

**AISI D2 SOĞUK İŞ TAKIM ÇELİĞİNİN FREZEDE İŞLENEBİLİRLİĞİNİN  
İNCELENMESİ**

**Emine ŞİRİN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HAZİRAN 2010  
ANKARA**

Emine ŞİRİN tarafından hazırlanan ‘‘AISİ D2 SOĞUK İŞ TAKİM ÇELİĞİNİN FREZEDE İŞLENEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ’’ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç.Dr. İhsan KORKUT

.....

Tez DanıŐmanı, Makine EĞitimi Anabilim Dalı

Bu alıŐma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine EĞitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof.Dr. Ulvi ŐEKER

.....

Makine EĞitimi, Gazi Üniversitesi

Doç.Dr. İhsan KORKUT

.....

Makine EĞitimi, Gazi Üniversitesi

Doç.Dr. Halil DEMİR

.....

Makine EĞitimi, Karabük Üniversitesi

Yrd.Doç.Dr. Hakan DİLİPAK

.....

Makine EĞitimi, Gazi Üniversitesi

Yrd.Doç.Dr. Yakup TURGUT

.....

Makine EĞitimi, Gazi Üniversitesi

Tarih: 15/06/2010

Bu tez ile G.Ő. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıŐtır.

Prof. Dr. Bilal TOKLU

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## **TEZ BİLDİRİMİ**

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

Emine ŞİRİN

**AISI D2 SOĞUK İŞ TAKIM ÇELİĞİNİN FREZEDE  
İŞLENEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ**  
(Yüksek Lisans Tezi)

**Emine ŞİRİN**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
Haziran 2010

**ÖZET**

Bu çalışmada, ısıl işlem uygulanmış farklı sertliklerdeki AISI D2 Soğuk İş Takım Çeliğinin CNC dik işleme merkezinde simetrik alın frezeleme işlemine tabi tutularak kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülük değerleri incelenmiştir. Frezeleme işleminde, PVD yöntemi ile TiAl+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+ZrN kaplanmış karbür kesici takımlar kullanılmıştır. Deneyler, dört farklı kesme hızında (70-90-110-130 m/min), üç farklı ilerlemede (0.05-0.1-0.15 mm/tooth) ve 0.5 mm kesme derinliğinde kuru şartlarda yapılmıştır. Frezeleme işleminde kesme parametrelerinin kesme kuvvetleri üzerindeki etkilerinin incelenmesi, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğündeki değişimlerin analiz edilmesi için kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüştür. Bu parametrelerin kesme kuvvetlerine ve yüzey pürüzlülüğüne olan etkileri araştırılmıştır. Yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili parametreler sırasıyla takım geometrisi, ilerleme miktarı ve kesme hızı olduğu tespit edilmiştir. En iyi yüzey pürüzlülük değeri 0,098 µm-Ra olarak tespit edilmiştir. Yeni bir geometriye sahip kesici takımda kayda değer bir takım aşınması görülmemiştir.

**Bilim Kodu** : 708.3.028  
**Anahtar Kelimeler** : AISI D2, Frezeleme, İşlenebilirlik, Yüzey pürüzlülüğü  
**Sayfa Adedi** : 92  
**Tez Yöneticisi** : Doç. Dr. İhsan KORKUT

**INVESTIGATION OF THE MACHINABILITY OF COLD WORK TOOL  
STEEL AISI D2 IN MILLING MACHINE**

**(M.Sc. Thesis)**

**Emine ŞİRİN**

**GAZI UNIVERSITY  
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

**June 2010**

**ABSTRACT**

**In this study, cutting force and surface roughness of Cold Work Tool Steel AISI D2 which heat treatment was applied, were investigated by being subjected to face milling process at CNC vertical machining center. Carbide cutting tools covered by TiAl+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+ZrN by PVD method were used at milling process. Experiments were conducted at four different cutting speed (70-90-110-130 m/min), three different feed rate (0.05-0.1-0.15 mm/tooth) and 0.5 mm depth of cut with dry conditions. In machining process, cutting force and surface roughness values were measured for examining of cutting parameters effects on cutting force and analyzing of changing of cutting force and surface roughness. Effects of these parameters on cutting force and surface roughness were investigated. Effective parameters on surface roughness are tool geometry, feed rate and cutting speed. The best surface roughness value was determined as 0,098 µm- Ra. At cutting tool which has new geometry, significant tool wear was not observed.**

**Science Code : 708.3.028**  
**Key Words : AISI D2, Milling, Machinability, Surface roughness**  
**Page Number : 92**  
**Adviser : Assoc. Prof. Dr. İhsan KORKUT**

## TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren tez danışmanım Doç.Dr. İhsan KORKUT'a, yine kıymetli bilgilerinden faydalandığım değerli hocam Yrd.Doç.Dr.Yakup TURGUT'a, yine desteklerini esirgemeyen Arő.Gör.Gültekin UZUN'a teőekkürlerimi sunuyorum.

Ayrıca, maddi ve manevi destekleriyle hep yanımda olan en büyük destekçim, eşim Şenol ŞİRİN'e ve beni bu günlere getiren aileme saygı ve őükranlarımı sunuyorum.

Emine ŞİRİN

## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
ÖZET .....	iv
ABSTRACT .....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER .....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ .....	xi
RESİMLERİN LİSTESİ .....	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xv
1. GİRİŞ .....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI .....	4
2.1 Tornalama İle İlgili Yapılan Çalışmalar.....	5
2.2. Frezeleme İle İlgili Yapılan Çalışmalar .....	7
2.3. Literatür Araştırmasının Değerlendirilmesi .....	10
3. KURAMSAL TEMELLER .....	12
3.1.Çelikler .....	12
3.1.1. Çeliklerin kullanım yerlerine göre sınıflandırılması .....	12
3.2. Frezeleme .....	18
3.2.1. Frezeleme işleminde talaş kaldırma .....	19
3.2.3. Aynı yönlü frezeleme .....	23
3.2.4. Zıt yönlü frezeleme .....	24
3.2.5. Frezelemede temel parametreler .....	25
3.2.6. Frezeleme işleminde kullanılan genel formüller.....	26
3.3. Isıl İşlem .....	27
3.3.1. Çeliklere uygulanan ısıl işlemler.....	28

**Sayfa**

3.4. İşlenebilirlik ve İşlenebilirliği Etkileyen Faktörler .....	32
3.4.1. İşlenebilirlik .....	32
3.4.2. İşlenebilirliği etkileyen faktörler .....	35
3.4.3. İşlenebilirlik – ömür ilişkisi .....	36
3.4.4. İşlenebilirliğin ölçülmesi .....	37
3.5. Yüzey Pürüzlülüğü .....	39
3.5.1. Yüzey pürüzlülüğünün önemli olduğu durumlar .....	40
3.5.2. Yüzey pürüzlülüğüne etki eden faktörler .....	41
3.5.3. Yüzey pürüzlülüğünün ölçümü ve gösterimi .....	41
4. MALZEME ve METOD .....	44
4.1. Deney Numuneleri.....	44
4.1.1. Deney numunelerinin ısı işlemleri .....	45
4.2. Kesici Takımlar ve Takım Tutucular .....	47
4.3. Takım Tezgahı.....	49
4.4. Kuvvet Ölçüm Sistemi .....	49
4.5. Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Cihazı.....	50
4.6. Deney Değişkenleri .....	51
5. DENEYSEL SONUÇLAR ve TARTIŞMA .....	52
5.1. Kesme Kuvvetleri.....	54
5.1.1. T1 takımı ile yapılan deneylerdeki kesme kuvvetleri .....	55
5.1.2. T2 takımı ile yapılan deneylerdeki kesme kuvvetleri .....	60
5.1.3. T1 ve T2 takımlarının kesme kuvvetleri açısından kıyaslanması .....	64
5.2. Yüzey Pürüzlülüğü .....	66
5.2.1. T1 takımı ile elde edilen yüzey pürüzlülükleri.....	67



**Sayfa**

5.2.2. T2 takımı ile elde edilen yüzey pürüzlülükleri.....	70
5.2.3. T1 takımı ile T2 takımının yüzey pürüzlülüklerinin kıyaslanması.....	71
5.3. Takım Aşınması .....	75
6. SONUÇ VE ÖNERİLER .....	80
KAYNAKLAR .....	85
EKLER.....	90
EK-1 AISI D2 malzeme sertifikası .....	91
ÖZGEÇMİŞ .....	92

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

<b>Çizelge</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 3.1.Çelikler ve bazı kullanım alanları.....	17
Çizelge 4.1. Deney malzemesinin kimyasal yapısı AISI D2 %.....	44
Çizelge 4.2. Deney numunelerinin ısıtım işlem sıcaklıkları ve süreleri.....	47
Çizelge 4.3. Kullanılan CNC dik işleme merkezinin özellikleri.....	49
Çizelge 4.4 Deneylerde kullanılan cihaz/donanım ve özellikleri.....	50
Çizelge 4.5.Yüzey pürüzlülük cihazının özellikleri.....	51
Çizelge 4.6. Deney değişkenleri.....	51
Çizelge 5.1. Deney veri tablosu.....	52

