık aralığında yapılır.
2. Düşük sıcaklıkta plastik deformasyon, östenitin yeniden kristalleşmediği sıcaklık aralığında ve bazı koşullarda östenit/ferrit iki faz bölgesinde yapılır.

Östenitin yeniden kristalleştiği bölgede deformasyon, yüksek sıcaklıklarda (ortalama 1100–1200°C) östenit tane boyutu, birbirini izleyen deformasyon ve yeniden kristalleşme ile mümkün olduğu kadar küçültülmelidir [35]. Östenitleme sıcaklığına bağlı olarak, mikroalaşım elementleri ya tane küçültücü ya da çökeltme

sertleştiricisi olarak etki eder. Artan östenitleştirme sıcaklığı ile mikroalaşım elementleri de artarak östenitte çözünür. Ancak yüksek östenitleştirme sıcaklıkları tane büyümesine neden olabilir. Düşük sıcaklıklarda ise daha fazla miktarda mikroalaşım çökeltileri östenitte çözünmeden kalacaktır. Bu çökeltiler tane sınırı hareketine engel teşkil ederek daha küçük östenit tane boyutunu mümkün kılar. Haddelemede etken faktörler hadde sıcaklığı yanı sıra deformasyon derecesi, deformasyon süresi hadde geçişleri arası süredir. En küçük yeniden kristalleşmiş tane boyutu yeniden kristalleşme için gerekli kritik değerin üzerinde deformasyon uygulaması ile elde edilebilir [55].

Östenitin yeniden kristalleşmediği bölgede deformasyon, yeniden kristalleşme sıcaklığı altında yapılan deformasyonla östenit tanelerin yeniden kristalleşmesinin engellenmesi sonucu mikroyapı yoğun deforme edilmiş ve uzamış östenit tanelerinden oluşur. Bu bölgede deformasyon miktarının yüksek olması gerekir. Deformasyon miktarındaki artma ile östenit taneleri incelerek uzar. Paralel olarak artan mikroyapısal hata miktarıyla dağılım üniform hale gelir.

Östenit-Ferrit çift faz alanında deformasyon, deformasyonun ferritin kararlı olduğu sıcaklıkta yapılmasıyla yüksek miktarda deforme edilmiş östenit tane sınır yüzeylerinde ferrit çekirdeklenir. Kendisinin de deforme edildiği ferritte toplama ve/veya yeniden kristalleşme meydana gelir.

II.5.1. Alaşım Elementlerinin Hadde Ürünlerine Etkisi

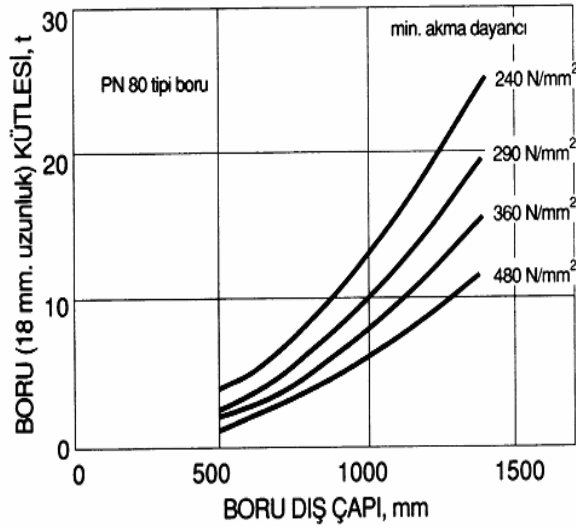
Mikroalaşımli çeliklerin kompozisyonu genelde %0.05-0.1 C, %0.3 Si ve %1.5 Mn ile mikroalaşım elementleri (V, Ti, Nb) içerir. Tarihsel gelişimi içerisinde mikroalaşım elementlerinin artan hassas dengelenmesiyle C miktarı giderek azaltılmış, Mn miktarı ise arttırılmıştır. Alaşım dizaynını yönlendiren ilk etken akma mukavemetidir.

İlk önce 355 MPa'lık akma mukavemeti arzulanmıştır. Standart yapı çeliklerine Mn ve Si katkısıyla elde edilen katı eriyik sertleşmesine, Alüminyumla yapılan tane inceltmesi eklenerek bu hedefe erişilmiştir.

Gelişmede ikinci etap 500 MPa'lık minimum akma dayancı olmuştur. Bu hedefe ulaşmak için temel alaşım elementleri sabit tutulmuş ve –termomekanik işleme elde edilen- tane inceltmesine ilaveten çökelti sertleşmesi katkısı yapılmıştır.

Günümüzde ise termomekanik işlem ve su verme ile mikroalaşım sal dizaynda hassas katkılarla 700 MPa'lık akma dayancına erişilmiştir.

Alaşımsal dizaynın genel anlamda mukavemete bağılı olarak gösteriminin ana nedeni, artan mukavemetle beraber kütle tasarrufunun eldesidir. Mikroalaşımlama yöntemiyle imal edilen çeliklerin, yüksek akma mukavemetinden dolayı ağırlıklarını büyük ölçüde azaltmak mümkündür. Bu çeliklerin ısıtıl işlem uygulanabilen çeliklerin yerine geçmesi enerji sarfiyatının ve maliyetini azaltmaktadır. Alaşım elementler arasındaki niobyum çeliğin çekme mukavemetini arttırmaktadır. Mikro alaşımlı çeliklerde alaşım elementleri miktarı ile mikro yapı parametreleri ve mekanik özellikler arasında doğrudan ilişki vardır. Kontrollü sıcak haddeleme yöntemiyle bu tür çeliklerde yüksek mukavemet ve tokluk sağlamak mümkündür. Şekil II.1’de mukavemet artırımı ile elde edilen mikroalaşımlı boru malzemelerinde örneklenmesi görülmektedir [35,56].



Şekil II.2 Mukavemet Artırımı ile Elde Edilen Kütle Tasarrufunun Mikroalaşımlı Boru Malzemelerinde Örneklenmesi [35].

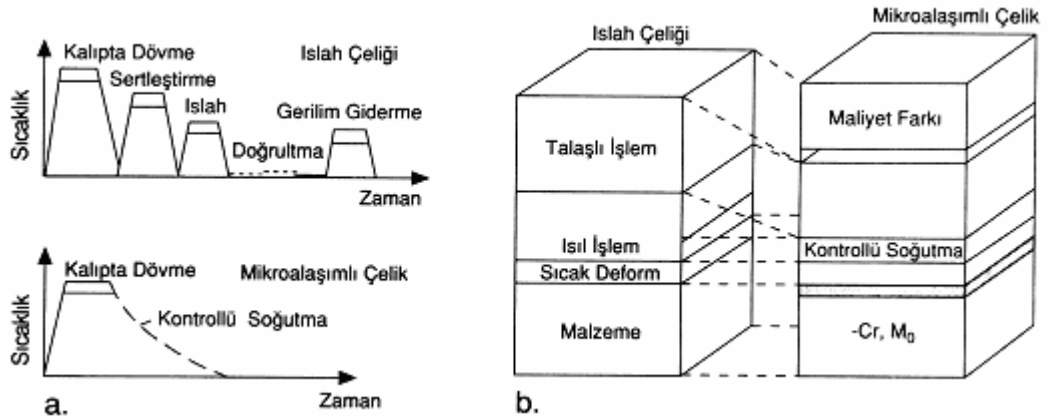
Mikroalaşımlı çeliklerin yoğun gelişmesine bağılı olarak oluşan kavram kargaşası Avrupa ülkelerinde SEW082:1984, BS3460:1986, AFNORA02-012:1984 ve Euronorm 25-86 ile giderilmiştir.

Mikroalaşımlı çeliklerin geniş uygulama alanından sadece “kaynaklanabilir ince taneli yapı çelikleriyle” ilgili DIN 17102 standardı örneklenmiştir.

Mikroalaşımlı çelikler -100°C 'den $+300^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar geniş bir sıcaklık aralığında kullanılırlar. Yüksek kırılma emniyetinin ve kötü şartlar altında bile güvenilir kaynaklanmanın arzulandığı yerlerde konvensiyonel yapı çeliklerinden çok üstün olmaları tercih nedenidir [35].

II.6. DÖVME ÜRÜNLER

Mikroalaşımlamanın amacı malzemede, mukavemet, tokluk, talaşlı şekillendirilebilirlik ve kaynak kabiliyeti özelliklerini arttırmak ilave ısıl işlemlere gerek kalmadan ve pahalı/stratejik elementlerden tasarruf ederek mümkün olduğunca ekonomik olarak geliştirmektir. Otomotiv endüstrisinin ihtiyaçlarını cevaplayacak biçimde son yıllarda gelişen dövme ürünlerinde mikro alaşımlama uygulaması sıcak deformasyon sonrası kontrollü soğumayı gerektirmektedir. Mikro alaşımlı çelikler ile ıslah çeliklerinin maliyet karşılaştırması yapıldığında aralarında mikro alaşımlı çelikler lehine çok büyük fark vardır. Malzeme içerisindeki alaşım elementlerin miktarı, tane büyüklüğü, deformasyon oranı, deformasyon sıcaklığı ve yabancı parçacıklar dislokasyonların hareketlerini ve dağılımlarını doğrudan etkileyen parametrelerdir. Bu tür parametrelerin dengelenmesi ile daha iyi talaşlı işlenebilirlik kriterleri elde edildiğinden mikroalaşımlı çeliklerin ekonomikliği ortaya çıkmaktadır [57]. Şekil II.2'de mikroalaşımlı çeliklerle ıslah çeliklerinin üretim ve maliyet basamaklarının karşılaştırılması gösterilmektedir [35].



Şekil II.3 Mikroalaşımlı Dövme Çelikleri ile ıslah çeliklerinin Üretim (a) ve Maliyet (b) Açısından Karşılaştırılması.

Mikroalaşımlı çeliklerin avantajlarını şöyle özetleyebiliriz

- Gerilme ve yorulma özellikleri ısıl işlem çeliklerinkine eşittir,
- Dövmeden sonra ısıl işlem gerektirmez,
- Isıl işlem maliyeti düşüktür,
- Enerji tasarrufu sağlar,
- Daha hızlı üretim imkanı verir,

- Kullanılan alaşım miktarı daha azdır,
- Üretimi daha hızlıdır,
- Şekillendirmeden sonra bükülme görülmez, sertleştirmeye ve gerilim gidermeye ihtiyaç yoktur,
- Sertlikleri uygundur,
- Kolay talaşlı işlenebilirler [48,58].

II.5.1. Alaşım Elementlerinin Dövme Ürünlerine Etkisi

Dövme ürünleri için geliştirilen mikroalaşımli çeliklerin içerisinde, % 0.20–0.50 C, maksimum % 0.60 Si, maksimum % 1.6 Mn ile % 0.05-0.20 miktarda mikroalaşım elementleri (V, Ti, Nb) yalnız veya birlikte katılarak elde edilir. İşlenebilirliğe pozitif etkisi açısından kükürt miktarı maksimum % 0.065 ile yüksek tutulmuştur.

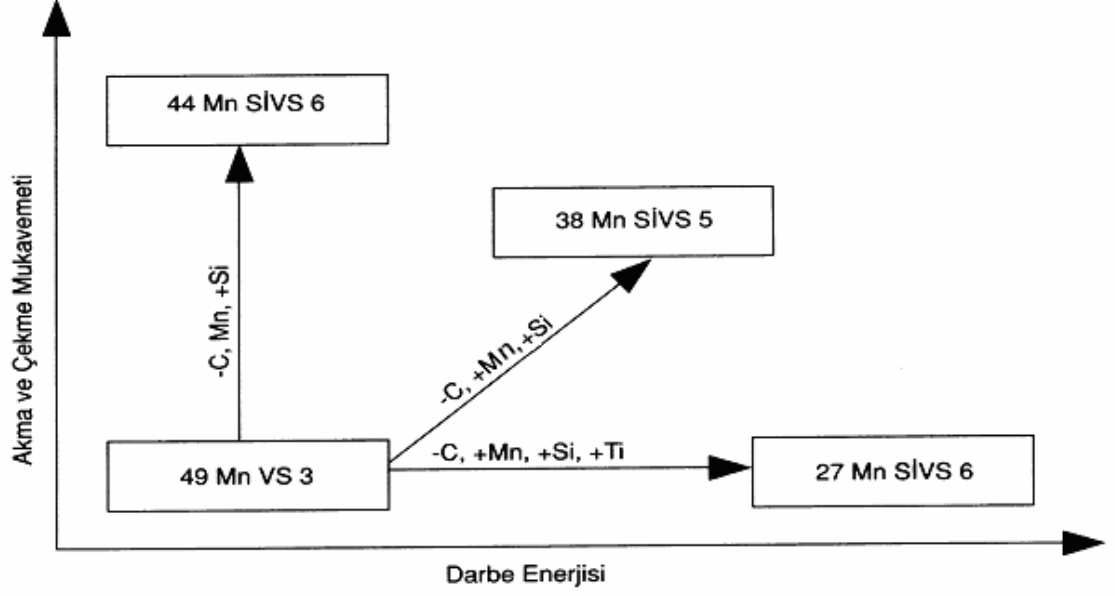
Bu tip mikroalaşımli çelikler 1988 sonunda Almanya’da “çökelti sertleşen ferritik perlitik çelikler” (AFP çelikleri) olarak standartlaştırılmışlardır. SEW101’den alınan çelik kompozisyonları Tablo II.1’de gösterilmiştir. Avrupa’da hızla yayılan mikroalaşımli çelik uygulaması, başlangıçta sadece statik yüklenme altında çalışan otomotiv parçalarıyla (krank mili, biyel kolu vb.) sınırlıydı. Günümüzde ise uygulama dinamik yüklenme altında çalışan otomotiv parçalarına (direksiyon ve aks aksamları) da yayılmıştır.

Tablo II.1 Çökelti Sertleşen Ferritik-Perlitik Çelikler (SEW 101)

Çelik Tipi		Ağırlıkça % Alaşım Elementleri Oranı					
DIN	Malzeme Numarası	C	Si	Mn	P	S	V
49 Mn VS3	1,1199	0,44/0,50	≤0,50	0,70/1,00	≤0,035	0,030/0,065	0,08/0,13
38 Mn SiVS 5	1,5231	0,35/0,40	0,50/0,80	1,20/1,50	≤0,035	0,030/0,065	0,08/0,13
27 Mn SiVS 6	1,5232	0,25/0,30	0,50/0,80	1,30/1,60	≤0,035	0,030/0,050	0,08/0,13
44 Mn SiVS 6	1,5233	0,42/0,47	0,50/0,80	0,30/1,60	≤0,035	0,20/0,035	0,10/0,15

Mikroalaşımli dövme çelikler henüz her çeşit geliştirilmeye açıktır. AFP çelikleri ile ilgili olarak yapılan alaşım geliştirme çalışmaları Şekil II.4’te gösterilmiştir. İlk geliştirilen 49MnVS3 tipi alaşımdan karbon azaltarak ve ilgili dayanç kayıplarını Mn ve Si arttırımıyla fazlasıyla gidererek yüksek dayançlı

44MnSiVS6 elde edilir. Tokluk arttırımı için karbonu yoğun olarak düşürmek gerekir; böylece 27MnSiVS6 tipi elde edilir. Dayanç ve tokluğun ortak arzulandığı yerde 38MnSiVS5 kullanılır.