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 3.1. Kesici uçların tutucuya yerleştirilmesi.....	20
Şekil 3.2. Simetrik alın frezelemenin gösterilişi.....	21
Şekil 3.3. Asimetrik frezelemenin gösterilişi.....	22
Şekil 3.4. Aynı yönlü çevresel frezelemenin gösterilişi.....	23
Şekil 3.5. Zıt yönlü frezelemenin gösterilişi.....	24
Şekil 3.6. Yatay frezelemede kesme genişliği $a_p$ ve kesme derinliği $a_e$ .....	26
Şekil 3.7. Dikey frezelemede kesme genişliği $a_p$ ve kesme derinliği $a_e$ .....	26
Şekil 3.8. Genel ısı işlem süreci.....	28
Şekil 3.9. Fe-C diyagramının çelik bölgesi ve uygulanan ısı işlemlerin sıcaklık bölgeleri.....	29
Şekil 3.10. Kontrol halkası şeklinde gösterilen talaş kaldırma işlemleri.....	34
Şekil 3.11. Yüzey pürüzlülüğünün üç boyutlu gösterilmesi ve yüzey profili.....	39
Şekil 3.12. Yüzey pürüzlülüğü ve değerlendirmesi.....	43
Şekil 4.1. Deney numunesi boyutları.....	45
Şekil 4.2. AISI D2 çeliğinin 1030°C zaman-sıcaklık dönüşüm diyagramı.....	46
Şekil 4.3. Kullanılan kesici takımların geometrisi ve boyutları.....	47
Şekil 4.4. Kesici takım kaplama katmanları.....	48
Şekil 4.5. Takım tutucu ölçüleri.....	48
Şekil 4.6. Deney düzeneği şematik gösterimi .....	50
Şekil 5.1. T1 takımı ile M1 malzemesinde ilerlemelere bağlı Fz kesme kuvvetleri....	55
Şekil 5.2. T1 takımı ile M2 malzemesinde ilerlemelere bağlı Fz kesme kuvvetleri....	55
Şekil 5.3. T1 takımı ile M3 malzemesinde ilerlemelere bağlı Fz kesme kuvvetleri....	56

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 5.4. 0.05 mm/tooth ilerlemede her bir malzemede oluşan kesme kuvveti.....	57
Şekil 5.5. 0.1 mm/tooth ilerlemede her bir malzemede oluşan kesme kuvveti.....	58
Şekil 5.6. 0.15 mm/tooth ilerlemede her bir malzemede oluşan kesme kuvveti.....	58
Şekil 5.7. M1 malzemesinde ilerlemelere bağlı kesme kuvvetleri.....	59
Şekil 5.8. M2 malzemesinde ilerlemelere bağlı kesme kuvvetleri.....	59
Şekil 5.9. M3 malzemesinde ilerlemelere bağlı kesme kuvvetleri.....	60
Şekil 5.10. T2 takımı ile M1 malzemesinde ilerlemelere bağlı Fz kesme kuvvetleri...	61
Şekil 5.11. T2 takımı ile M2 malzemesinde ilerlemelere bağlı Fz kesme kuvvetleri...	61
Şekil 5.12. T2 takımı ile M3 malzemesinde ilerlemelere bağlı Fz kesme kuvvetleri...	62
Şekil 5.13. 0.05 mm/tooth ilerlemede her bir malzemede oluşan kesme kuvveti.....	62
Şekil 5.14. 0.1 mm/tooth ilerlemede her bir malzemede oluşan kesme kuvveti.....	63
Şekil 5.15. 0.15 mm/tooth ilerlemede her bir malzemede oluşan kesme kuvveti.....	63
Şekil 5.16. T1-T2 takımlarının 0.05 mm/tooth ilerlemede kesme kuvvetleri .....	64
Şekil 5.17. T1-T2 takımlarının 0.1 mm/tooth ilerlemede kesme kuvvetleri.....	65
Şekil 5.18. T1-T2 takımlarının 0.15 mm/tooth ilerlemede kesme kuvvetleri.....	66
Şekil 5.19. Yüzey pürüzlülüğünün 70 m/min'de ilerleme miktarına bağlı değişimi...	67
Şekil 5.20. Yüzey pürüzlülüğünün 90 m/min'de ilerleme miktarına bağlı değişimi...	68
Şekil 5.21. Yüzey pürüzlülüğünün 110 m/min'de ilerleme miktarına bağlı değişimi...	68
Şekil 5.22. Yüzey pürüzlülüğünün 130 m/min'de ilerleme miktarına bağlı değişimi...	69
Şekil 5.23. Yüzey pürüzlülüğünün 70 m/min'de ilerleme miktarına bağlı değişimi...	70
Şekil 5.24. Yüzey pürüzlülüğünün 90 m/min'de ilerleme miktarına bağlı değişimi...	71
Şekil 5.25. Yüzey pürüzlülüğünün 110 m/min'de ilerleme miktarına bağlı değişimi...	71
Şekil 5.26. Yüzey pürüzlülüğünün 130 m/min'de ilerleme miktarına bağlı değişimi...	72

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 5.27. M1 malzemesinde T1 ve T2 takımlarının ilerlemeye bağlı yüzey pürüzlülüğü a) 70 m/min, b) 90 m/min, c) 110 m/min, d) 130 m/min.....	73
Şekil 5.28. M2 malzemesinde T1 ve T2 takımlarının ilerlemeye bağlı yüzey pürüzlülüğü a) 70 m/min, b) 90 m/min, c) 110 m/min, d) 130 m/min.....	74
Şekil 5.29. M3 malzemesinde T1 ve T2 takımlarının ilerlemeye bağlı yüzey pürüzlülüğü a) 70 m/min, b) 90 m/min, c) 110 m/min, d) 130 m/min.....	75
Şekil 5.30. T2 kesici takım ile M3 malzemesinin işlenmesindeki takım aşınmaları...	79

**RESİMLERİN LİSTESİ**

<b>Resim</b>	<b>Sayfa</b>
Resim 5.1. T1 kesici takımların kesme kenarlarının SEM görüntüleri	
a) $V=110$ m/min, $fz=0,1$ mm/z, sertlik=48 HRc,	
b) $V=130$ m/min, $fz=0,1$ mm/z, sertlik=56 HRc,	
c) $V=110$ m/min, $fz=0,15$ mm/z, sertlik=56 HRc,	
d) $V=130$ m/min, $fz=0,15$ mm/z, sertlik=56 HRc.....	77
Resim 5.2. T2 kesici takımların kesme kenarlarının görüntüleri	
a) $V=110$ m/min, $fz=0,1$ mm/tooth, sertlik=48 HRc,	
b) $V=130$ m/min, $fz=0,1$ mm/ tooth, sertlik=48 HRc,	
c) $V=110$ m/min, $fz=0,15$ mm/ tooth, sertlik=48 HRc,	
d) $V=130$ m/min, $fz=0,15$ mm/ tooth, sertlik=48 HRc.....	78
Resim 5.3. T2 kesici takımların kesme kenarlarının görüntüleri	
a) $V=130$ m/min, $fz=0,05$ mm/tooth, sertlik=56 HRc,	
b) $V=110$ m/min, $fz=0,1$ mm/ tooth, sertlik=56 HRc.....	79

## SİMGELER VE KISALTMALAR

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

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
$a_p$	Kesme derinliği (mm)
$a_e$	İşleme genişliği (mm)
AlN	Alüminyum nitrür
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Alüminyum oksit
$b$	İş parçasının genişliği (mm)
$D_c$	Takım çapı (mm)
$F_x$	X eksenindeki kesme kuvveti (N)
$F_y$	Y eksenindeki kesme kuvveti (N)
$F_z$	Z eksenindeki kesme kuvveti (N)
$f_z$	Diş başına ilerleme miktarı (mm/z)
$f_n$	Devir başına ilerleme miktarı (mm/rev)
$h_m$	Ortalama talaş kalınlığı (mm)
N	Fener mili hızı (rev/min)
$k_c$	Spesifik kesme kuvveti (N/mm <sup>2</sup> )
$P_c$	Net güç (kw)
$R_a$	Ortalama yüzey pürüzlülük değeri (μm)
$R_p$	Pürüzlülüğün düzeltilmiş derinliği (μm)
$R_t$	Pürüzlülük derinliği (mm)
$T_c$	İşleme zamanı (min)

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
<b>TiC</b>	Titanyum karbür
<b>TiN</b>	Titanyum nitrür
<b>TiAlN</b>	Titanyum alüminyum nitrür
<b>Vc</b>	Kesme hızı (m/min)
<b>Vf</b>	Tabla ilerlemesi (mm/dak)
<b>Q</b>	Talaş kaldırma hızı (cm <sup>3</sup> )
<b><math>\alpha</math></b>	Talaş açısı (°)
<b>z</b>	Frezenin kesici diş sayısı (adet)
<b>ZrN</b>	Zirkonyum nitrür

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
<b>AISI</b>	Amerikan demir ve çelik enstitüsü (American iron and steel institute)
<b>AISI H</b>	Sıcak iş takım çeliği
<b>AISI D</b>	Soğuk iş takım çeliği
<b>BUE</b>	Yığıntı talaş (Built Up Edge)
<b>CBN</b>	Kübik bor nitrat (Cubic boron nitride)
<b>CNC</b>	Bilgisayarlı nümerik kontrol (Computer numeric control)
<b>CVD</b>	Kimyasal buhar biriktirme (Chemical vapour deposition )
<b>DIN</b>	Alman Standardı (Deustch industrie norman)
<b>HSS</b>	Yüksek hız çeliği (High speed steel)
<b>HRc</b>	Rockwell-C sertlik birimi
<b>PCBN</b>	Kristalize kübik bor nitrat (Polycrystalline cubic boron nitride)



<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
<b>PVD</b>	Fiziksel buhar biriktirme (Physical vapour deposition)
<b>SAE</b>	Amerikan Otomotiv Mühendisleri Derneği(Society of automotive engineering)
<b>SEM</b>	Tarama Elektron Mikroskobu (Scanning electron microscope)
<b>TSE</b>	Türk standartları enstitüsü
<b>ISO</b>	Uluslararası Standart Organizasyonu (International standart organization)

## 1. GİRİŞ

Günümüzde, her biri farklı amaca sahip, birçok talaşlı imalat yöntemi mevcuttur. İş parçalarının ekonomik şekilde işlenmesi için bunların verimli kullanılması gerekmektedir [1].

Talaşlı imalat yöntemlerinden biri olan frezeleme; makine, otomotiv ve uçak endüstrisinde büyük bir öneme sahiptir. Frezeleme ile düzlem, eğik, dairesel ve çeşitli profildeki yüzeyler, vidalar, dişli çarklar ve kanallar, istenilen tamlık derecesinde seri olarak yapılabilmektedir. Freze tezgahlarında kullanılan kesici takımların birden fazla kesici ağız olduğundan verimleri yüksektir ve iş yüzeyleri kaliteli çıkmaktadır [2].

Talaşlı imalatta işleme parametrelerinin en önemlileri hiç şüphesiz kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesme derinliğidir. Kesici takım düşük kesme hızlarında çalıştırıldığında, işleme süresi artacağından çok zaman kaybı olmakta, çok yüksek hızda sürtünme ve ısıdan dolayı kesici takım çabuk aşınmakta ve takımın değiştirilip tekrar takılması da zaman kaybına yol açmaktadır. Bununla birlikte, uygun ilerleme miktarı da önemli olup, düşük ilerleme miktarında frezeleme işlemi çok geç bitecektir. İlerleme miktarı yüksek olduğunda, takım kırılabilir veya az kesme derinliği verildiğinde, işlemi tamamlamak için birden fazla paso gerekmekte ve dolayısıyla bu da daha fazla zaman kaybına neden olmaktadır. Bu nedenle; kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesme derinliği her frezeleme işleminde dikkate alınması gereken üç faktördür [1].

Kesme kuvvetleri, işleme esnasında oluşan herhangi bir değişken tarafından, doğrudan etkilenen en önemli çıkış değişkenlerinden biridir. Kesme kuvvetleri üzerinde etkili olan bu değişkenler; ilerleme hızı, kesme derinliği (radyal ve aksenal), kesme hızı, takım ve talaş geometrisi, iş malzemesi, takım-tezgah çiftinin dinamik karakteristikleri, bağlama sistemi, takım kesme yüzeylerindeki aşınmanın gelişimi, sıcaklık ve titreşim gibi faktörlerdir. Takıma etki eden kesme kuvvetleri takım

durumu hakkında önemli bilgi kaynağıdır. Bu bilgi işlenebilirliği, takım kırılmasını, takım aşınmasını, tırlamayı ve yüzey tamlığını anlamada kullanılabilir [3].

Geleneksel frezelemede malzemeler öncelikle bir kaba yüzey işlemesine, daha sonra ince yüzey işlemesine tabi tutulmaktadır. Bu malzeme çalışma bölgelerinin konumuna göre ısı işlemi ile istenilen sertliğe getirilmektedir. Malzemede istenilen toleranslara taşlama, parlatma gibi hassas yüzey işlemlerden sonra ulaşılmaktadır. Ancak; günümüzde sürekli gelişme gösteren bilgisayar kontrollü frezelerin ve bunun paralelinde gelişen kesici takım malzemelerinin kullanılması ile artık parçalar önce ısı işlemine tabi tutulup, daha sonra frezeleme ile istenilen toleranslarda imal edilebilmektedir. Bu yöntem, taşlama gibi ekstra maliyeti azalttığı için elemanların kısa sürede işlenmesini sağlamaktadır. Bunun yanında ısı işlemi sonucunda, iş parçasında meydana gelen iç gerilmelerin oluşturduğu çarpıklıklar, mikro çatlaklar, yüzey yanması ve deformasyonu gibi tolerans bozuklukları, ısı işleminden sonraki işleme ile giderilebilmektedir [4].

Günümüzde, maliyetleri ve birçok kesme şartında kullanılabilirlikleri bakımından talaşlı imalat sektöründe farklı malzemeler ve farklı amaçlar için çeşitli kaplamalarla kaplanmış sementit karbür kesici takımlar oldukça yaygın kullanılırlar. Örneğin, alüminyum oksit ( $Al_2O_3$ ), yüksek sıcaklıklarda kimyasal olarak dengeli ve aşınmaya dirençli olduğu ispatlanmıştır. Bunun yanında titanyum nitrid ( $TiN$ ), kesici takımında sürtünme katsayısını azaltır ve bu nedenle kesici takım talaş yüzeyinde yapışma eğilimi azalır [5].

Yüksek aşınma direnci, yüksek tokluğa ve yüksek sertleştirilme kabiliyetine sahip olan AISI D2 soğuk iş takım çeliği imalatında çok kullanılan bir malzemedir. AISI D2 soğuk iş takım çeliği genel olarak kalıplar, zimbalar, makas bıçakları, çapak alma kalıpları gibi kırılmaya maruz kalan elemanların imalatında kullanılan ve ısı işlemine tabii tutulan bir malzemedir. Yapılan ısı işlemlerden sonra parça geometrisine de bağlı olarak bir miktar çarpımalara maruz kalmaktadır. İmalatı gerçekleştirilecek parçaların bu durumu da dikkate alınarak ısı işleminden sonra alınmak üzere az da olsa bir işleme payı bırakılmaktadır. Parça üzerinde bırakılan bu paylar, ısı işleminden

sonra çoğu kez taşlama ve diğer talaşlı imalat işlemlerine tabi tutulurlar. Taşlama işleminin biręok geometriye uygulanmasındaki sınırlamalar ve gelişen takım teknolojisi sayesinde sertleştirilmiş ęeliklere frezeleme, tornalama vb. talaşlı imalat işlemleri uygulanabilmektedir.

Bu amağla bu ęalıřmada, ısıl işlem gormuş ve farklı sertliklerdeki AISI D2 soğuk iş takım ęelięi alın frezeleme işlemine tabi tutularak kesme kuvveti ve yuzey pürüzlülüğü değerleri incelenmiştir. Frezeleme işleminde, iki farklı geometriye sahip, PVD yöntemi ile üç kat kaplama yapılmış karbür kesici takımlar kullanılmıştır. Deneyler, dört farklı kesme hızında ( $V = 70-90-110-130$  m/min), üç farklı ilerlemede ( $f_z = 0.05-0.1-0.15$  mm/tooth) ve 0.5 mm kesme derinliğinde soğutma sıvısı kullanılmadan yapılmıştır. Frezeleme işleminde kesme parametrelerinin kesme kuvvetleri üzerindeki etkilerinin incelenmesi, kesme kuvvetleri ve yuzey pürüzlülüğündeki değişimlerin analiz edilmesi için kesme kuvvetleri ve yuzey pürüzlülük değerleri ölçülmüştür. Bu parametrelerin kesme kuvvetlerine ve yuzey pürüzlülüğüne etkileri araştırılmıştır. Ayrıca takımlarda herhangi bir aşınmanın olup olmadığı da takip edilmiştir.

## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

İmalat sektöründe sertleştirilmiş malzemeler yüksek dayanımlarından dolayı yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yüzden sertleştirilmiş malzemelerin işlenmesi, optimum kesme koşulları ve kesici takım açısından ısıl işlem görmüş malzemelerin işlenmesi popüler araştırma konularındandır [6]. Bunlara ilave olarak, gelişen malzeme ve kesici takım teknolojilerindeki yenilikler günümüz araştırma konuları arasında yer almaktadır. Bu malzeme ve kesici takımlar ile araştırılan konular arasında kesme parametrelerine bağlı yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvvetleri ve takım aşınmasının yanında optimum kesme parametrelerin belirlenmesi gibi konular yer almaktadır.