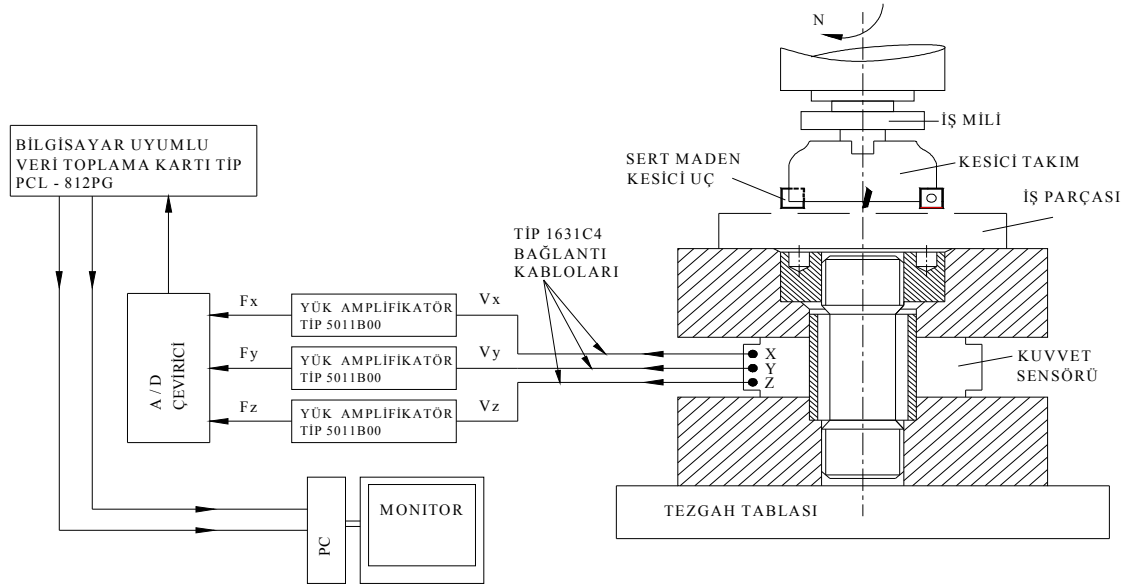
Şekil II.4 AFP Çeliklerinde Mekanik Özellikler Doğrultusunda Alaşım Dizaynının Geliştirilmesi [35].

BÖLÜM III

III. DENEYSEL ÇALIŞMA

III.1. DENEY DÜZENEĞİ

Mikroalaşımli çeliklerin frezelenmesinde talaşlı işlenebilirliğinin incelemek için, simetrik düzlem yüzey frezeleme yöntemi ile talaş kaldırma işlemi yapıldı. Kesici takımında kullanılan kaplamalı sert maden uçlar SECO firması tarafından üretilen XOMX 120408TR-M12 T20M kodlu uçlar kullanılmıştır. Üretici firma tarafından kesici uç için önerilen kesme parametreleri deneylerde kullandığımız malzememize yakın özellik gösterdiği için seçilmiştir. Sert maden kesici uçlar Titanyum Nitrid (TiN) ile kaplanmış olup, kesici uca yüksek sertlik ve aşınma direnci sağlamaktadır. Deneysel çalışmada; Alın freze çakısı ile simetrik düzlem yüzey frezelemede kesme kuvvetlerinin deneysel olarak ölçülebilmesi için hazırlanan deney sistemi donanımını gösteren genel şema Şekil III.1'de gösterilmektedir. Kullanılan deney düzeneğinde; Taksan marka dijital eksen göstergeleri bulunan üniversal freze tezgahı, 63mm çapında kesici ağız sayısı 8 olan kesici takım, kuvvet sensörünün her bir eksenindeki üretmiş olduğu gerilimin yükseltilmesinde kullanılan KISTLER marka 5011 b tipinde 3 adet amplifikatör, PCLD-780 A/D (analog/dijital) dönüştürücü, PC uyumlu PCL – 812PG veri toplama kartı (Data Acquisition Card) (DAC), PII 350 Bilgisayar ve 14" bilgisayar monitörü, freze tezgahının tablasına montajı yapılmış KISTLER marka 9067 tipinde kuvvet sensörü, sensör ile amplifikatörler arasında bağlantıyı sağlayan KISTLER marka 1631C4 bağlantı kabloları ve iş parçasının bağlandığı sensörün üst ve altına konan bağlama plakalarının montajını gösteren genel şema da yer almaktadır. Pürüzlülük ölçümünde Mitutoyo SurfTest 211 dijital göstergeli yüzey pürüzlülük cihazı, malzeme olarak da DIN 38 MnSiVS5 mikroalaşımli çelik kullanılmıştır.



Şekil III.1 Kesme Kuvvetlerinin Ölçülmesinde Kullanılan Deneş Düzeneginin Genel Şeması [59]

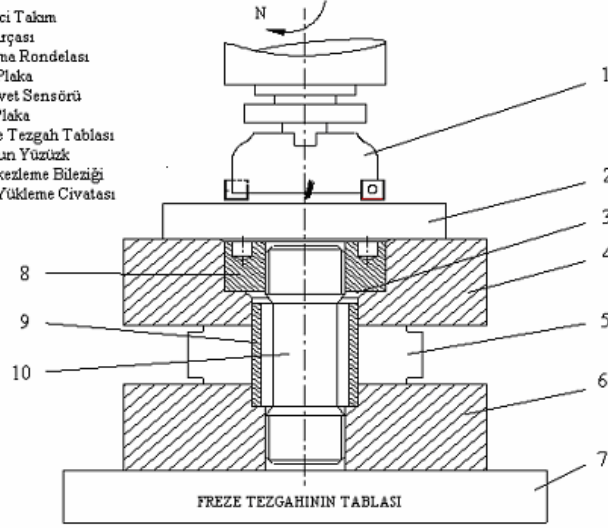
III.1.1. Üniversal Freze Tezgahı

Deneşlerde FU 400 taksan marka dijital eksen göstergeleri bulunan üniversal freze tezgahı kullanıldı. Tezgahın tablasına bağı olan iş parçası X, Y ve Z eksenlerinde ilerleme hareketi yapabilmektedir. Eksenlerdeki ilerleme miktarı dijital göstergeler yardımıyla ölçülmektedir. Freze tezgahının eksenlerdeki hareketleri otomatik kumanda paneli ile çalıştırılmaktadır.

III.1.2. Kuvvet Sensörü

Deneşlerde X, Y ve Z eksenlerindeki kuvvetlerin ölçülmesi için KISTLER marka 9067 tipinde kuvvet sensörü kullanılmıştır. Kuvvet sensörünün sisteme bağlanması için bazı aparatlar kullanılmıştır. Bu aparatlar sensörün alt ve üst plakası, merkezleme bileziğı, somun yüzük, ön yükleme civatası ve kayma rondelasıdır. Tezgahın tablasına sensör, bu aparatlarla birlikte yerleştirilir. Kuvvet sensörünün sisteme montaj hali şekil III.2’de, kuvvet sensörünün teknik özellikleride tablo III.1’de gösterilmiştir.

- 1- Kesici Takım
- 2- İş Parçası
- 3- Kayma Rondelası
- 4- Üst Plaka
- 5- Kuvvet Sensörü
- 6- Alt Plaka
- 7- Freze Tezgah Tablası
- 8- Somun Yüzüzk
- 9- Merkezleme Bileziği
- 10- Ön Yükleme Civatası



Şekil III.2 Kuvvet Sensörünün Freze Tezgahı tablasına Montaj Resmi

Tablo III.1 Kuvvet Sensörünün Teknik Özellikleri [18].

ÖZELLİK	SEMBOL	BİRİM	DEĞERLER
Her bir eksen için doğrusallık	---	%FSO	$\leq \pm 0.5$
Rijitlik	C_x, C_y	pC/N	≈ 2500
	C_z	pC/N	≈ 8000
Maksimum dönme momenti	M_x, M_y	N.m	-350/350
Ölçme aralığı	F_x, F_y	kN	-20.....20
	F_z	kN	-40.....40
	F_z (160 kN ön yüklemeli)	kN	0.....200
İlave yüklemeli ölçme aralığı	F_x, F_y	kN	-22.....20
	F_z	kN	-44.....44
	F_z (160 kN ön yüklemeli)	kN	240
Duyarlılık	F_x, F_y	pC/N	≈ 8
	F_z	pC/N	≈ 3.8
Yalıtım direnci	----	TΩ	≥ 10
Bağlantı tipi	----	----	10-32 UNF
Çalışma sıcaklığı aralığı	----	°C	$\leq \pm 0.02$
Ağırlık	----	g	270
Kuvvet eşik değeri	----	----	-----

III.1.3. Yük Amplifikatörü

Deney sisteminde üç adet KISTLER marka 5011B tipinde yük amplifikatörü kullanılmıştır. Talaşlı işlem sırasında kuvvet sensörünün X, Y ve Z yönünden ürettiği analog voltaj sinyalleri kablolar vasıtası ile amplifikatöre gelmektedir. Burada amlifikatör, gelen analog voltaj sinyallerini sayısal dönüşürülmesi için kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan amplifikatörlerin teknik özellikleri aşağıdaki tablo III.2’de gösterilmiştir.

Tablo III.2 KISTLER Marka 5011b Amplifikatörün Teknik Özellikleri [18]

ÖZELLİKLER	BİRİM	DEĞERLER
Ölçme aralığı, 10VFS için	pC	$\pm 10 \dots 999$
Sensörün duyarlılığı M.U./Mekaniksel	pC/M.U.	0.01...9990
Ölçek	M.U/V	0.001...9.990
Çıkış voltajı	V	± 10
Çıkış empedansı	Ω	10
Maksimum çıkış akımı	mA	± 5
Zaman Sabiti Uzun	----	----
Orta ($T=R_g.C_g$)	s	1...10
Kısa ($T=R_g.C_g$)	s	0.01...100
Kablo kapasitansından dolayı karışma	pCrms/pF	$< 2.10^{-5}$
Bağlantı şekli Ölçme girişi ve sinyal çıkışı Uzaktan kumanda Enerji fişi	BNC negatif Busche 6.pol DIN 45322 IEC 320 c 14	-----
Frekans sınırı (-3dB)	kHz	$\approx 0 \dots 200$
Lineerlik	%FS	$\leq \pm 0.005$
Operasyon sıcaklık aralığı	$^{\circ}\text{C}$	0.....50
Boyutlar	mm	70.9x128.7x169.5
Ağırlık	kg	≈ 2

III.1.4. Veri Toplama Kartı

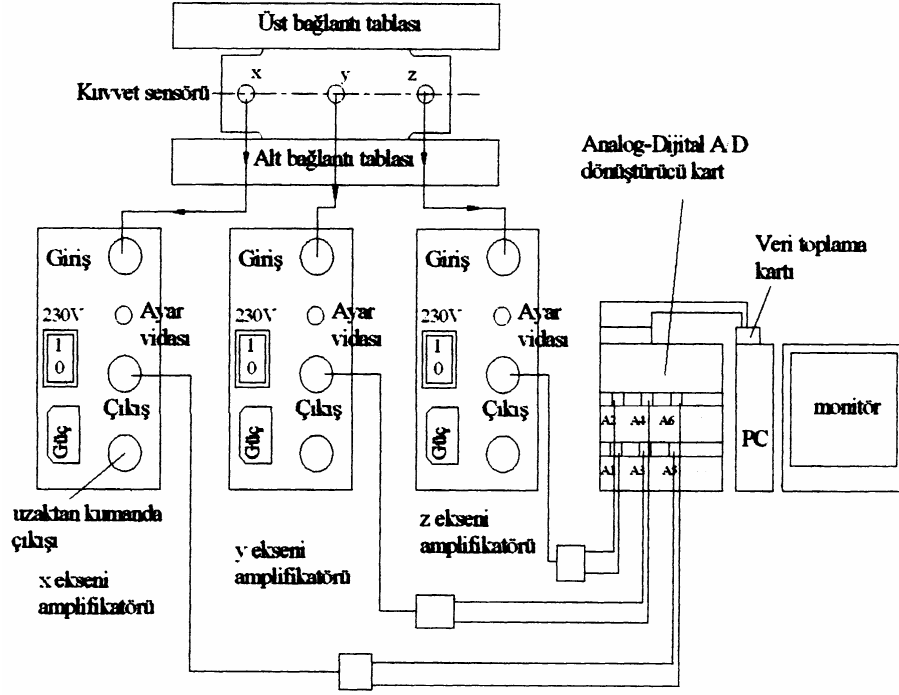
Deneyleerde kullandığımız veri toplama kartı tipi PCL – 812 PG'dir. Amplifikatörlerden belli bir oranda büyütülerek gelen veriler bilgisayarın içerisine yerleştirilen PC uyumlu veri toplama ve kontrol kartına aktarılmaktadır. Aktarılan bu verileri VisiDAQ 1.11 programı ile kaydedilmektedir. Kayıt edilen bu veriler excel programını kullanarak grafiksel olarak değerlendirilmektedir. Veri toplama kartının teknik özellikleri tablo III.3'te verilmiştir.

Tablo III.3 PCL – 812 PG Veri Toplama Kartının Teknik Özellikleri

ÖZELLİK	DEĞERLER
Operasyon sıcaklığı, °C	0.....50
Depolama sıcaklığı, °C	-20.....+65
Voltaj aralığı	±10 V
Güç Tüketimi	+5V:typ.500mA, Max. 1A +12V:typ.50mA, Max. 100mA +12V:typ.14mA, Max. 10mA
I/O Bağlantısı	I/O bağlantısı için 20-pin kafa ve 37 pin D-tipind bağlantıya çevrim yapabilen adaptör.
Ağırlık, g	243

III.1.5. Bağlantı Kabloları

Kuvvet sensörü ile amplifikatörler arasında bağlantıyı sağlayan KISTLER marka 1631C4 bağlantı kabloları kullanılmıştır. Kuvvet sensörü, yük amplifikatörleri analog/dijital A/D dönüştürücü kartı ve bilgisayar bağlantı şeması şekil III.3'te gösterilmiştir [18].



Şekil III.3 Sensörün Amplifikatörlere ve Bilgisayara Bağlantı Şeması [18].

III.1.6. Malzemenin Mekanik ve Kimyasal Özellikleri

Deneysel çalışmamda Asil Çelik tarafından üretilen 38MnSiVS5 mikroalaşımli çelik malzeme kullanılmıştır. Deneylede kullanılan Mikroalaşımli çeliğin mekanik özellikleri aşağıda belirtilen tablo III.4'te ve bileşimindeki elementlerin kimyasal analiz değerleri de tablo III.5'de verildiği gibi ölçülmüştür.

Tablo III.4 Deneylede Kullanılan Mikroalaşımli Çeliğin Mekanik Özellikleri

Sertliği	(HB)	286
Akma Mukavemeti, Re	(MPa)	693
Çekme Mukavemeti, Rm	(MPa)	904
Kesit Daralması	(%)	42
% Uzama	(%)	16
Kesit Alanı	(mm ²)	55X55

Tablo III.5 Deneylerde Kullanılan Mikroalaşımli Çeliğin Bileşimindeki Elementlerin Kimyasal Analiz Değerleri

Element	% Ağırlık	Element	% Ağırlık
Mn	1,4200	Mo	0,0200
Si	0,5600	Al	0,0180
C	0,3800	Sn	0,0160
Cu	0,2000	Ni	0,0107
Cr	0,1700	P	0,0090
Ni	0,1100	Pb	0,0040
V	0,1070	Ca	0,0003
S	0,0360		

Deneylerde sert maden kesici uçların tutucu şaftta ilk yerleştirme hataları, SECO firmasındaki 0,001mm hassasiyetinde ölçüm yapan dijital göstergeli test cihazında yapıldı. Test cihazı ile ilk önce radyal ilk yerleştirme hataları ölçülmüştür. Test cihazı önce herhangi bir kesici uca değiştirilerek sıfıra ayarlandı, daha sonra sıra ile döndürülerek diğer kesici uçların radyal yerleştirme hataları tespit edildi. Benzer şekilde test cihazı kesici uçların en tepe noktalarına değiştirilerek ve sırasıyla döndürülerek ilk aksenal yerleştirme hataları tespit edildi. Bu değerler tablo III.6'da verilmiştir.

Tablo III.6 Kesici Takımın İlk Yerleştirme Hataları

Kesici Ağız No	Radyal ilk yerleştirme hatası, mm	Eksenel ilk yerleştirme hatası, mm
1	0,000	0,00
2	-0,005	0,00
3	-0,015	-0,04
4	-0,010	-0,02
5	0,015	-0,04
6	0,030	-0,01
7	0,035	0,00
8	-0,005	0,01

Tablo III.7 Kesme Kuvvetlerinin Ölçülmesinde Kullanılan Sayısal Değerler

Freze Tezgahı	Taksan marka üniversal freze tezgahı
İşlenen deney malzemesi	38 MnSiVS5 Mikroalaşımli çelik
Kesme hızları, V_c , m/dak	70, 90, 110, 140
Talaş Derinliği, a , mm	0.4, 0.6, 0.8, 1
Çalışılan ilerleme hızları, f , mm/dak	160, 200, 250, 315
İş parçası genişliği, b , mm	55
Kesici takım çapı, $\varnothing D$, mm	63
Kesici ağız sayısı, Z_n	8
İş mili eksantrikliği, E , mm	0,01
Kesici takım radyal eğim açısı, γ_R , (°)	-7
Kesici takım aksenal eğim açısı, γ_A , (°)	8
Kesici takım Konum açısı, κ , (°)	90
Kesici takım uç eğim açısı, γ_L , (°)	13
Özgül kesme kuvveti katsayısı, K_T (Sensörün özelliklerinden alındı)	2500
Teğetsel kuvveti radyal kuvvete dönüştürme sabiti, K_R (Sensörün özelliklerinden alındı)	0.375
Teğetsel kuvveti aksenal kuvvete dönüştürme sabiti, K_A (Sensörün özelliklerinden alındı)	0.67
Takım dinamometresi	KISTLER marka tip 9067
Sert maden kesici uç	XOMX 12048TR-M12 T20M
Frezeleme yöntemi	Alın freze çakısı ile simetrik düzlem yüzey frezeleme

III.7. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜK CİHAZI

38 MnSiVS5 mikroalaşımli çelik malzemenin düzlem yüzey frezeleme yöntemi ile talaş kaldırma esnasında oluşan yüzey pürüzlülük değerleri deneysel olarak ölçülmüştür. Deneyleerde 63mm çapında sekiz adet kesici ucu bulunan sert maden takma uçlu alın freze çakısı kullanıldı. Deneyleerde talaş derinliğinin, kesme hızının ve ilerleme hızının yüzey pürüzlülüğüne etkileri incelenmiştir. Pürüzlülük ölçümlerinde şekil III.4'te görülen Mitutoyo marka Surf test 211 dijital göstergeli yüzey pürüzlülük cihazı kullanılmıştır. Yüzey pürüzlülüğünü ölçmeden önce kalibrasyonunu şekil III.4'te görülen üretici firmanın vermiş olduğu test bloğu üzerindeki yüzeyde yapıldı. Talaş kaldırma işlemi kuru olarak yapıldı. Yüzey pürüzlülük ölçümleri işlenen yüzeyin tam ortasından ve kesici takımın iş parçasının yüzeyinde oluşturduğu izlere dik olacak şekilde, en az üç farklı noktadan ölçülüp aritmetik ortalaması alınmıştır. Bulunan bu yüzey pürüzlülük değerleri bilgisayarda Excel programı yardımı ile grafikleri çizilmiştir.



Şekil III.4 Deneyleerde Kullanılan Yüzey Pürüzlülük Cihazı Fotoğrafi.

III.2. DENEY SİSTEMİNİN ÇALIŞMA PRENSİBİ

Kuvvet sensörü X eksenine paralel bir şekilde taksan marka universal freze tablasına bağlama papuçları ile bağlandı. Şekil III.5'te deney sistemi genel olarak görülmektedir. Kuvvet sensörünün paralelliği 0.01mm hassasiyetindeki komparatör yardımıyla yapıldı. Kuvvet sensörü ile yük amplifikatörü arasındaki bağlantı 1631 C KISTLER marka kablo ile yapıldı. Yük amplifikatörü, bilgisayarın içerisine yerleştirilen PLC - 812 PG veri toplama kartına bağlantısı yapıldı. Veri toplama

kartı base ayarları yapıldı. Gelen analog veriler dijitale dönüştürülerek bilgisayarda kurulu olan VisiDAQ 1.11 programından faydalanılarak kaydedildi. Böylece düzlem yüzey frezeleme esnasında oluşan kesme kuvvetlerinin ölçülmesi sağlanmıştır. Bu verileri daha sonra Excel programı vasıtasıyla ortalaması alınıp grafiğe dönüştürüldü. Kesme kuvvetlerinin kesme koşullarına göre değişimi gözlemlendi. Frezeleme işlemi ile talaş kaldırmaya başlamadan önce her bir eksendeki yük amplifikatörleri filtre edilmiştir.



Şekil III.5 Deney Setinin Fotoğrafları

III.3. KUVVET SENSÖRÜN KALİBRASYONUNUN YAPILMASI

Deneyel çalışmaya başlamadan önce kuvvet sensörü her bir ekseninde ayrı ayrı kalibre edildi. Kuvvet sensörünün kalibrasyonunu yaparken özellikle kesme kuvvetlerine yakın ağırlıklarla kalibre edilmesine dikkat edildi. Ağırlıkları ölçülerek tespit edilen yükler X, Y ve Z eksenlerinde sensöre uygulandığında, her bir ekseninde

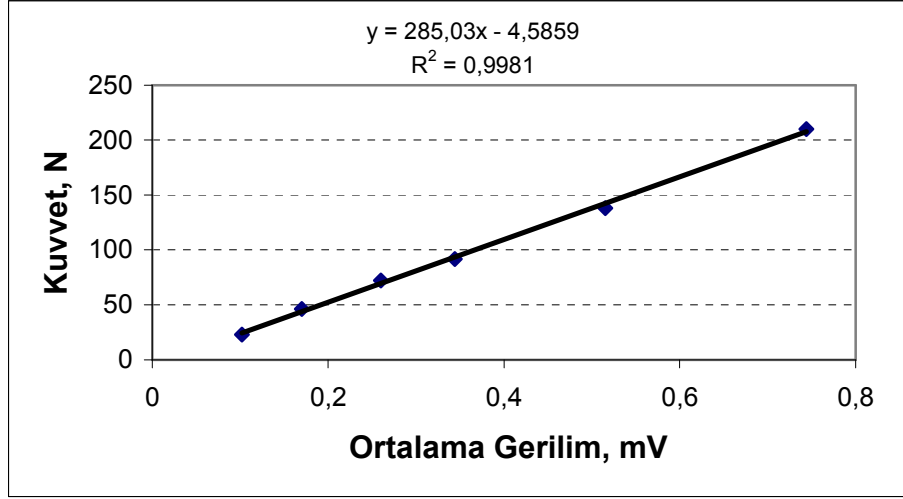
farklı elektriksel gerilim değerleri ürettiği okunmuştur. Bundan dolayı sensörün X, Y ve Z eksenlerinde ayrı ayrı kalibrasyon yapılmıştır.

III.3.1. Sensörün Z Ekseninde Kalibrasyonu

Sensörün kalibrasyonunda ağırlıklar kullanılmıştır. İlk önce Z ekseni kalibrasyonu yapıldı. Önceden ölçülmüş olan sabit ağırlıklar, sensörün üzerine Z ekseninde sırasıyla konularak sensörün ürettiği gerilim değerleri VisiDAQ programı kullanarak bilgisayara kaydedilmiştir. Her ağırlık için sensörün ürettiği gerilimin aritmetik ortalaması alınmıştır. Sensörün ürettiği ortalama gerilime tekabül eden gerçek sabit yükler yazılarak excel'de Z ekseninin fonksiyon grafiği çizilmiştir. Grafiğin fonksiyon değeri bilgisayarda kayıtlı olan VisiDAQ programına Z ekseninde fonksiyon olarak yazılmıştır. Daha sonra bu ağırlıklar sırasıyla tekrar sensörün üzerine konularak sensörün ürettiği elektriksel gerilim değerleri ve gerçek yükler okunmuştur. Aşağıda tablo III.8'de kuvvet sensörün Z ekseninde ürettiği elektriksel gerilim değerleri ile gerçek ağırlıklara karşılık gelen kuvvet değerleri verilmiştir. Şekil III.6'da kuvvet sensörünün Z eksenindeki kalibrasyon eğrisi görülmektedir.

Tablo III.8 Z Ekseninde Uygulanan Kuvvet Değerleri, N ve Kuvvet Sensörünün Ürettiği Olduğu Gerilim, mV

Gerçek ağırlıklara karşılık gelen kuvvet, N	Sensörün ağırlıklara karşı ürettiği ortalama voltaj değeri, mV
210	0.744
138	0.515
91.53	0.344
72.123	0.260
46.36	0.170
23	0.102



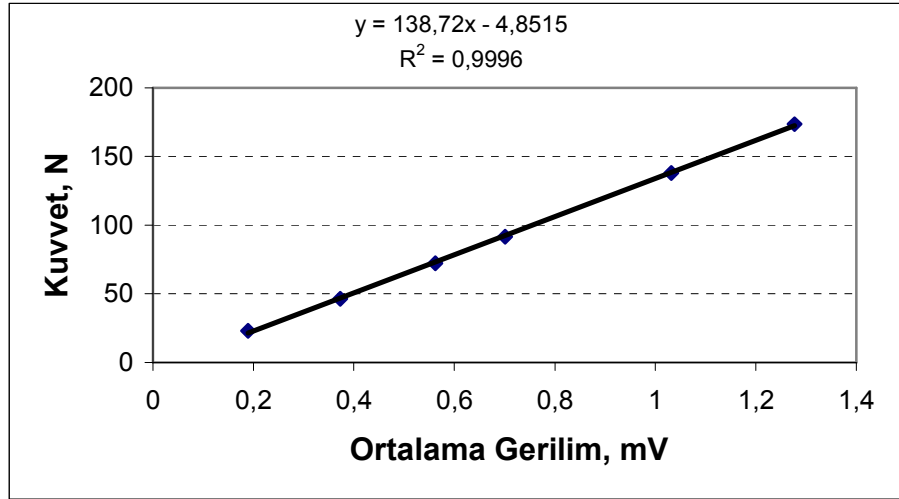
Şekil III.6 Kuvvet Sensörünün Z Eksenindeki Kalibrasyon Eğrisi

III.3.2. Sensörün Y Ekseninde Kalibrasyonu

Şekil III.5'te görülen, alt ve üst bağlama plakaları arasına montajı yapılan kuvvet sensörü, X Z düzleminde alt plaka vasıtası ile tezgah tablasına oturtularak Y eksenini yönünde, önceden ölçülmüş olan sabit ağırlıklar sırasıyla konularak sensörün ürettiği gerilim değerleri VisiDAQ programı kullanarak bilgisayara kaydedilmiştir. Her ağırlık için sensörün ürettiği gerilimin aritmetik ortalaması alınmıştır. Sensörün ürettiği ortalama gerilime tekabül eden gerçek sabit yükler yazılarak excel'de Y ekseninin fonksiyon grafiği çizilmiştir. Grafiğin fonksiyon değeri bilgisayarda kayıtlı olan VisiDAQ programına Y ekseninde fonksiyon olarak yazılmıştır. Daha sonra bu ağırlıklar sırasıyla tekrar sensörün üzerine konularak sensörün ürettiği elektriksel gerilim değerleri ve gerçek yükler okunmuştur. Aşağıda tablo III.9'da kuvvet sensörün Y ekseninde ürettiği elektriksel gerilim değerleri ile gerçek ağırlıklara karşılık gelen kuvvet değerleri verilmiştir. Şekil III.7'de kuvvet sensörünün Y eksenindeki kalibrasyon eğrisi görülmektedir.

Tablo III.9 Y Ekseninde Uygulanan Kuvvet Değerleri, N ve Kuvvet Sensörünün Ürettiği Olduğu Gerilim, mV

Gerçek ağırlıklara karşılık gelen kuvvet, N	Sensörün ağırlıklara karşı ürettiği ortalama voltaj değeri, mV
173.44	1.277
137.89	1.032
91.53	0.701
72.123	0.562
46.36	0.373
23	0.189



Şekil III.7 Kuvvet Sensörünün Y Eksenindeki Kalibrasyon Eğrisi

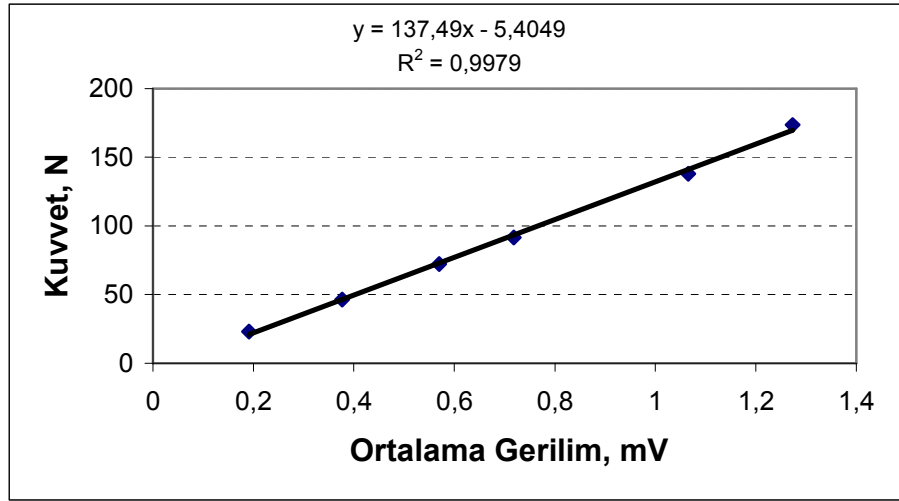
III.3.3. Sensörün X Ekseninde Kalibrasyonu

Şekil III.6'da görülen, alt ve üst bağlama plakaları arasına montajı yapılan kuvvet sensörü, YZ düzleminde alt plaka vasıtası ile tezgah tablasına oturtularak X eksenini yönünde, önceden ölçülmüş olan sabit ağırlıklar sırasıyla konularak sensörün ürettiği gerilim değerleri VisiDAQ programı kullanarak bilgisayara kaydedilmiştir. Her ağırlık için sensörün ürettiği gerilimin aritmetik ortalaması alınmıştır. Sensörün ürettiği ortalama gerilime tekabül eden gerçek sabit yükler yazılarak excel'de X ekseninin fonksiyon grafiği çizilmiştir. Grafiğin fonksiyon değeri bilgisayarda kayıtlı olan VisiDAQ programına X ekseninde fonksiyon olarak yazılmıştır.