Oliveira ve arkadaşları AISI D2 takım çeliğinin üretimi ve karakterizasyonunu incelemiştir. Yapılan çalışma sonucunda bu malzemenin yüksek tokluk ve aşınma direncine sahip olduğu anlaşılmıştır. Bu çalışmanın sonucunda AISI D2 takım çeliğine sertleştirme işlemleri uygulanarak aşınma direncinin daha da artırılacağı, kaplamalı kesicilerle yüzey kalitesinin iyileştirilebileceği ve takım ömrünün artacağı bilgisi elde edilmiştir [7].

Sohar ve arkadaşları yaptığı çalışmada toz metalürjisi teknolojisiyle üretilen yüksek vanadyum içerikli AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin çoklu döngü (gigacycle) yorulma grafiklerini döküm teknolojisiyle üretilen soğuk iş takım çeliği ile karşılaştırmıştır. Deneyler 20 KHz'lik tam dönüşümlü çekme-basma moduyla düzenlenen, gigacycle rejimli ultrasonik bir yorulma testi ile yapılmıştır. Çatlak yüzeyler Taramalı Elektron Mikroskopuyla (SEM) incelenmiştir. Bu analizde, her iki yöntemle üretilmiş malzeme içinde yorulma limiti 1010 döngü (Cycle)'den başladığını gözlemlemiştir. Yapılan incelemelerde, malzemenin üretim yönteminin yüzey çatlağı ve yorulma davranışları üzerinde önemli bir etkisi olduğunu saptamışlardır. 1010 Cycle'da dökme soğuk iş takım çeliklerinin yorulma dayanım gerilmesi 400 MPa iken, aynı şartlarda toz metalürjisi ile üretilen soğuk iş takım çeliğinin yorulma dayanım gerilmesi, 700 Mpa gibi oldukça yüksek bir değere ulaşmıştır. Dökme soğuk iş takım çeliklerinin yüzey çatlaklarının numune yüzeyi ya da yüzeye yakın yerlerde kümelenmiş karpitin neden olduğunu gözlemlemiştir.

Buna karşılık toz metalürjisi ile üretilen malzemede çatlakların sebebi, açık bir şekilde tanımlanamasa da metalik olmayan yapı tanecikleri arasındaki bağlanma hatalarından kaynaklandığını gözlemlemişlerdir. Her iki malzeme türünde de yorulma grafiklerinde benzerlikler görülmüştür [8].

### **2.1. Tornalama İle İlgili Yapılan Çalışmalar**

Gaitonde ve arkadaşları yaptıkları çalışmada geleneksel ve kaplamalı seramik uçlu takımlar ile AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin tornalama sürecindeki işlenebilirliğini incelemişlerdir. Yapılan çalışmada, kesme derinliği ve işleme zamanının işlenebilirliğe olan etkileri, yüzey kalitesi, takım aşınması, kesme gücü, kesme kuvveti, özgül kesme kuvveti gibi kriterler baz alınarak ikinci dereceden matematiksel modellerle incelenmiştir. Deneyler tam faktöriyel tertibine göre yapılmıştır. Deneylerde kesme derinliği olarak; 0.2mm, 0.4mm ve 0.6mm, işleme zamanı ise; 5 min, 10 min ve 15 min olarak üçer farklı durumda ele alınmıştır. Yapılan deneylerin sonunda; CC650 kodlu geleneksel uçlu seramik takımlarla yapılan tornalama işleminde kesme kuvveti, kesme gücü ve özgül kesme kuvveti değerlerinin düşük çıkması açısından daha kullanışlı olduğu; CC650WG kodlu seramik uçlu takımlarda yüzey kalitesi ve takım aşınması açısından daha iyi bir performans sergilediğini belirtmişlerdir [9].

Jeong ve arkadaşları AISI D2 soğuk iş takım çeliğini TiAl ve N kaplamalı takımlarla işleyerek kesme parametrelerini incelemişlerdir. Sertliği 62 HRc olan AISI D2 malzemeyi 12000 devir ile 0.06 mm/rev ilerleme aksenel kesme derinliği 10 mm ve radyal kesme derinliği 0.06 mm verilerek kuru kesme şartlarında işlemişlerdir. Elde edilen verilere göre TiAl kaplamalı takımla en iyi işleme değerlerini elde etmişlerdir [10].

Arsecularretne ve arkadaşları sertliği 62 HRc olan AISI D2 soğuk iş takım çeliğini PCBN takımla torna tezgahında işlemişlerdir. İşleme esnasında alınan ilerleme değerleri 0.08-0.2 mm/rev arasında ve kesme hızı 70-120 m/min arasında alınmıştır.

İşleme sonrasında en uygun ilerleme değeri 0.14 mm/rev ve uygun kesme hızı 70 m/min olarak tespit edilmişlerdir [11].

Zeyveli ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada orvar supreme (1.2344 ESR, AISI H13 Premium) sıcak iş takım çeliğinin işlenmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkileri incelenmiştir. Deneyler, tornalama metoduyla sekiz farklı kesme hızında (120, 160, 200, 240, 280, 320, 360 ve 400 m/min), dört farklı ilerleme miktarında (0.5, 0.1, 0.15 ve 0.20 mm/rev) ve 1 mm kesme derinliğinde kuru şartlarda yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda; en iyi yüzey pürüzlülük değerleri ilerleme miktarı 0.5 mm/rev olan deneylerde elde edilmiştir. Ancak; ilerleme miktarı 0.5 mm/rev'de yapılan deneylerde talaş kalınlığı az olduğu için sürekli talaş çıkmış ve işleme anında problem oluşmuştur. Kesme hızının artmasıyla kesme kuvvetlerinin önemli miktarda düştüğünü gözlemlemişlerdir [12].

Boy ve arkadaşları VANADIS 10 soğuk iş takım çeliğinin işlenmesinde, kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkilerini araştırmışlardır. VANADIS 10 malzeme deneylerini, sekiz farklı kesme hızında (75, 100, 125, 150, 200, 250, 300 ve 350 m/min), beş farklı ilerleme hızında (0.04, 0.06, 0.08, 0.10 ve 0.12 mm/rev) ve sabit bir kesme derinliğinde (1 mm) yapmışlardır. Deneyler tornalama yöntemiyle CVD ile kaplanmış, yuvarlatılmış ve Wiper (silici) uç geometrisinde iki tip sementit karbür kesici takım kullanılarak yapılmıştır. Yapılan deneylerde yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüş ve işleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen bilgilere göre; normal uç yarıçapı ile 250 m/min kesme hızında ve 0,01 mm/rev ilerleme miktarında, Wiper uç ile 125 m/min kesme hızında 0.10 mm/rev ilerleme miktarında en düşük yüzey pürüzlülükleri elde edilmiştir [13].

Zeyveli ve Demir yapmış olduğu çalışmada AISI H13 sıcak iş takım çeliğinin işlenmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkilerini incelemişlerdir. Altı farklı kesme hızı (70, 100, 130, 160, 190 ve 220 m/min) ile üç farklı ilerleme hızı değerinde (0.05, 0.1, 0.15 mm/rev) ve sabit bir kesme derinliğinde (1 mm) deneyleri yapmışlardır. Deneyleri tornalama yöntemiyle çok katlı kaplanmış sementit

karbür kesici takımlar kullanılarak kuru şartlarda yapmışlardır. Çalışma sonucunda elde edilen bilgilere göre; ilerleme hızının artması ile yüzey pürüzlülüğünün arttığı görülmüştür. 0.10 mm/dev ve 0.15 mm/rev ilerleme miktarlarında elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinin 0.05 mm/rev ilerleme hızında elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinden sırasıyla % 34 ve % 68 daha fazla olduğu görülmüştür. Yapılan deneylerde elde edilen talaş tipleri ile yüzey pürüzlülük değerleri arasında yakın bir ilişki olduğunu gözlemlemişlerdir [14].

## 2.2. Frezeleme İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Koshy ve arkadaşları sertliği 58 HRc AISI D2 soğuk iş takım çeliğini parmak freze çakısıyla işleyerek yüzey pürüzlülüğünü incelemişlerdir. Kullandıkları kesici takım PCBN parmak freze çakısı ve TiCN ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplamalı küresel uçlu parmak freze çakısıdır. Kesme hızını 200 m/min ve kesme derinliğini 10 mm olarak almışlardır. Elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri kaplamalı kesici ile 1-6 µm ve PCBN kesici ile 0.1-0.2 µm'dir [15].

Ghani ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, yüksek kesme hızlarında P10 kalitesinde TiN kaplamalı karbür ve P20 kalitesindeki kaplamasız sermet takım kullanılarak AISI H13 takım çeliğini freze tezgahında işlemişlerdir. Her iki takım içinde yüksek kesme hızlarında çentik aşınmasının olduğu rapor edilmiştir. Demir (Fe), Mangan (Mn) ve Vanadyum (V) gibi iş parçası elementlerinin aşınma alanına difüzyon olduğu EDAX analizlerinde gösterilmiştir. Ayrıca, P10 için; 280 m/min kesme hızı, 0.16 mm/z ilerleme miktarı ve 0.3 mm talaş derinliği ile P20 için; 224 m/min kesme hızı, 0.1mm/z ilerleme miktarı ve 0.3 mm talaş derinliğinde en iyi takım ömrü değerine ulaşılmıştır [16].

Aslan ve Camuşçu, sertleştirilmiş AISI D3 takım çeliğinin CBN parmak freze ile yüksek hızda işleyerek kesici takım performansını incelemişlerdir. AISI D3 takım çeliğini sertleştirerek 35 HRc ve 62 HRc'ye sertliklerini elde etmişlerdir. Bu



çalışmada seramik bağlayıcılı CBN takımlar mükemmel talaş kaldırma kabiliyeti göstermişlerdir [17].

Diniz ve Filho düzlem yüzey frezelemede, takım ömrü, takım aşınması ve son işlemlerin takım ve malzeme üzerindeki etkilerini, takım ve malzeme bağlama pozisyonları takım ömrüne ve yüzey pürüzlülüğünün etkilerini incelemişlerdir. Asıl kesici kenar üzerindeki aşınmanın, malzemenin yüzey pürüzlülüğüne etkisinin bulunmadığını ve yüzey pürüzlülüğünün birbirini takip eden kesici kenarın üzerindeki aşınmadan dolayı olduğu göstermişlerdir [18].

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 da 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 [19].

Kim ve Ehmann alın freze 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 [20].

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 miktarı, kesme 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 [21].

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 [22].

Jawaid ve arkadaşları düzlem yüzey frezeleme işleminde, titanyum alaşımli 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 elemanlar metoduyla, iş parçasındaki difüzyonun, termal çatlaklıkların ve plastik deformasyonun kesici takım aşınmasına etkilerini analitik olarak açıklamışlardır [23].

Zheng ve arkadaşları düzlem yüzey frezelemede çok ağızlı takımlarla talaş kaldırma işleminde meydana gelen kesme kuvvetinin teorik olarak modellenmesi ve simülasyonu üzerinde çalışmışlardır. Kesme kuvvetini malzeme özelliklerine, kesme parametrelerine, kesici ağız geometrisine, kesme şartlarına ve frezeleme yöntemine göre yorumlamışlardır. Kesme bölgesindeki iş parçası ve kesici takım arasındaki sıcaklığı hesaplamışlardır [24].

Bouزيد 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 değerlendirmişlerdir. Yüzeydeki artık gerilmeleri gerilimölçer (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 etkilerini değerlendirmişlerdir. Yüksek kesme hızı ve düşük ilerleme değerlerinin işlenmiş yüzeyin kalitesini arttırdığını tespit etmişlerdir [25].

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 [26].

### **2.3. Literatür Araştırmasının Değerlendirilmesi**

Literatürde yapılan benzer çalışmalarda, işlenen malzemenin mikro yapısı ve sertliğinin kesme olayına etkisi farklı malzemeler kullanılarak deneysel olarak araştırılmıştır. Frezeleme sürecinde iş parçası malzemesine etki eden kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülük değerleri ölçülerek bu değerlerin takım aşınmasına etkileri deneysel ve teorik olarak araştırıldığı göze çarpmaktadır [12-15].

İncelenen çalışmaların birçoğunda kaplamalı karbür takımlar yaygın olarak kullanılmıştır [10,11,15-17,23]. Yüksek kesme hızlarının kullanıldığı çalışmalarda, uçların belli bir süreden sonra ani olarak aşındığı rapor edilmiştir. Kesme hızı ve ilerleme miktarının artmasıyla takım ömrünün kısaldığı belirlenmiştir. Ayrıca; ilerleme miktarı ve kesici takım uç yarıçapının yüzey pürüzlülüğünü önemli şekilde etkilediği vurgulanmıştır. Buna karşın, kesme hızındaki değişmelerin yüzey pürüzlülüğünü farklı şekilde etkilediği görülmüştür [12-16]. Kesme derinliğinin

yüzey kalitesine etkisi ise çok az olduğu belirtilmiştir. Ayrıca; kaplamalı takımların kaplamasız takımlardan daha iyi performans sergilediği tespit edilmiştir.

Yapılan literatür araştırmasında frezeleme işlemiyle ilgili pek çok çalışmanın yapıldığı ve halen yapılmakta olduğu gözlenmiştir. Bu tez çalışmasında, geçmişte yapılan çalışmalardan farklı olarak ısı işlem görmüş farklı sertliklerdeki AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin frezede işlenebilirliğinin araştırılması amaçlanmıştır. Ayrıca bu çalışmada yeni bir geometriye sahip,  $TiAl+Al_2O_3+ZrN$  PVD kaplamalı P26339R10 ile ADMT120408R-F56 karbür kesici takımlar kullanılarak literatüre bir katkı sağlanacağı düşünülmüştür.

### **3. KURAMSAL TEMELLER**

#### **3.1. Çelikler**

Demir esaslı alaşımlarda ana bileşen demirdir. Çelik % 0,05-2 karbon içeren ve en yaygın kullanılan iş parçası malzemesidir. Karbon yüzdesi % 2'nin üzerinde ise dökme demir, % 0.05'in altında ise dövme demir elde edilir. Alaşımsız çelik olarak da bilinen karbon çeliği sadece demir ve karbon içerir, alaşımlı çeliklerde ise bunlara ek olarak alaşım elementleri mevcuttur. Karbon yüzdesinin, alaşım elementlerinin ve ısıl işlemlerin değişimi ile çok farklı özelliklere sahip çok çeşitli çeliklerin elde edilmesi mümkündür [27].

##### **3.1.1. Çeliklerin kullanım yerlerine göre sınıflandırılması**

Tanım ve kullanımda kolaylık sağlama amacıyla çelikler; üretim metotlarına göre, kimyasal bileşimlerine göre ve kullanım yerlerine göre farklı şekillerde sınıflandırılmışlardır.

Kullanım yerlerine göre çelikler; takım çelikleri, otomat çelikleri, yay çelikleri, imalat çelikleri, sementasyon çelikleri, paslanmaz çelikler ve ıslah çelikleri gibi çeşitli şekillerde gruplandırılabilir [28].

##### Takım çelikleri

Takım çeliklerinin belirli özelliklere sahip olmaları gerektiğinden bu çelikler genellikle dikkatli metalürjik kalite kontrol yöntemleriyle elektrik fırınlarında ergitilir. Gözeneklilik, segragesyon, impuritelere ve metal olmayan kalıntıları mümkün olduğu kadar düşük seviyede tutmak için büyük çaba sarf edilir. Takım çeliklerinin tanımlamalara uygunluğundan emin olmak için takım çelikleri dikkatli makroskopik ve mikroskopik incelemelere tabi tutulurlar [29].

Özellikle yüksek kesme hızlarının önemli olduğu uygulamalar için sinterlenmiş karbürler gibi diğer takım malzemeleri, takım çeliklerine göre daha ekonomik alternatiftir. Sinterlenmiş karbürlerin bu istisna takım performansı çok yüksek sertlik yüksek basma dayanımlarından kaynaklanmaktadır.

Takım çelikleri; soğuk iş takım çelikleri, sıcak iş takım çelikleri, yüksek hız takım çelikleri ve plastik kalıp çelikleri olarak dört grupta sınıflandırılır.

Soğuk iş takım çelikleri aşınma direnci ve tokluğun önemli olduğu kalıp uygulamaları ve soğuk iş takımları için yaygın olarak kullanılır. Soğuk iş takım çeliklerinin prensip grupları yağda sertleştirme, havada sertleştirme ve yüksek karbon yüksek krom tipleri olarak üçe ayrılır.

Soğuk iş takım çelikleri, oda sıcaklığında çalışan kalıp ve takımlarda, yüksek sıcaklıklara dayanım gerekemediğinden, çok iyi aşınma dayanımı ve tokluğu sağlayacak şekilde alaşımlandırılır. Piyasadaki kesme, bükme kalıpları, bıçaklar, baskı makaraları, zimbalar, pres takımları, soğuk ekstrüzyon takımları vb. soğuk iş takım çeliklerinden üretilir [29].

Sıcak iş takım çelikleri, oda sıcaklığında şekillendirilemeyen demir, çelik ve diğer metallerin ısıtılarak şekillendirilmesi için kullanılır. Sıcak iş takım çeliklerinde; yüksek sıcaklıkta mekanik özelliklerini koruyabilmesi, yüksek sıcaklıkta aşınma dayanımlarının yüksek olması ve ısı iletkenliklerinin yüksek olması gibi özellikler aranır. Enjeksiyon döküm kalıpları, ekstrüzyon kalıpları, dövme kalıpları, kalıp ve boru presleri ve aksamları, delici zimbalar ve kalıpları vb. sıcak iş takım çeliklerinden yapılır.