Tablo III.10 X Ekseninde Uygulanan Kuvvet Değerleri, N ve Kuvvet Sensörünün Ürettiği Olduğu Gerilim, mV

Gerçek ağırlıklara karşılık gelen kuvvet, N	Sensörün ağırlıklara karşı ürettiği ortalama voltaj değeri, mV
173.44	1.273
137.89	1.066
91.53	0.718
72.123	0.570
46.36	0.377
23	0.191

Yukarıda tablo III.10’da kuvvet sensörün X ekseninde ürettiği elektriksel gerilim değerleri ile gerçek ağırlıklara karşılık gelen kuvvet değerleri verilmiştir. Şekil III.8’de kuvvet sensörünün X eksenindeki kalibrasyon eğrisi görülmektedir.



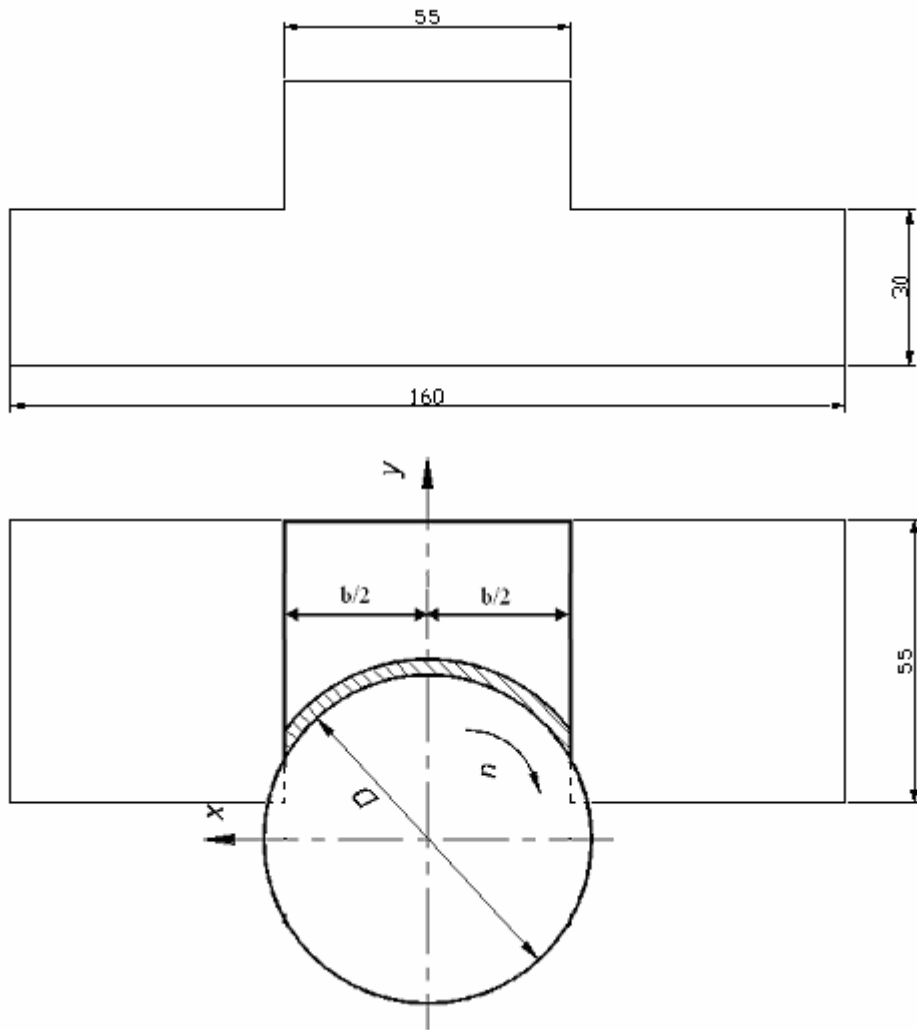
Şekil III.8 Kuvvet Sensörünün X Eksenindeki Kalibrasyon Eğrisi

III.4. KESME ŞARTLARI

Taksan marka dijital eksen göstergeleri bulunan üniversal freze tezgahı, 63mm çapında kesici ağız sayısı 8 olan mekanik vida sıkımalı kesici takım, XOMX 120408-M12 T20M Sert maden kesici uçlar kullanılmıştır. Mikroalaşımli çeliklerin frezelenmesinde simetrik düzlem yüzey frezeleme yöntemi ile talaş kaldırılmıştır.

Frezeleme işlemi esnasında meydana gelen kesme kuvvetleri (F_x , F_y ve F_z) deneysel olarak ölçülmüştür.

İş parçası şekil III.9’da görülen teknik resim ölçülerinde hazırlanarak kuvvet sensörünün üst plakasına emniyetli olarak bağlanmıştır. Talaş kaldırma işlemi sırasında soğutma sıvısı kullanılmamış, talaş kaldırma kuru olarak yapılmıştır. Talaş pasoları freze tezgahının Y ekseninde tek yönde verilmiştir. Deneysel veriler, kesici takımın uçlarının iş parçasının işlenecek yüzeyi genişliği (b) kadar ilerledikten sonra alınmıştır. Kesme kuvveti ölçümüne başlamadan önce her bir eksendeki yük amplifikatörü filtre edilmiştir.



Şekil III.9 Kesme Kuvveti Ölçümü İçin Hazırlanan İş Parçası

BÖLÜM IV

IV.1. SONUÇLAR

Talaşlı işlem sırasında meydana gelen kesme kuvvetleri (F_x , F_y ve F_z) ve ortalama yüzey pürüzlülük (R_a) değerleri deneysel olarak ölçülmüştür. Kesme parametrelerinin değişimine (kesme derinliği, kesme hızı ve ilerleme hızı) göre grafiklerden elde edilen sonuçları yorumlanmıştır. Buna göre;

1. Ek A'da gösterilen talaş derinliğinin-kesme kuvvetleri grafiklerine göre; kesme derinliği artışına bağlı olarak, kesme kuvvetlerinin artmış olduğu gözlemlenmektedir. Daha önce yapılan çalışmalara [2,18,33,60] paralellik göstermektedir. Kesme derinliği kademeli olarak 0,4mm'den 1mm'ye doğru artarken X, Y ve Z eksenlerinde oluşan ortalama kesme kuvvetleri aşağıda verilmektedir.

a (mm)	F_x (N)	F_y (N)	F_z (N)
0,4	95	259	53
0,6	167	402	59
0,8	206	534	60
1	256	687	69

2. Ek B'de gösterilen kesme hızı-kesme kuvvetleri grafiklerine göre; Kesme hızı arttığında, kesme kuvvetleri azalmış olduğu gözlemlenmektedir. Örnek olarak, kesme derinliği ($a=1$ mm) iken X, Y ve Z eksenlerinde oluşan ortalama kesme kuvvetleri aşağıda verilmektedir.

V_c , (m/min)	F_x (N)	F_y (N)	F_z (N)
70	324	908	86
90	277	743	72
110	228	614	64
140	194	484	54

3. Ek C'de gösterilen ilerleme hızı-kesme kuvvetleri grafiklerine göre; ilerleme hızı arttığında, kesme kuvvetlerinin orantılı olarak artmış olduğu gözlemlenmektedir. Daha önce yapılan çalışmalara [2,7,18,19,60] paralellik

göstermektedir. Örnek olarak, kesme derinliği ($a=1$ mm) iken X, Y ve Z eksenlerinde oluşan ortalama kesme kuvvetleri aşağıda verilmektedir.

F (mm/min)	F _x (N)	F _y (N)	F _z (N)
160	216	491	57
200	227	584	65
250	270	768	70
315	310	906	71

4. Talaş pasoları freze tezgahının Y eksenini boyunca tek yönde verilmiş olduğundan, F_y kesme kuvveti F_x'e göre, daha büyük olduğu gözlemlenmektedir.
5. Ek D'de gösterilen kesme hızı-ortalama yüzey pürüzlülüğü grafiklerine göre; kesme hızının artmasıyla ortalama yüzey pürüzlülüğünde iyileşme olduğu gözlemlenmiştir.
6. Ek E'de gösterilen kesme hızı-ortalama yüzey pürüzlülüğü grafiklerine göre; İlerleme hızı arttırıldığında, ortalama yüzey pürüzlülüğünün artmış olduğu gözlemlenmektedir.
7. Ek F'de gösterilen kesme hızı-ortalama yüzey pürüzlülüğü grafiklerine göre; Kesme derinliği arttırıldığında, ortalama yüzey pürüzlülüğünün çok az bir miktarda artmış olduğu gözlemlenmektedir.

BÖLÜM V

V.1. ÖNERİLER

Avrupa’da hızla yayılan mikroalaşımli çelik uygulaması, başlangıçta sadece statik yüklenme altında çalışan otomotiv parçalarıyla (krank mili, biyel kolu vb.) sınırlıydı. Günümüzde ise uygulama dinamik yüklenme altında çalışan otomotiv parçalarına (direksiyon ve aks aksamları) da yayılmıştır. Mikroalaşımli çelikler henüz her çeşit geliştirmeye de açık durumdadır. Mikroalaşımli çelikler -100°C ’den $+300^{\circ}\text{C}$ ’ye kadar geniş bir sıcaklık aralığında kullanılırlar. Yüksek kırılma emniyetinin ve kötü şartlar altında bile güvenilir kaynaklanmanın arzulandığı yerlerde konvensiyonel yapı çeliklerinden çok üstün olmaları tercih nedenidir. Artan mukavemetle beraber kütle tasarrufu da elde edilmektedir. İlerideki çalışmalarda;

1. Mikroalaşımli çeliklerin kaba talaş kaldırılarak frezeleme için deneysel çalışmalar yapılabilir. Uygun kesme şartları elde edilebilir. Bu malzemeyi kullanarak imalat yapan sektörlerle, faydalı kullanılacak teknolojik veriler sağlanabilir.
2. İlerideki çalışmalarda mikroalaşımli çeliklerin düzlem yüzey frezelenmesinde kesme hızının takım ömrüne etkileri araştırılabilir.
3. Mikroalaşımli çelik malzemelerinin talaşlı işlenebilirliğinin incelenmesinde farklı kesici takım geometrilerinin talaşlı işlenebilirliğe etkileri araştırılabilir.
4. Mikroalaşım çeliklerin talaşlı işlenmesinde takım geometrisinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi araştırılabilir.
5. Farklı kesici takım geometrilerinde mikroalaşım çelik malzemelerin talaşlı işlenebilirliği ve kesme kuvvetlerin oluşumu incelenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Gu, J.; Barber, G.; tung, S.; Gu, R.J.: “Tool Life and Wear Mechanism of Uncoated and Coated Milling Insetr”, *WEAR* 225-229 (1999) 273-284.
- [2] Diniz, A.E.; Filho, J.C.: “Influence of the Relative Positions of Tool and Workpiece on Tool Life, Tool Wear and Surface in the Face Milling Process”, *WEAR*, 232 (1999) 67-75.
- [3] Fu, H.J.; Devor, R.E.; Kapoor, S.G.: “A Mechanistic Model for the Prediction of the Force System in Face Milling Operations”, *ASME Journal of Engineering for Industry*, 106 (1984) 81-88.
- [4] Cheng, P.J.; Tsay, J.T.; Lin, S.C.: “A Study On Instantaneous Cutting Force Coefficients In Face Milling”, *Int. J. Math. Tools Manufact.*, 37 (1997) 1393-1408.
- [5] Kim, H.S.; Ehmann, K.F.: “A Cutting Force Model for Face Milling Operations”, *International Journal of Machine Tools Manufacturing*, 33 (5) (1993) 651-673.
- [6] D’Errico, E.G.; Bugliosi, S.; Guglielmi, E.: “Tool-life Reliability of Cermet Insert in Milling Tests”, *Journal of Materials Processing Technology*, 77 (1998) 337–343.
- [7] Shunmugam, S.V.; Bhaskara, R.T.; Narendran, T.: “Selection of Optimum Conditions in Multi-Pass Face Milling Using a Genetic Algorithm”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 40 (2000) 4014-414.
- [8] Lee, K.S.; Ko, S.L.: “Improvement of The Accuracy in The Machining of a Sholder Cut by End Milling”, *Journal of Materials Processing Technology*, 111 (2001) 244-249.
- [9] Jawaid, A.; Köksal, S.; Sharif, S.: “Cutting Performance and Wear Characteristics of PVD Coated and Uncoated Carbide Tools in Face Milling Inconel 718 Aerospace Alloy”, *Journal of Materials Processing Technology*, 116 (2001) 2-9.
- [10] Beak, D.K.; Ko, T.J.; Kim, H.: “Optimization of Feedrate in a Face Milling Operation Using a Surface Roughness Model”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 41 (2001) 451-462.