Yüksek hız takım çelikleri, iyi sertleşebilirliğe sahip oldukları için, bunlardan yapılan takımlar tuz banyosunda veya havada bile sertleşebilirler. Yüksek hız çeliklerinin en genel uygulama alanı talaş kaldırma takımlarıdır. Yüksek sıcaklıklarda göstermiş oldukları yüksek mukavemetlerinden dolayı, yüksek hız çelikleri, sıcak iş takım çelikleri olarak kullanılırlar [30].

Yüksek hız çelikleri oldukça alaşımlandırılmış çelikler olup, çok sert metallerin yüksek kesme hızları için kullanılır. Bu çeliklerle ilgili kesme hızları takım ucunda genellikle kırmızı aralık sıcaklıklarına neden olduğu için takım çelikleri bu sıcaklıklarda temperlemeye direnç göstermek zorundadır. Çeliğin kırmızı aralıkta yumuşamaya direnç yeteneği kırmızı sertlik olarak adlandırılır [29].

### Otomat çelikleri

Otomat imalatında genellikle küçük parçalar üretildiğinden dolayı daha çok, karbon miktarı yaklaşık % 0.10-0.60 arasında olan alaşımsız sementasyon ve ıslah çelikleri kullanılır ve talaşlı imalatı için normal çeliklere nazaran daha fazla kükürt ve mangan katılır. Bunlar otomat çeliği olarak tanımlanırlar. Kükürt ve mangan birlikte mangan sülfürü oluşturur ve metalik yapıda kırılmalık sağlayarak, kısa kırılmalık talaş meydana getirir [31].

### Yay çelikleri

Yayların çok büyük bir kısmı yay çeliklerinden meydana gelmektedir. Yay çelikleri, daha çok çelik çubuk, tel ya da bant olarak temin edilebilir ve yay formu ve ölçülerine göre sıcak ya da soğuk olarak yay form verilir [31].

Yay çelikleri elastiki, sürekli titreşime dayanıklı ve yüksek dayanıma sahiptirler. Genel olarak makinelerde ve taşıt yapımında kullanılırlar [32].

### İmalat çelikleri

Karbonlu çelikler olarak da tanımlanan imalat çeliklerinin içerisinde % 1.7'ye kadar karbon bulunur. Karbon oranındaki her değişim, çeliğin özelliklerinin de değişimi anlamına gelir [28].

Orta karbonlu çelikler, talaş kaldırma işlemi gerektiren iş parçaları için uygundur. Kabuk sertleştirme, toklaştırma veya temperleme ile sertleştirme işlemleri bu

çeliklere uygulanabilecek işlemlerdir. Sertleştirilebilen takım çelikleri, yüksek karbonlu çeliklerdir [27].

### Sementasyon çelikleri

Sementasyon çelikleri piyasaya sıcakta haddelenmiş veya dövülmüş olarak blum, slab, kütük, yuvarlak, dört köşe, altı köşe, lama şeklinde çubuk, sıcak çekilmiş sac, bant ve geniş lama, dikişsiz boru, elde veya kalıpta dövülmüş parçalar halinde verilirler. Sıcakta şekillendiği gibi; yumuşatma tavı görmüş; belirli bir dayanım verecek biçimde su verilmiş veya belirli ferritik-perlitik yapı elde edecek biçimde tavllanmış olarak teslim edilirler.

Sementasyon çelikleri dişliler, miller, piston pimleri, zincir baklavaları, zincir dişlileri ve makaraları, diskler, kılavuz yatakları, rulmanlı yataklar, merdaneler, bir kısım ölçü ve kontrol aletleri, orta zorlamalı veya zorlamalı parçalar, soğuk şişirilerek veya fişkırtılarak (ekstrüzyon) şekillendirilen parçalar, kesici takımlar gibi parçaların imalinde kullanılır [33].

### Paslanmaz çelikler

Paslanmaz çelikler kendi başına bir malzeme grubu oluşturur. En belli başlı alaşım elementi % 12'nin üzerinde bir yüzdeye sahip kromdur (Cr). Paslanmaz çelikler korozyona karşı dirençleri ile tanınmışlardır [27].

Paslanmaz çeliklerin, uygulama alanlarının her geçen gün artarak devam etmesinin temel nedeni korozyon ortamlarda, mekanik özelliklerini yitirmeden gösterdikleri yüksek korozyon dirençleridir [34].

Paslanmaz çelikler; içerisinde en az % 10.5 oranında (ağırlıkça) krom (Cr) içeren demir esaslı alaşımlar olarak tanımlanırlar. Paslanmaz çeliğin yüzeyinde oluşan ince fakat yoğun krom oksit tabakası korozyona karşı yüksek dayanım sağlar ve oksidasyonun daha derine doğru ilerlemesini engeller. İçerdikleri diğer katkı



elementlerine göre değişen ve tamamen östenitik ile tamamen ferritik özellikler aralığında sıralanan beş farklı çeşit paslanmaz çelik türü vardır.

Bunlar sırası ile;

- i. Östenitik paslanmaz çelikler
- ii. Ferritik paslanmaz çelikler
- iii. Martenzitik paslanmaz çelikler
- iv. Çift fazlı (Dubleks) paslanmaz çelikler
- v. Çökeltme yoluyla sertleşebilen paslanmaz çelikler' dir.

### Islah çelikleri

Genel olarak ıslah çeliklerinden, yüksek dayanım ve süneklik birlikte istenir ve sertleştirildikten sonra yüksek sıcaklıkta menevişlenirler. Nispeten yüksek karbon oranlarına sahiptirler. Kükürt miktarı belirli sınırlar arasında değişen, alaşımsız ve alaşımlı ıslah çelikleri de geliştirilmiştir. Kalın kesitlerde, yeterli sertleştirme derinliği ancak alaşımlı çeliklerde sağlanabilir ve çok yönlü olarak kullanılabilirler [30].

Takım çeliklerinin pek çoğu su verme ve temper ısıl işlemi ile yüksek sertlik elde edilebilen yüksek karbonlu çeliklerdir. Kullanım alanları, talaş kaldırma işlemleri için kesme takımlarını, döküm kalıplarını, şekillendirme kalıplarını ve yüksek dayanım, sertlik, tokluk veya yüksek sıcaklık direnci gibi özellik kombinasyonları gerektiren diğer uygulamaları içerir [35].

Çizelge 3.1'de çeliklerin malzeme numaraları, DIN ve AISI standartlarındaki karşılıkları ile bazı kullanım alanları verilmiştir [30].

Çizelge 3.1.Çelikler ve bazı kullanım alanları [30]

	Malzeme Numarası	DIN	SAE AISI	Kullanıldığı Yerler
İMALAT ÇELİKLERİ	1.0401	C 15	1010	Cıvata, somun, delme ve frezeleme aparatları gövde ve şablonları
	1.0402	C 22	1020	
	1.0532	St 50-2	1030	
	1.0570	St 52-3	–	Dişli çarklar, kazmalar cer kancaları v.s.
	0.0577	St 52	–	
	1.0501	C 35	1040	
	1.0503	C 45	1045	
	1.1191	Ck 45	1043	
	1.1210	C 53	1050	Dişli çarklar, çok fazla gerilmeli torna parçaları yağda sertleşebilir. Oto dişlileri krank milleri v.s.
	1.0601	C 60	1060	
	1.0603	C 67	1070	
	1.0605	C 75	1080	
İSLAH ÇELİKLERİ	1.7033	34 Cr 4	5130	Yüksek direnç gösteren makine parçaları, keskilere, bıçaklar v.s.
	1.7035	41 Cr 4	5140	
	1.7218	25 CrMo 4	4130	
	1.7225	42 CrMo 4	4140	
	1.7228	50 CrMo 4	4150	
	1.6546	40 NiCrMo 2	8640	
	1.6582	34 CrNiMo 6	4340	Üst yüzey sertleşmesi gereken parçalar, akslar, giyotin bıçakları
	1.8159	50 CrV 4	6150	
1.5755	31 NiCr 14	3330		
SEMENTASYON ÇELİKLERİ	1.5752	14 NiCr 4	3315	Küçük boyutlu pinyon dişliler
	1.5919	15 CrNi 6	3115	
	1.5920	18 CrNi 8	–	Büyük boyutlu pinyon dişliler
	1.7131	16 MnCr 5	5115	
	1.7147	20 MnCr 5	5120	
	1.6523	21 NiCrMo 2	8620	
YAY ÇELİKLERİ	1.0904	55 Si 7	9255	Basma yayları, çekme yayları, yaylı rondelalar, çanak yaylar
	1.0906	65 Si 7	–	
	1.0908	6 Si 7	9260	
OTOMAT ÇELİKLERİ	1.0711	9 S 20	1117	Hızlı otomatlar, yumuşak çelik, dinlendirilmeden döküm ıslah çelikleri
	1.0715	9 SMn 36	–	
	1.0726	35 S 20	1137	