- [11] Zheng, H.Q.; Li, X.P.; Wong, Y.S.; Nee, A.C.: “Theoretical Modeling and Simulation of Cutting Forces in Face Milling with Cutter Runout”, *I. Journal of Machine Tools & Manufacture*, 39 (1999) 2003-2018.
- [12] Bouzid Sai, W.; Ben Salah, N.; Lebrun, J.L.: “Influence Of Machining By Finishing Milling On Surface Characteristics”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 41 (2001) 443-450.
- [13] Kwon, W.T.; Choi, D.: “Radial Immersion Angle Estimation Using Cutting Force And Predetermined Cutting Force Ratio In Face Milling”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 42 (2002) 1649-1655.
- [14] Bedi, S.; Roth, D.; Ismail, F.: “Mechanistic Modelling Of The Milling Process Using An Adaptive Depth Buffer”, *Computer-Aided Design* 35 (2003) 1287-1303.
- [15] Akkurt, M.: “Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları”, *Birsen yayınevi*, İstanbul, Türkiye, (1998).
- [16] Kulaksız, Ö.; Çakır, Ö.; Ulusoy, O.: “Metal Meslek Bilgisi”, *Milli Eğitim Bakanlığı Yayınları 2918*, Ankara, Türkiye, (1995).
- [17] İpekçioğlu, N.: “Frezecilik”, *Milli Eğitim Basım evi*, İstanbul, Türkiye, (1984).
- [18] Gülmez, S.: “Bor Alaşımli Çeliklerin Alın Frezelenmesinde Kesme Kuvvetlerinin ve Yüzey Pürüzlülüğünün İncelenmesi”, *Doktora Tezi*, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye, (2003).
- [19] Aslan, Ö.S.: “Freze Tezgahında Talaş Kaldırma İşlemine Etki Eden Faktörlerin Deneysel Olarak İncelenmesi”, *Yüksek Lisans Tezi*, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye, (2000).
- [20] Şahin, Y.: “Talaş Kaldırma Prensipleri 2”, *Nobel Yayın Dağıtım*, Ankara, Türkiye, (2001).
- [21] Özcan, E.: “CNC Tezgahlarında Kullanılan Kesici Takımlarda Takım Aşınmasının Kesme Performansına Dinamik Etkileri”, *Doktora Tezi*, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Ens. Makine Eğitimi Böl., İstanbul, Türkiye, (2001).

- [22] SME Publication Committee : “Tool & Manufacturing Engineers Hand Book”, Third Edition, Dallas, D:B., MC Graw Hill Book Company, Michigan, (1976) 12-35.
- [23] Özdemir, Ö.;İpek M.: Zeytin S.: “Kesici Takım Malzemeleri” *Mühendis Makine Dergisi*, İstanbul, Türkiye, 487 (2000).
- [24] Şahin, Y.: “Talaş Kaldırma Prensipleri 1”, *Nobel Yayın Dağıtım*, Ankara, Türkiye, (2000).
- [25] Çakır, C.: “Modern Talaşlı İmalatın Esasları” *Vipaş Yayın*, Bursa, Türkiye, (1999).
- [26] Publ, N.; Ridges, P.: “Materials Development and Performance”, *Seramik Cutting Tools*, New Jersey, USA, (1998).
- [27] Trent, E.M.: “Metal Cutting”, 2nd Edition, Butterworth-Heinemann, London, (1991).
- [28] Schey, J.A.: “Introduction to Manufacturing Processes, Second Edition”, McGraw-Hill Book Comp, New York, (1987).
- [29] Edwards, L., Endean, M.: “Manufacturing with Materials”, *Material in Action Series*, England, (1990) 250-261.
- [30] Keskin, İ.: “Malzeme El Kitabı”, *Onarsan A.Ş. Yayın*, Ankara, Türkiye, (1991) 104-116.
- [31] Sönmez, N.; Özgürler, M.: “Seramik Takımların Gelişimi ve Ekonomik Talaş Kaldırma”, *9. Denizli Malzeme Sempozyumu*, Denizli, Türkiye, (2002).
- [32] Kayır, Y.; Şahin, Y.: “Günümüz Kesicileri Seramikler”, *Teknoloji Gelişim Dergisi*, Türkiye, (1996) 38.
- [33] Etik, M.: “Paslanmaz Çeliklerin Düzlem Yüzey Frezelemede Talaşlı İşlenebilirliğinin İncelenmesi”, *Yüksek Lisans Tezi*, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Bölümü, İstanbul, Türkiye, (2004).
- [34] Kaleli, İ.: “CNC Frezelerde Kesme Kuvvetlerinin CAM Sistemiyle Simülasyonu”, *Doktora Tezi*, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Bölümü, İstanbul, Türkiye, (1998).
- [35] Asil Çelik Teknik Yayınları (2000).
- [36] Özler, L.: “Östenitik Manganlı Çeliğin Sıcak Talaşlı İşlenmesinde Kalem Ömrünün Teorik ve Deneysel Olarak Araştırılması”, *Doktora Tezi*, Fırat

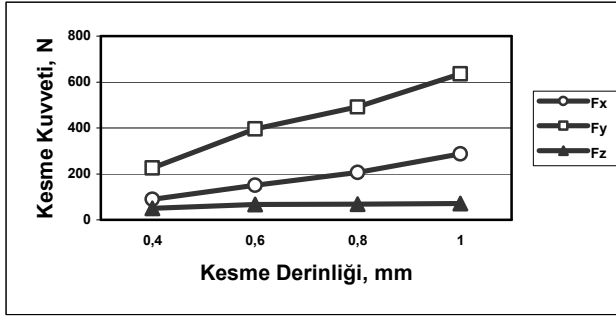
- Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Elazığ, Türkiye, (1998).
- [37] Surfrest 211 Yüzey Pürüzlülüğü Muayene Cihazı Kullanım Kılavuzu, ITEM:FRC-400/04, (2000).
- [38] Sobral, M.D.C., Meib, P.R., Kestenbach, H.-J., “Effect of carbonitride particles formed in austenite on the strength of microalloyed steels” , *Materials Science and Engineering A* 367 (2004) 317–321.
- [39] Rodrigues, P.C.M.; Pereloma, E.V.; Santos, D.B.: “Mechanical Properties of an HSLA Bainitic Steel Subjected to Controlled Rolling With Accelerated Cooling”, *Materials Science and Engineering, A* 283 (2000) 136-143.
- [40] Micro Alloying 75, “Proceedings of an International Symposium on High-Strength- Low-Alloy Steels”, Union Carbide Coporation, New York, (1977).
- [41] Bostan, B., Özdemir, A.T.: “Fe-% 5,23V ve Fe-%15V Alaşımlarının Yeniden Kristalleşme Kinetiği”, Gazi Üni. Müh. Fak. Der., Cilt 18 No:1, (2003), 101-108.
- [42] Korchynsky, M.: “Microalloying and Thermo-Mechanical Treatment”, Processing, Microstructure and Properties of HSLA Steels, Ed. A.J. DeArdo, TMS Publ. (1998) 169-201.
- [43] Kwon, O.; Chang, R.W.; Ro, K.S.; Lee, W.S.: “Effect of Composition and Hot Rolling Condition on the Mechanical Properties of Low Carbon Bainitic Steels”, Microalloyed HSLA Steels, Proceeding of Microalloying 88, ASM Int. Publ., (1998) 497-506.
- [44] Sukamoto, H.T.; Endo, S.; Suga, M.; Matsumoto, K.: “Effect of Niobium on The Formation of M-A Constituent and HAZ Tojhnness of Steel for Offshore Structure”, Microalloyed HSLA Steels, Proceeding of Microalloying’88, ASM Int, Publ., (1998) 497-503.
- [45] Hulka, K.: “Strip and Sheet”, Mikroalaşımli Çelikler Semineri, Yıldız Üniversitesi, (1989).
- [46] Link, L.R.; Armstrong, R.W.: “Microstructure and Mechanical Properties of HSLA Controlled Rolled Microalloyed C-Mn Steels”, Processing Microstructure and Properties of HSLA Steels, TSM Publ., (1988) 203-229.

- [47] Ghosh, A.; Mishra, B.; Das, S.; Chatterjee, S.: “Structure and properties of a low carbon Cu bearing high strength steel”, *Materials Science and Engineering A* 396 (2005) 320–332.
- [48] Çeviker, I.: “Dövme Mamulleri İçin Gerçekleştirilen Mikroalaşımli Çeliklerde Mikroyapısal Karakterizasyon ve Mikroyapı-Mekanik Özellikler İlişkisi”, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ, İstanbul, Türkiye, (1991).
- [49] Ertaş, H.; Kunt, Z.: “Dövme Amaçlı Mikroalaşım Çeliklerin Üretimi”, *I. Demir-Çelik Sempozyum Bildirileri/77*, Ereğli, Türkiye, (2001) 677-681.
- [50] Hong, S.G.; Jun, H.J.; Kang, K.B.; Park, C.G.: “Evolution of precipitates in the Nb–Ti–V microalloyed HSLA steels during reheating”, *Scripta Materialia* 48 (2003) 1201–1206
- [51] Tekin, A.: “Çelik ve Isıl İşlemi”, İstanbul, Türkiye, (1984).
- [52] Çimenoğlu, H.; Şeşen, K.: “Çelik Seçimi Eğitim semineri”, *TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası*, İstanbul, Türkiye, 9-10 Ocak (2003).
- [53] Misra, R.D.K.; Nathani, H.; Hartmann, J.E.; Siciliano, F.: “Microstructural evolution in a new 770MPa hot rolled Nb–Ti microalloyed steel”, *Materials Science and Engineering A* 394 (2005) 339–352
- [54] Kayalı, E.S.; Çimenoğlu, H.; Şeşen, K.: “Çelik Seçimi”, *TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası*, İstanbul, Türkiye, (2003).
- [55] Kim, N.J.: “The Physical Metallurgy of HSLA Line Pipe Steels-A Review”, *J. Metals*, Nisan (1983) 21-27.
- [56] Majta, J., Batur, A., “Mechanical behaviour of hot and warm formed microalloyed steels”, *J. of Materials Processing Technology*, 125-126 (2002), 77-83.
- [57] Kaya, A.A.: “Düşük Alaşımli Yüksek Mukavemetli Çelikler”, TÜBİTAK-Mam, Malzeme ve Kimya Teknoloji Enstitüsü, Teknoloji Semineri, (2000).
- [58] Mateo, C.G., Romeo, J.L., Rodriguez-Ibabe, J.M: “Warm Forging of a Vanadium Mikroalloyed Steel”, *Proceedings of the 41.st Mechanical Working and Steel Processing Conference*, 37, Warrendela, PA, USA, (1999), 653-663.
- [59] Gülmez, S.; Aykut, Ş., Etik, M.; Işık, B.: “Paslanmaz Çeliklerin Düzlem Yüzey Frezelenmesinde Kesme Parametrelerinin İşlenebilirliğe Etkisi”, *10. Denizli Malzeme Sempozyumu*, Denizli, Türkiye, (2004).

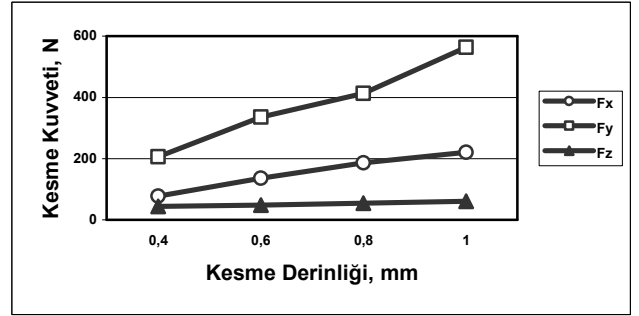
- [60] Aykut, Ş.; “Kobalt Esaslı Süper Alaşımli Çeliklerin Düzlem Frezelenmesinde Talaş Kaldırma Parametrelerinin İşlenebilirliğe Etkisinin İncelenmesi”, *Doktora Tezi*, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye, (2005).

EKLER

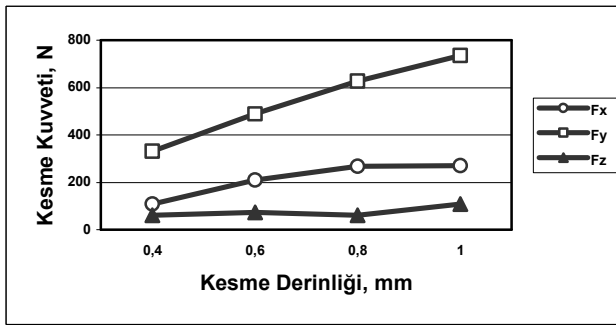
EK A. TALAŞ DERİNLİĞİNE GÖRE KESME KUVVETLERİ GRAFİKLERİ



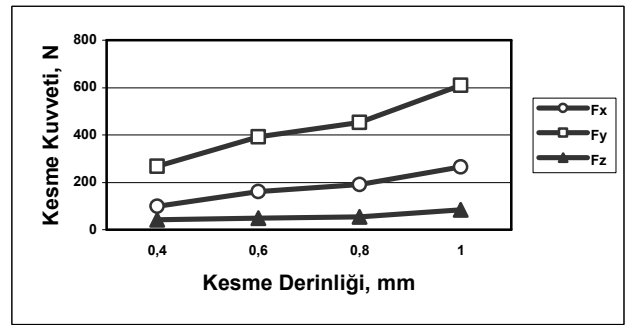
Şekil III.10 Kesme Derinliğinin Kesme Kuvvetlerine Etkisi ($V_c=70$ m/min, $f=160$ mm/min)



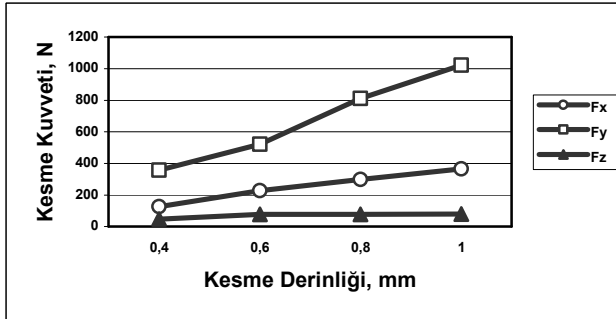
Şekil III.14 Kesme Derinliğinin Kesme Kuvvetlerine Etkisi ($V_c=90$ m/min, $f=160$ mm/min)



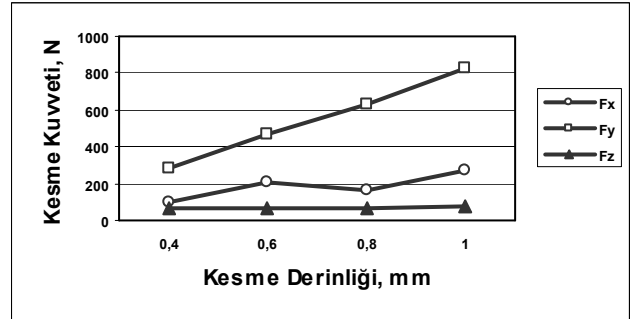
Şekil III.11 Kesme Derinliğinin Kesme Kuvvetlerine Etkisi ($V_c=70$ m/min, $f=200$ mm/min)



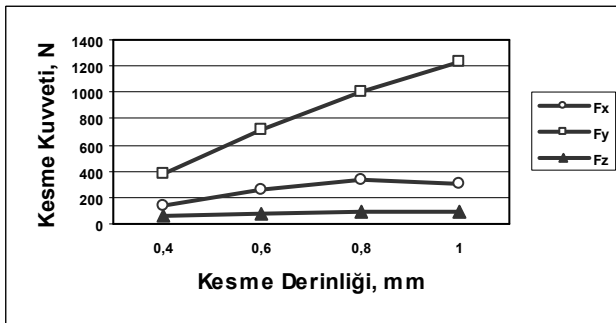
Şekil III.15 Kesme Derinliğinin Kesme Kuvvetlerine Etkisi ($V_c=90$ m/min, $f=200$ mm/min)



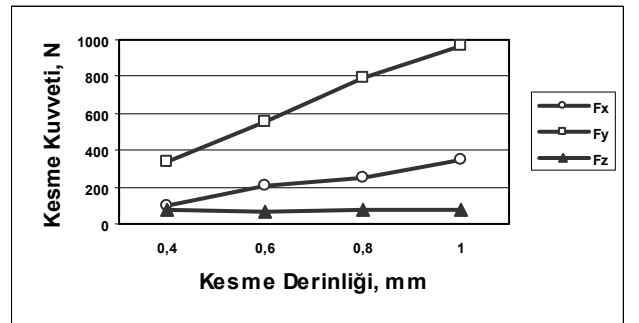
Şekil III.12 Kesme Derinliğinin Kesme Kuvvetlerine Etkisi ($V_c=70$ m/min, $f=250$ mm/min)



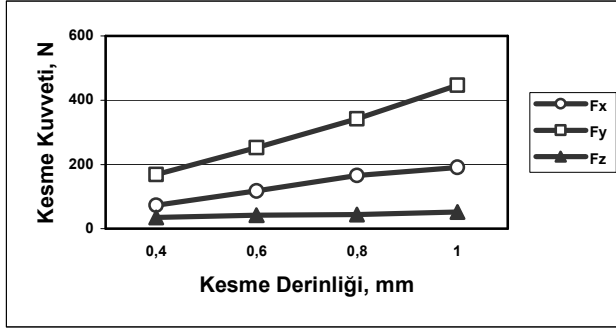
Şekil III.16 Kesme Derinliğinin Kesme Kuvvetlerine Etkisi ($V_c=90$ m/min, $f=250$ mm/min)



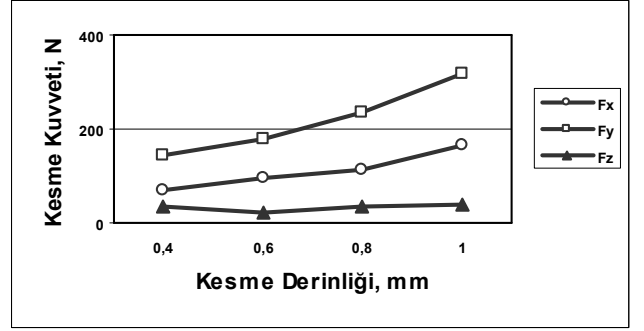
Şekil III.13 Kesme Derinliğinin Kesme Kuvvetlerine Etkisi ($V_c=70$ m/min, $f=315$ mm/min)



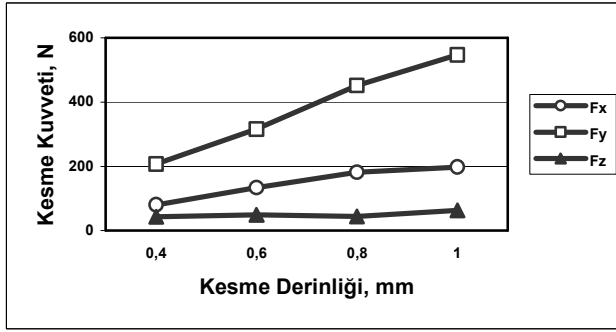
Şekil III.17 Kesme Derinliğinin Kesme Kuvvetlerine Etkisi ($V_c=90$ m/min, $f=315$ mm/min)



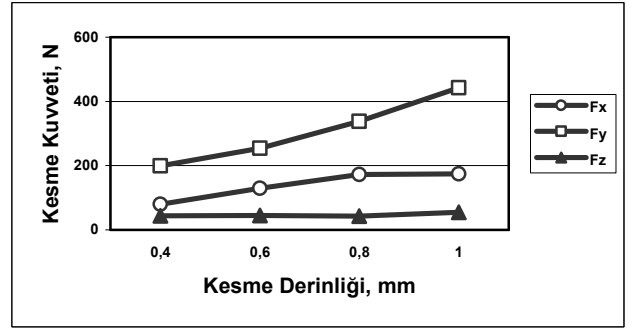
Şekil III.18 Kesme Derinliğinin Kesme Kuvvetlerine Etkisi ($V_c=110$ m/min, $f=160$ mm/min)



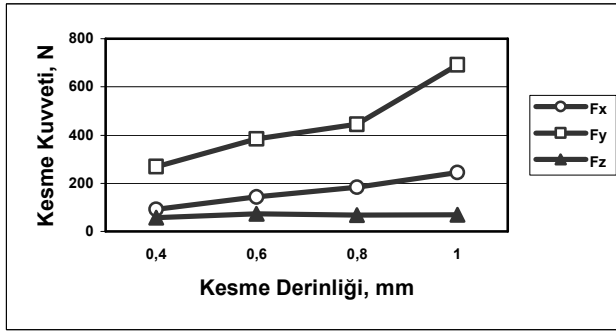
Şekil III.22 Kesme Derinliğinin Kesme Kuvvetlerine Etkisi ($V_c=140$ m/min, $f=160$ mm/min)



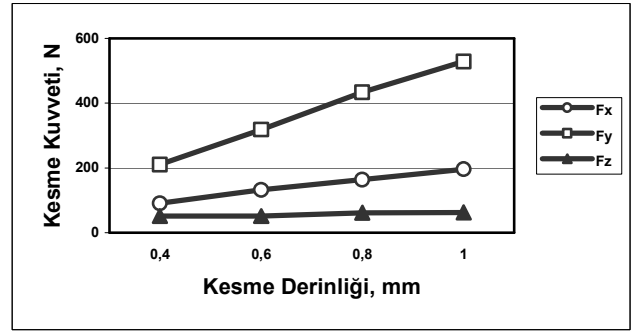
Şekil III.19 Kesme Derinliğinin Kesme Kuvvetlerine Etkisi ($V_c=110$ m/min, $f=200$ mm/min)



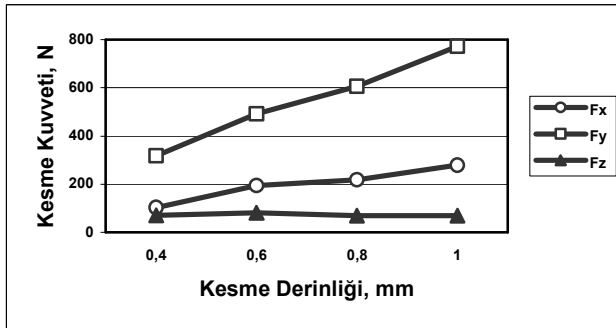
Şekil III.23 Kesme Derinliğinin Kesme Kuvvetlerine Etkisi ($V_c=140$ m/min, $f=200$ mm/min)



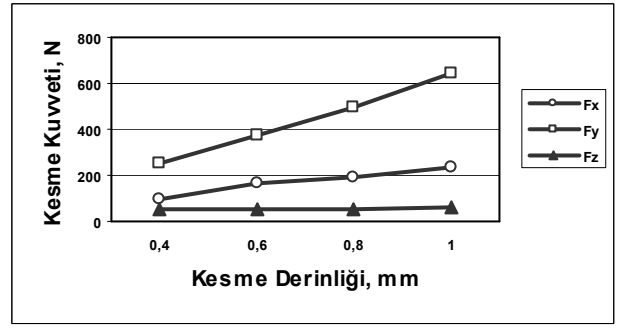
Şekil III.20 Kesme Derinliğinin Kesme Kuvvetlerine Etkisi ($V_c=110$ m/min, $f=250$ mm/min)



Şekil III.24 Kesme Derinliğinin Kesme Kuvvetlerine Etkisi ($V_c=140$ m/min, $f=250$ mm/min)

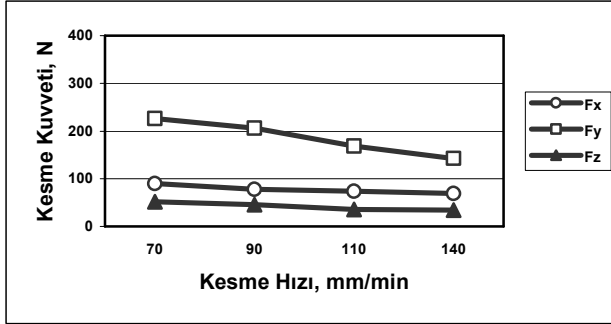


Şekil III.21 Kesme Derinliğinin Kesme Kuvvetlerine Etkisi ($V_c=110$ m/min, $f=315$ mm/min)

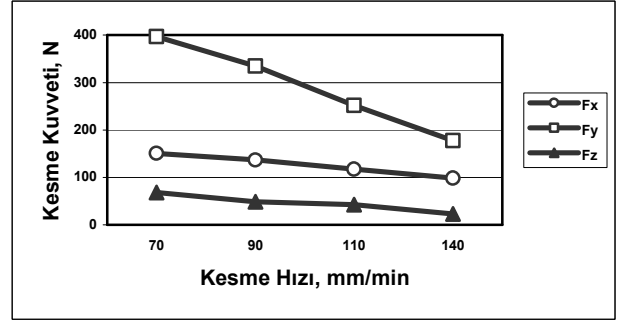


Şekil III.25 Kesme Derinliğinin Kesme Kuvvetlerine Etkisi ($V_c=140$ m/min, $f=315$ mm/min)

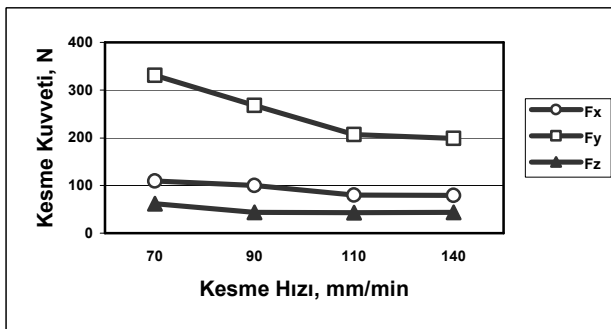
EK B. KESME HIZINA GÖRE KESME KUVVETLERİ GRAFİKLERİ



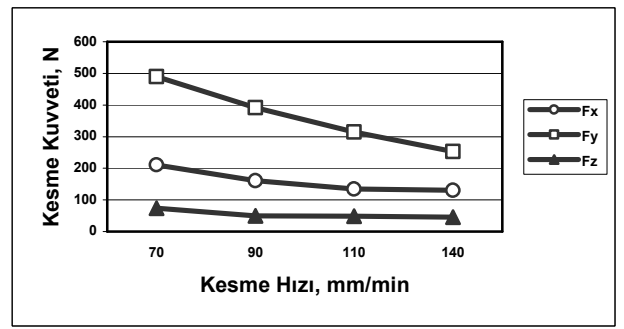
Şekil III.26 Kesme Hızının Kesme Kuvvetlerine Etkisi
(a=0,4 mm, f=160 mm/min)



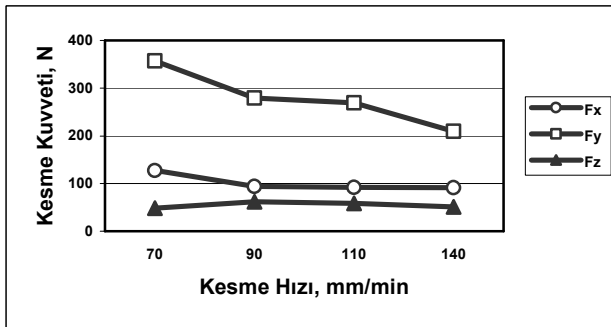
Şekil III.30 Kesme Hızının Kesme Kuvvetlerine Etkisi
(a=0,6 mm, f=160 mm/min)



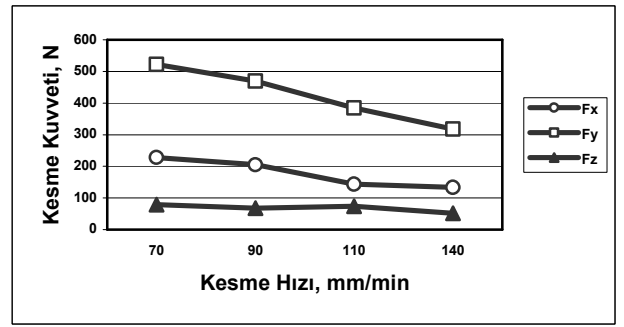
Şekil III.27 Kesme Hızının Kesme Kuvvetlerine Etkisi
(a=0,4 mm, f=200 mm/min)



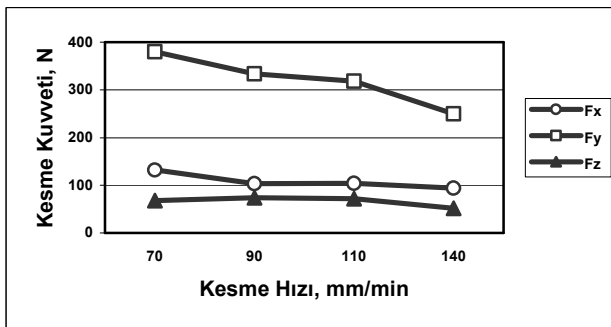
Şekil III.31 Kesme Hızının Kesme Kuvvetlerine Etkisi
(a=0,6 mm, f=200 mm/min)



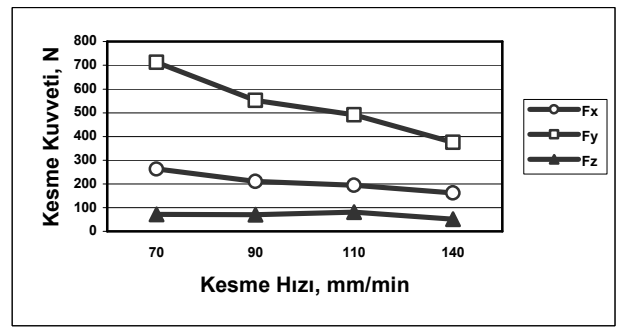
Şekil III.28 Kesme Hızının Kesme Kuvvetlerine Etkisi
(a=0,4 mm, f=250 mm/min)



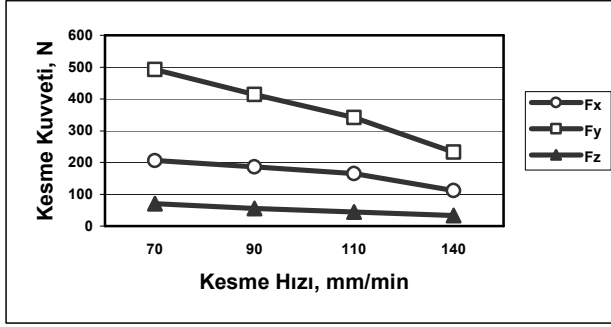
Şekil III.32 Kesme Hızının Kesme Kuvvetlerine Etkisi
(a=0,6 mm, f=250 mm/min)