Çizelge 3.1. (Devam) Çelikler ve bazı kullanım alanları

SOĞUK İŞ TAKIM ÇELİKLERİ	1.2436	X 210 CrW 12	D6	Kesme takımları, talaşlı imalat takımları, makine bıçakları, ölçü aletleri, plastik işleme takımları, keskiler, çapak alma takımları
	1.2601	X 165 CrMoV 12	D2	
	1.2379	X 155 CrV Mo 121	L2	
	1.2210	115 CrV 3	D1	
	1.2510	100 MnCrW 4	D2	
	1.2842	90 MnCrV 8	S1	
	1.2542	45 WCrV 7		
1.2080	X 210 CrW 12			
SICAK İŞ TAKIM ÇELİKLERİ	1.2343	X 38 CrMoV 51	H11	Sıcak kesme takımları, delici zımbalar, kalıplar, kalıp ve boru presleri, pres mandrenleri, pres takımları
	1.2344	X 40 CrMoV 51	H13	
	1.2365	X 32 CrMoV 33	H10	
	1.2713	55 NiCrMoV 6	L6	
	1.2714	56 CrNiMo 7	L6	
	1.2567	X 30 WCrW 53		
HAVA ÇELİKLERİ	1.3207	S 10-4-3-10	M2	Helisel matkaplar, kılavuzlar, raybalar, havşa matkapları, daire testereleleri, her türlü freze bıçakları
	1.3343	S 6 S 2	M41	
	1.3243	S 65-2-5		
PASLANMAZ ÇELİKLER	1.4006	X 10 Cr 13	410	Yüksek mukavemet gereken yerler
	1.4021	X 20 Cr 13	420	
	1.4301	X 5 CrNi 189	304	Su ve buhar etkilerine dayanıklı malzemelerin yapımında
	1.4435	X 2 CrNiMo 1812	316 L	
	1.4841	X 15 CrNiSi 2520	310	

### 3.2. Frezeleme

Kesici takımın kendi ekseni etrafında dönme hareketine karşılık, iş parçasının ilerlemesi ile meydana gelen talaş kaldırma işlemine “frezeleme” denir. Frezeleme yöntemi; üzerinde kesici uçlar bulunan kesici takımın kendi ekseni etrafında dönmesi ile iş parçasının bağlı olduğu tablanın X,Y ve Z eksenlerinde hareket etmesiyle iş parçası üzerinden talaş kaldırmasıdır [36].

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 [37].

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

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

İlerleme hareketi; kesmek 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 [38].

### **3.2.1. Frezeleme işleminde talaş kaldırma**

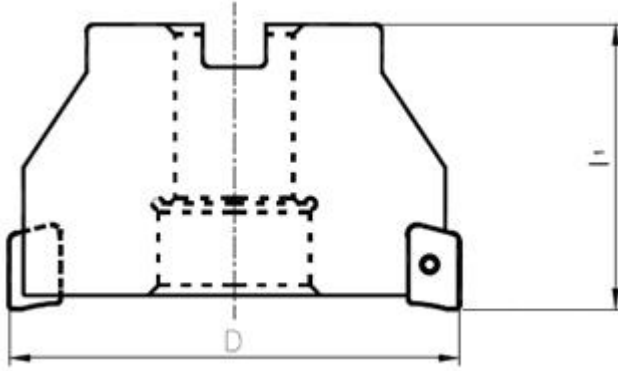
Frezeleme yöntemi ile talaş kaldırma işlemi diğer talaş kaldırma işlemlerinden farklı olarak, kesici takımda bulunan kesici ağız sayısının birden fazla olması ve kesici takımların çeşitliliği bakımından oldukça karmaşık bir talaş kaldırma işlemidir. Freze tezgâhında talaş kaldırma işlemi, kullanılan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

- i. Silindirik vals freze çakısı ile çevresel frezeleme
  - a) Aynı yönlü çevresel frezeleme
  - b) Zıt yönlü çevresel frezeleme
- ii. Takma uçlu alın freze çakısı ile düzlem yüzeylerin frezelenmesi
  - a) Simetrik frezeleme
  - b) Asimetrik frezeleme
- iii. Form ve biçim freze çakısı ile frezeleme
  - a) Modül freze çakısı ile frezeleme
  - b) Değişik geometrilere sahip iç bükey ve dış bükey yüzeylerin frezelenmesi
- iv. Saplı freze çakısı ile frezeleme
  - a) Parmak uçlu freze çakısı ile frezeleme
  - b) Küresel uçlu freze çakısı ile frezeleme [38].

### Alın frezeleme yöntemi ile talaş kaldırma

Freze çakısının, alın ve çevresindeki kesici ağızların birlikte kesmesi ile yapılan frezeleme işlemine “alın frezeleme” denir. 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 shaftın etrafına mekanik sıkmalı veya lehimleme yöntemi ile takılırlar. Alın freze çakıları ile düzlem yüzeylerden simetrik ve asimetric yöntemle talaş kaldırılır. Sert maden kesici ucun mekanik sıkma yöntemi ile shafta bağlanması Şekil 3.1’de gösterilmiştir.

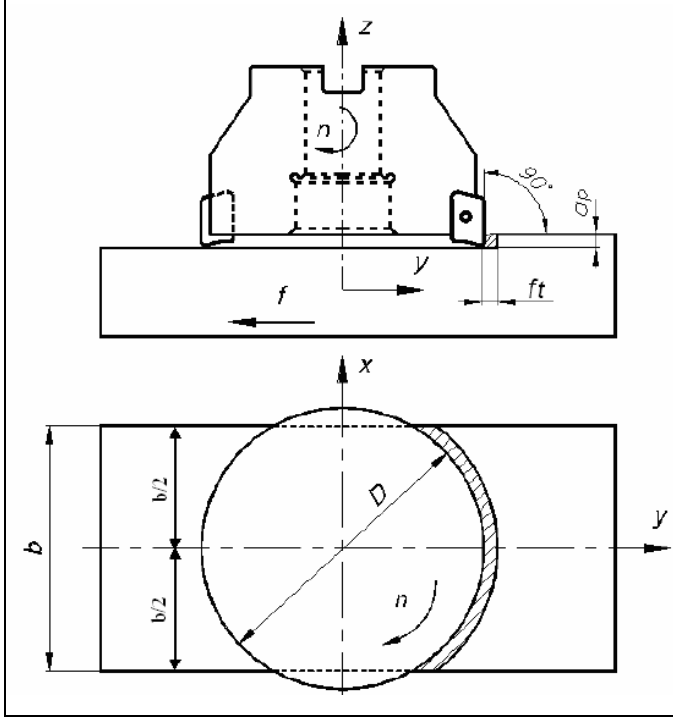


Şekil 3.1. Kesici uçların tutucuya yerleştirilmesi [37]

### Simetrik frezeleme yöntemi

Alın frezeleme çakısı ile Şekil 3.2’de görüldüğü gibi simetrik frezeleme yapılmaktadır. Simetrik frezeleme yöntemi kesici takımın dönme eksenine ile iş

parçasının ilerleme yönündeki eksenini çakıştırmak suretiyle talaş kaldırma işlemidir. Yani kesici takım talaş kaldırırken iş parçasının tam ortasında hareket ettirilmelidir.

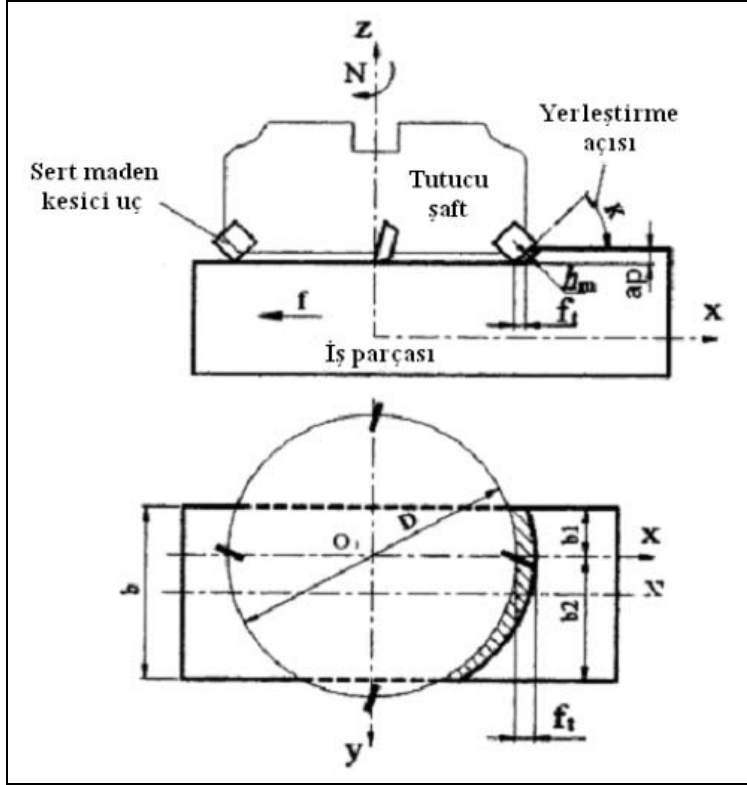


Şekil 3.2. Simetrik alın frezelemenin gösterilişi [37]

### Asimetrik frezeleme yöntemi

Kesici takımın dönme eksenini ile iş parçasının ilerleme yönündeki eksenini çakıştırmıyor ise bu frezeleme yöntemine “asimetrik frezeleme yöntemi” denir. Şekil 3.3’te görüldüğü gibi alın freze çakısı ile asimetrik olarak talaş kaldırılmaktadır.