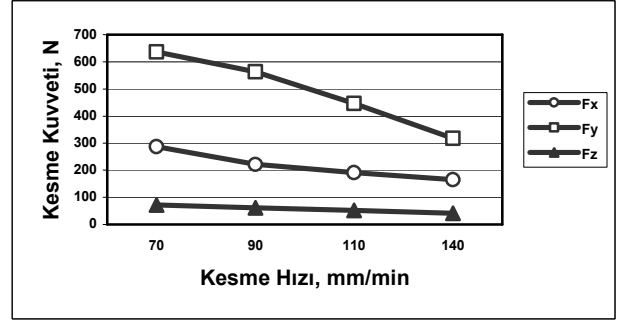
Şekil III.29 Kesme Hızının Kesme Kuvvetlerine Etkisi
(a=0,4 mm, f=315 mm/min)



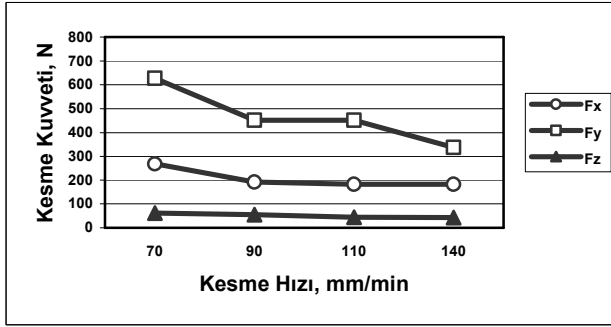
Şekil III.33 Kesme Hızının Kesme Kuvvetlerine Etkisi
(a=0,6 mm, f=315 mm/min)



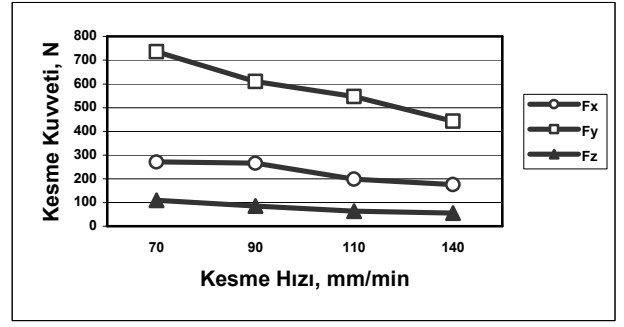
Şekil III.34 Kesme Hızının Kesme Kuvvetlerine Etkisi (a=0,8 mm, f=160 mm/min)



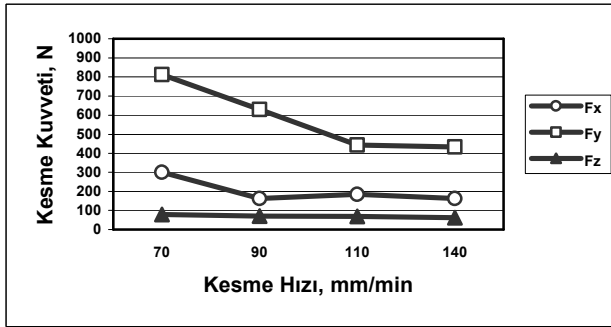
Şekil III.38 Kesme Hızının Kesme Kuvvetlerine Etkisi (a=1 mm, f=160 mm/min)



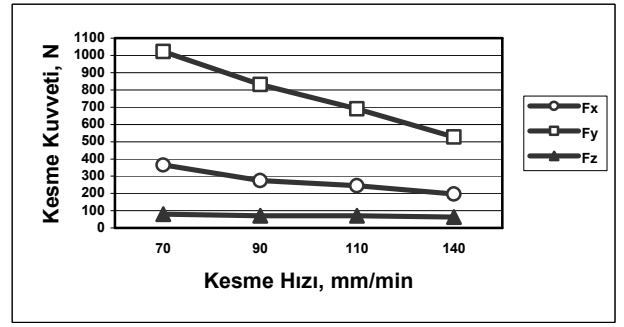
Şekil III.35 Kesme Hızının Kesme Kuvvetlerine Etkisi (a=0,8 mm, f=200 mm/min)



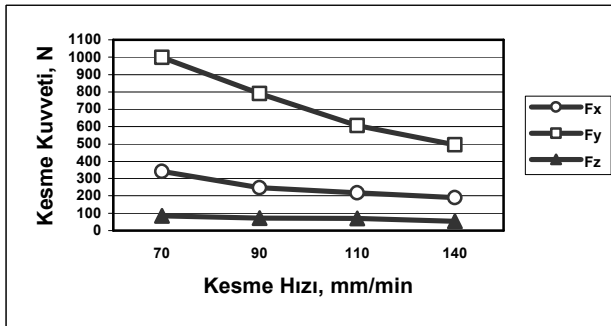
Şekil III.39 Kesme Hızının Kesme Kuvvetlerine Etkisi (a=1 mm, f=200 mm/min)



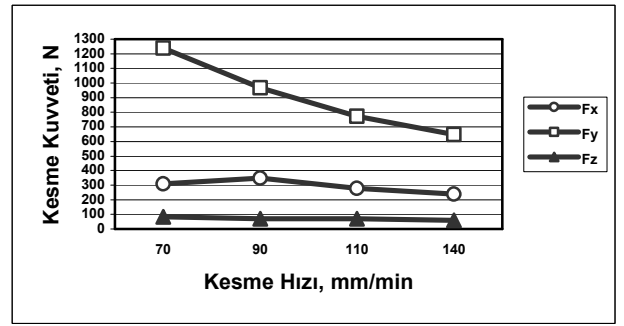
Şekil III.36 Kesme Hızının Kesme Kuvvetlerine Etkisi (a=0,8 mm, f=250 mm/min)



Şekil III.40 Kesme Hızının Kesme Kuvvetlerine Etkisi (a=1 mm, f=250 mm/min)

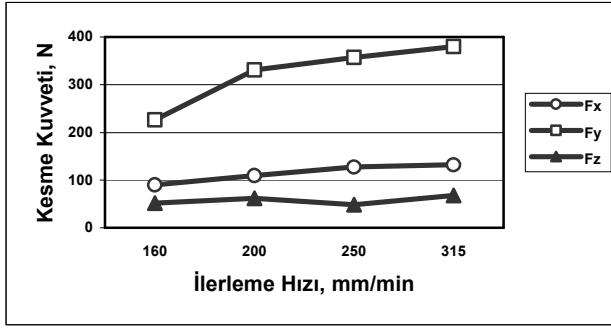


Şekil III.37 Kesme Hızının Kesme Kuvvetlerine Etkisi (a=0,8 mm, f=315 mm/min)

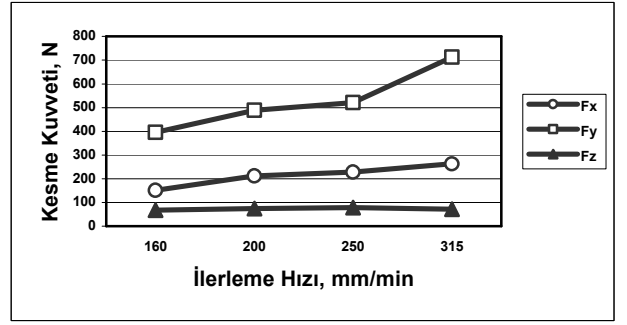


Şekil III.41 Kesme Hızının Kesme Kuvvetlerine Etkisi (a=1 mm, f=315 mm/min)

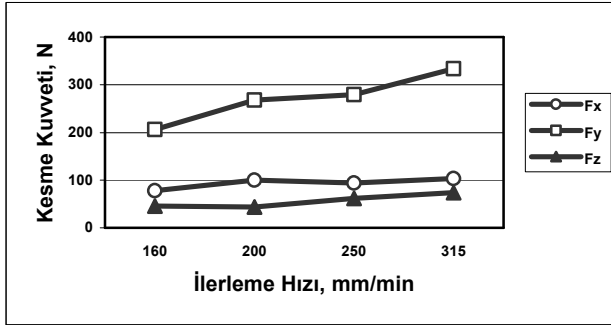
EK C. İLERLEME HIZINA GÖRE KESME KUVVETLERİ GRAFİKLERİ



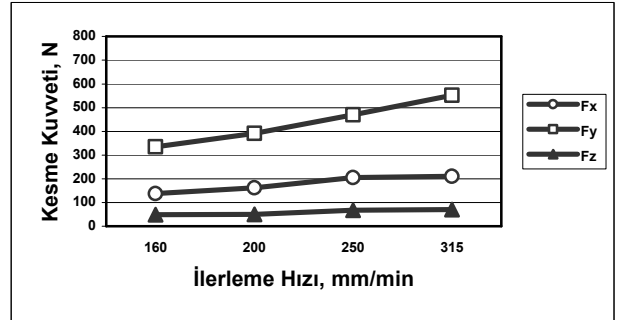
Şekil III.42 İlerleme Hızının Kesme Kuvvetlerine Etkisi ($a=0,4$ mm, $V_c=70$ m/min)



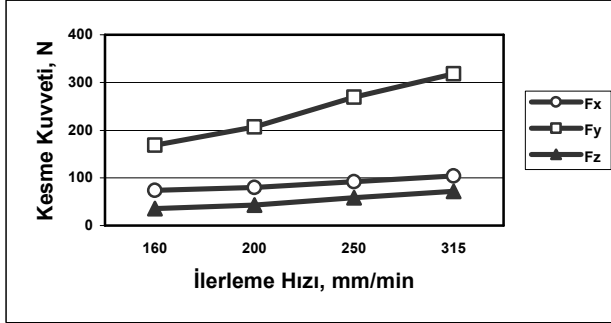
Şekil III.46 İlerleme Hızının Kesme Kuvvetlerine Etkisi ($a=0,6$ mm, $V_c=70$ m/min)



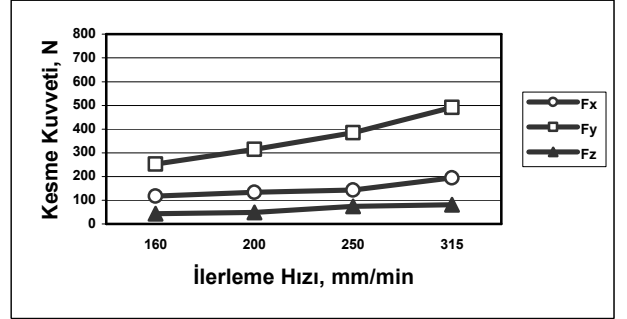
Şekil III.43 İlerleme Hızının Kesme Kuvvetlerine Etkisi ($a=0,4$ mm, $V_c=90$ m/min)



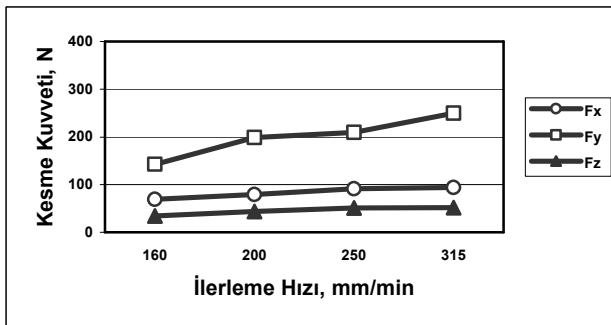
Şekil III.47 İlerleme Hızının Kesme Kuvvetlerine Etkisi ($a=0,6$ mm, $V_c=90$ m/min)



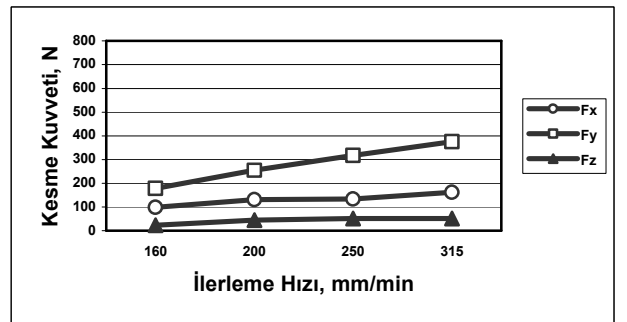
Şekil III.44 İlerleme Hızının Kesme Kuvvetlerine Etkisi ($a=0,4$ mm, $V_c=110$ m/min)



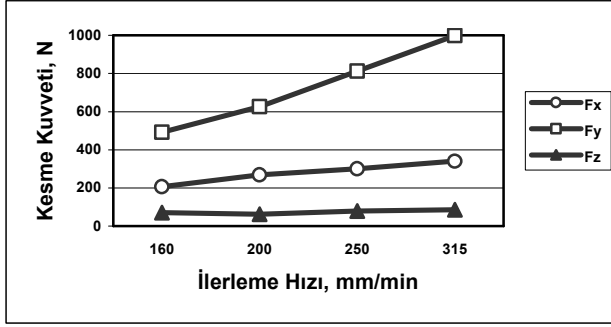
Şekil III.48 İlerleme Hızının Kesme Kuvvetlerine Etkisi ($a=0,6$ mm, $V_c=110$ m/min)



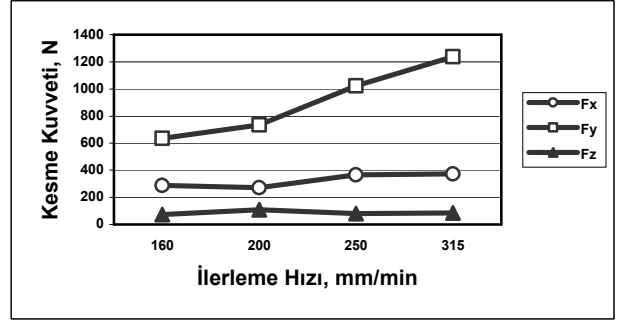
Şekil III.45 İlerleme Hızının Kesme Kuvvetlerine Etkisi ($a=0,4$ mm, $V_c=140$ m/min)



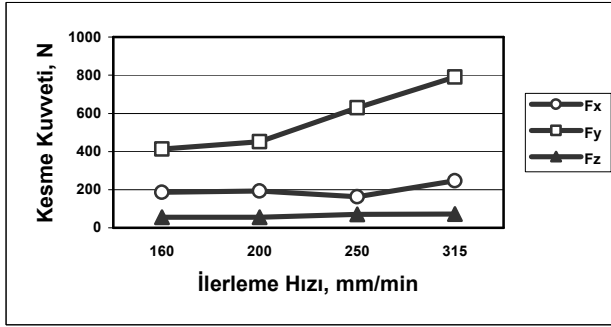
Şekil III.49 İlerleme Hızının Kesme Kuvvetlerine Etkisi ($a=0,6$ mm, $V_c=140$ m/min)



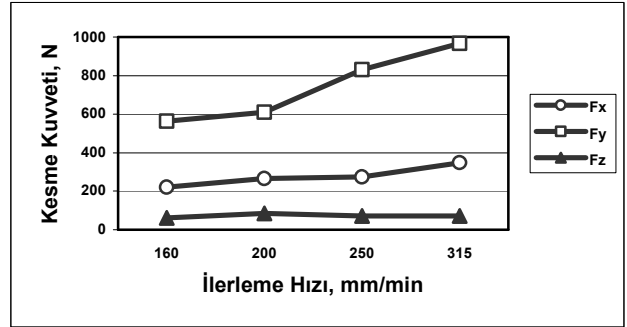
Şekil III.50 İlerleme Hızının Kesme Kuvvetlerine Etkisi ($a=0,8$ mm, $V_c=70$ m/min)



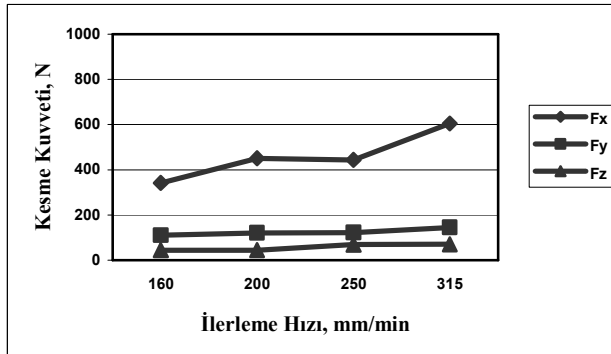
Şekil III.54 İlerleme Hızının Kesme Kuvvetlerine Etkisi ($a=1$ mm, $V_c=70$ m/min)



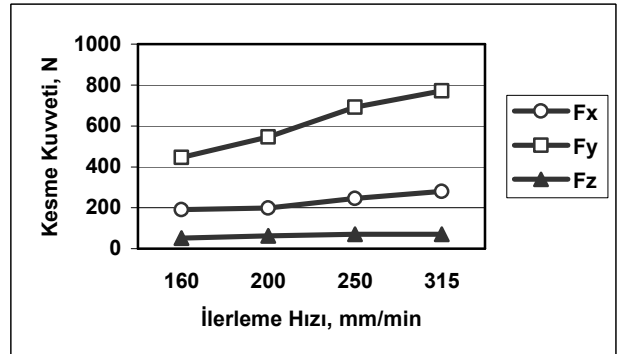
Şekil III.51 İlerleme Hızının Kesme Kuvvetlerine Etkisi ($a=0,8$ mm, $V_c=90$ m/min)



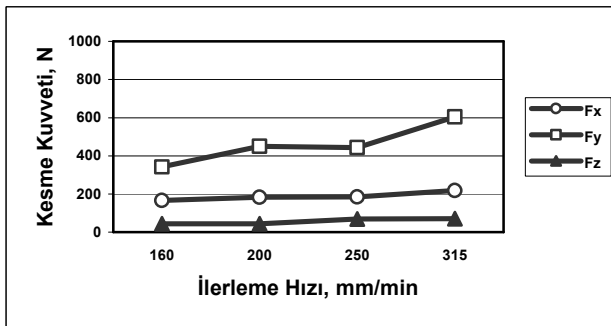
Şekil III.55 İlerleme Hızının Kesme Kuvvetlerine Etkisi ($a=1$ mm, $V_c=90$ m/min)



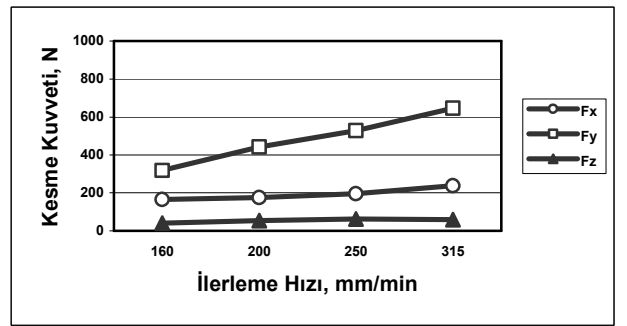
Şekil III.52 İlerleme Hızının Kesme Kuvvetlerine Etkisi ($a=0,8$ mm, $V_c=110$ m/min)



Şekil III.56 İlerleme Hızının Kesme Kuvvetlerine Etkisi ($a=1$ mm, $V_c=110$ m/min)

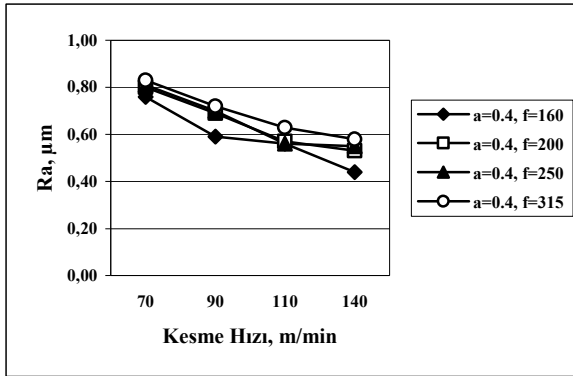


Şekil III.53 İlerleme Hızının Kesme Kuvvetlerine Etkisi ($a=0,8$ mm, $V_c=140$ m/min)

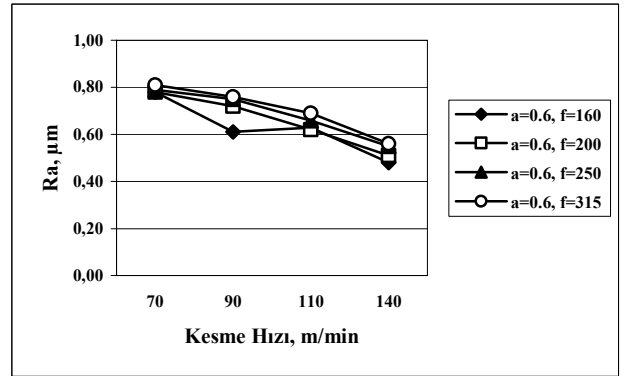


Şekil III.57 İlerleme Hızının Kesme Kuvvetlerine Etkisi ($a=1$ mm, $V_c=140$ m/min)

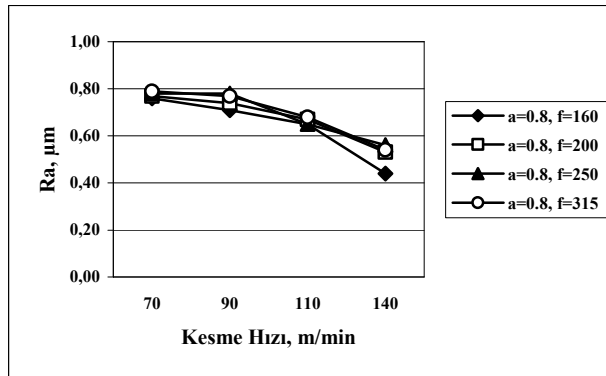
EK D. KESME HIZI-ORTALAMA YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ GRAFİKLERİ



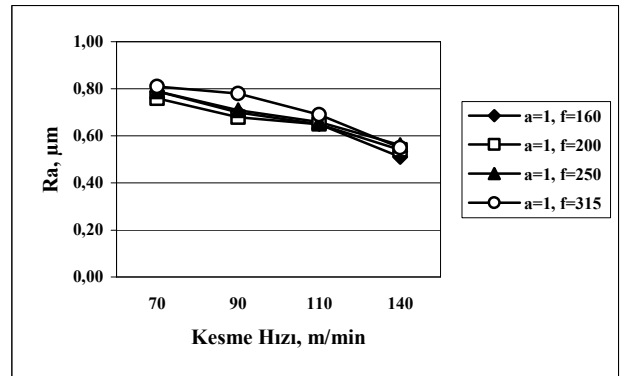
Şekil III.58 Kesme Hızının Ortalama Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi



Şekil III.59 Kesme Hızının Ortalama Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi

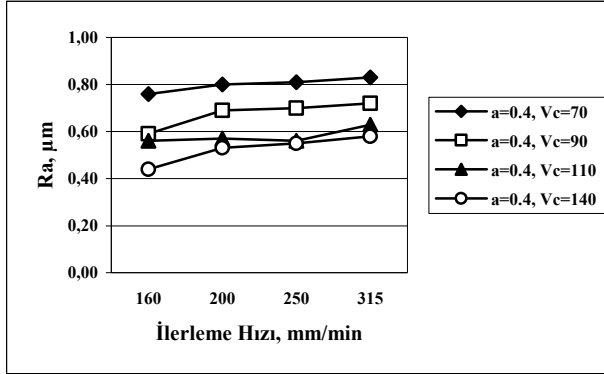


Şekil III.60 Kesme Hızının Ortalama Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi

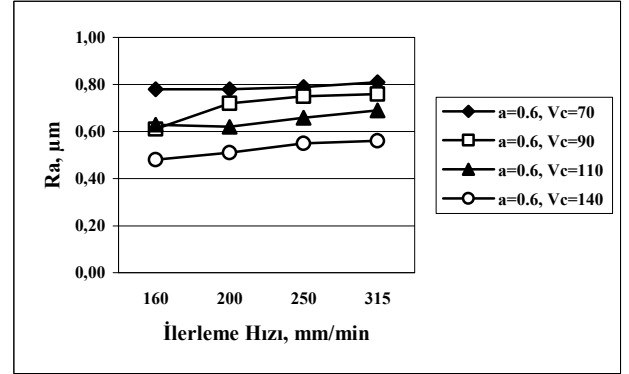


Şekil III.61 Kesme Hızının Ortalama Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi

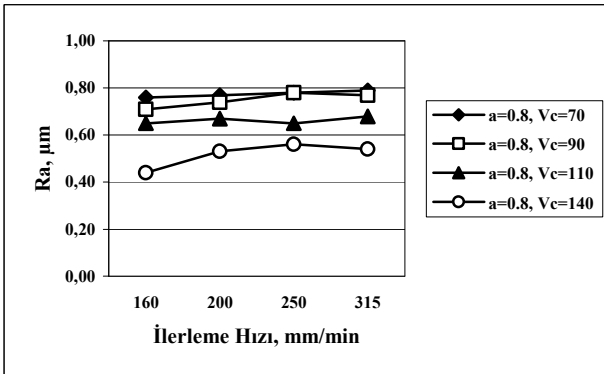
EK E. İLERLEME HIZI-ORTALAMA YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ GRAFİKLERİ



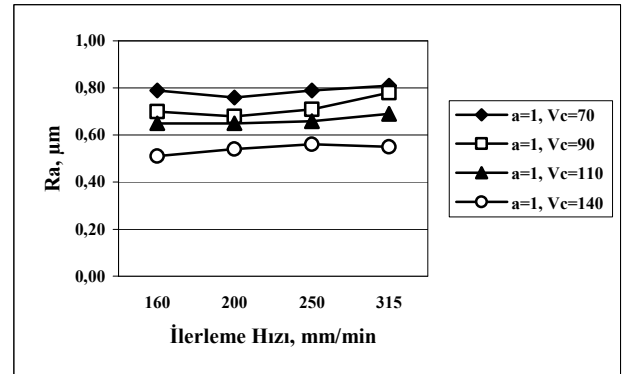
Şekil III.62 İlerleme Hızının Ortalama Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi



Şekil III.63 İlerleme Hızının Ortalama Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi

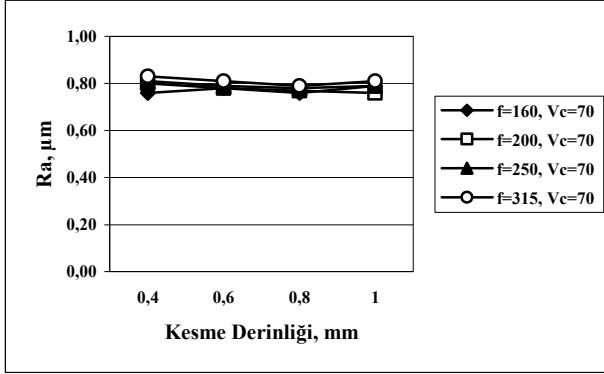


Şekil III.64 İlerleme Hızının Ortalama Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi

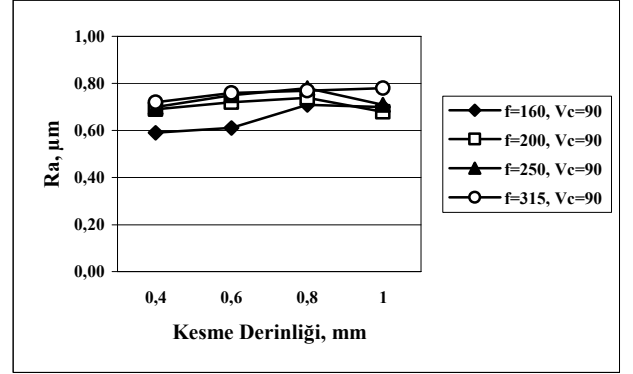


Şekil III.65 İlerleme Hızının Ortalama Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi

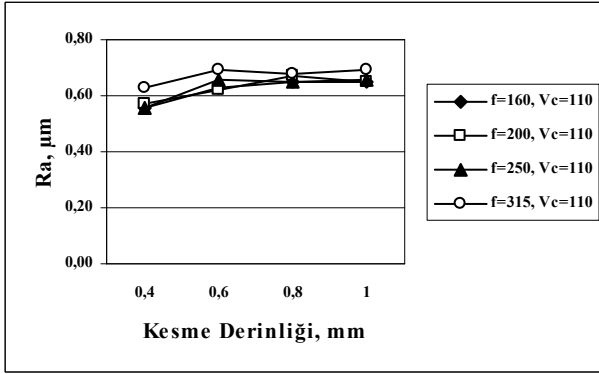
EK F. KESME DERİNLİĞİ-ORTALAMA YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ GRAFİKLERİ



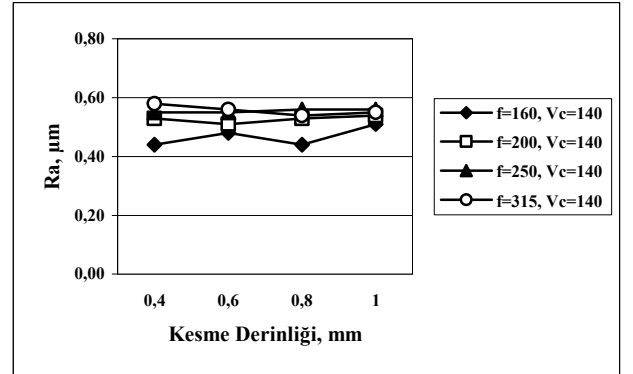
Şekil III.66 Kesme Derinliğinin Ortalama Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi



Şekil III.67 Kesme Derinliğinin Ortalama Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi



Şekil III.68 Kesme Derinliğinin Ortalama Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi



Şekil III.69 Kesme Derinliğinin Ortalama Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi

ÖZGEÇMİŞ

1992 yılında başladığı Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümünden 1996 yılında mezun oldu.

1998 yılında Milli Eğitim Bakanlığına bağlı Bilecik Mesleki Eğitim Merkezinde Öğretmenliğe başladı. 2003 yılında Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Makine Eğitimi Anabilim Dalında yüksek lisansa başladı. Halen Bilecik Mesleki Eğitim Merkezinde Teknik Öğretmen olarak çalışmaktadır. Evli ve bir çocuk babasıdır.