Simetrik ve asimetrik olarak talaş kaldırılabilmesi için, kesici takımın çapı frezelenecek iş parçasının genişliğinden daima büyük olmalıdır [38].



Şekil 3.3. Asimetrik frezelemenin gösterilişi [38]

### Çevresel frezeleme yöntemi ile talaş kaldırma

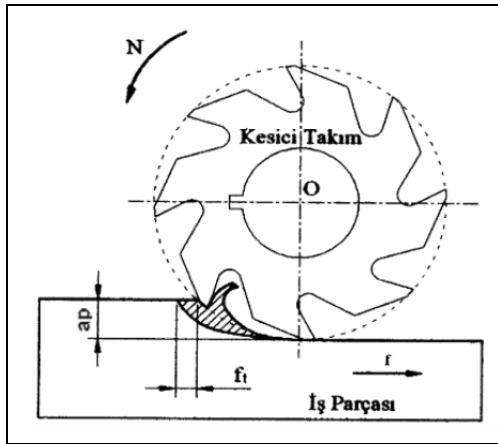
Çevresel frezeleme yöntemi, freze çakıların çevresindeki kesici uçların, talaş kaldırma işlemidir. Talaşlar kıvrık, virgül biçiminde ve talaş kesiti sürekli değişmektedir [38].

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 3.4 ve 3.5'te çevresel frezeleme şematik olarak gösterilmiştir.

### 3.2.3. Aynı yönlü frezeleme

Aynı yönlü frezelemede, freze çakısının kesme yönü ve iş parçasının ilerleme yönü aynı yöndedir. Freze çakısının iş parçasına batması esnasında, talaş kalınlığı en yüksektir. Virgül şeklinde talaşın meydana gelmesi esnasında talaş kalınlığı ile beraber kesme kuvveti de azalır. Bu nedenle; son şekil verme frezeleme işleminde saplı freze çakıları ile iyi bir yüzey elde edilir. Aynı yönlü frezeleme işlemi avantajlıdır ve zıt yönlü frezelemeye göre daha ekonomiktir. Fakat aynı yönlü frezeleme yapabilmek için, freze tezgahlarının boşluğu olmayan tabla miline sahip olması gerekir.

Bu metotla, frezeleme işlemlerinde iş parçasının ilerlemesi, freze çakısının dönüş yönü doğrultusundadır. İş parçasını, her dişin kaldıracığı 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 kaldıracığı 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 3.4'te aynı yönlü çevresel frezeleme yöntemi gösterilmektedir [38].



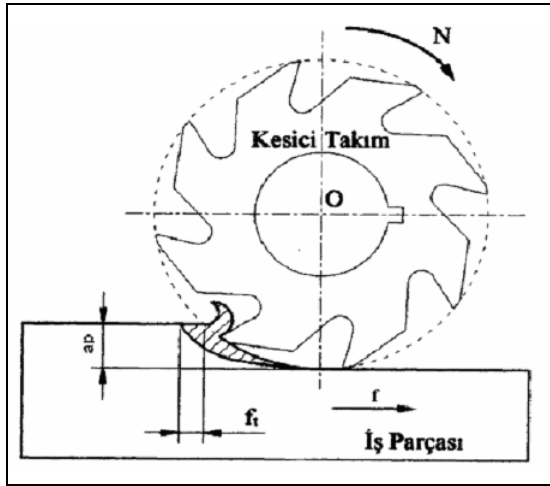
Şekil 3.4. Aynı yönlü çevresel frezelemenin gösterilişi [38]



### 3.2.4. Zıt yönlü frezeleme

Zıt yönlü frezelemede, freze çakısının kesme yönü iş parçasının ilerleme yönüne karşı yönlendirilmiştir. 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 ve kesme kuvveti büyür. Virgül şeklinde bir talaş meydana gelir [37].

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 parçasının bağlı bulunduğu ayardan yukarıyı zorlamaması için, emniyetli bir şekilde sıkılması gerekir.



Şekil 3.5. Zıt yönlü frezelemenin gösterilişi [37]

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 işlemeye devam edilmediği gibi bir tehlike de mevcut değildir. Ancak; iş parçası üzerinde yüzey kalitesi açısından, kesici takım boşa döndürülmemelidir [38].

### 3.2.5. Frezelemede temel parametreler

#### Kesme hızı

Kesicinin malzemesine, iş parçasının malzemesine, işleme metoduna (örneğin kaba veya ince işleme), tezgah ve iş parçasının rijitliğine bağlı olarak seçilir. Kesme yönü, talaş kalınlığı ve bunlara bağlı olarak kesme kuvveti, talaş kaldırma esnasında devamlı değişir.

#### İlerleme hareketi

İlerleme  $f$ , freze çakısının her dönüşündeki ilerleme yoludur. Bu, diş başına ilerleme ( $fz$ ) ile kesici dişlerin sayısının ( $Z$ ) çarpımıdır.

#### Kesme derinliği ve kesme genişliği

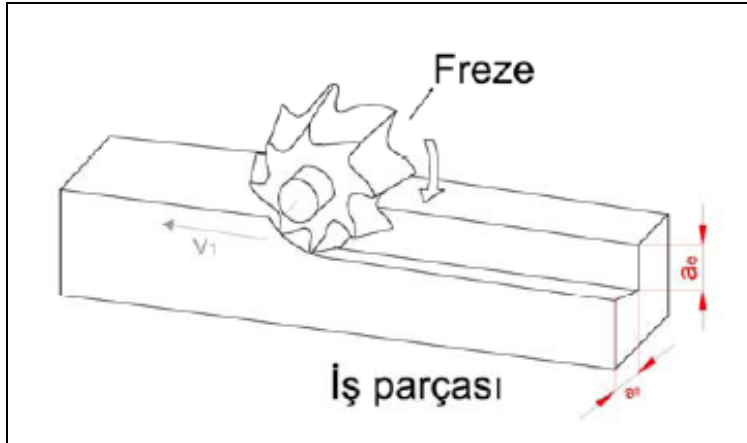
Kesme genişliği ve/veya kesme derinliği  $a_p$ , freze çakısının iş parçasını kapladığı genişlik ve/veya derinliktir. Yatay frezelemede kesme genişliği, dikey frezelemede kesme derinliği olarak dikkate alınır.

#### Çalışma düzlemi

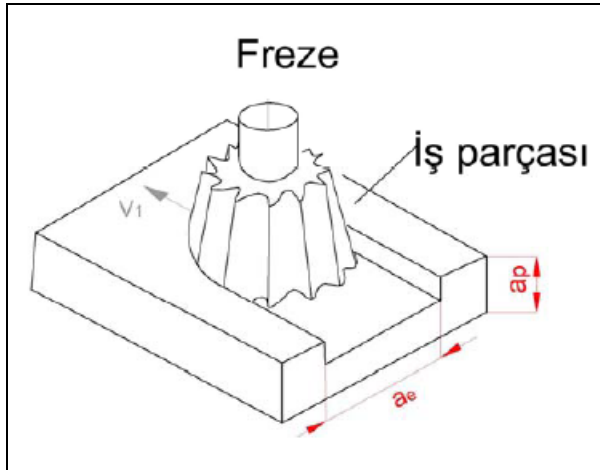
Frezenin dönme düzlemine paralel olan ve bu düzleme dik talaş kaldırma düzlemine oturtulan hayali bir düzlemdir.

#### Çalışma alanı

İş parçasının çalışma düzlemi içinde ilerleme yönüne dik olarak ölçülür. Şekil 3.6 ve 3.7'de gösterildiği gibi alın frezelemede genişlik, yatay frezelemede derinlik şeklindedir [39].



Şekil 3.6. Yatay frezelemede kesme genişliği  $a_p$  ve kesme derinliği  $a_e$  [39]



Şekil 3.7. Dikey frezelemede kesme genişliği  $a_p$  ve kesme derinliği  $a_e$  [39]

### 3.2.6. Frezeleme işleminde kullanılan genel formüller

Aşağıdaki formüller frezeleme işleminde kullanılan genel formüllerdir [40].

$$\text{Kesme hızı (m/min); } V = \frac{\pi \times D_c \times n}{1000} \quad (3.1)$$

$$\text{Fener mili hızı (rev/min); } n = \frac{V_c \times 1000}{\pi \times D_c} \quad (3.2)$$

$$\text{Tabla ilerlemesi (mm/min); } V_f = f_z \times n \times Z_n \quad (3.3)$$

$$\text{Diş başına ilerleme (mm/z); } f_z = \frac{V_f}{n \times Z_n} \quad (3.4)$$

$$\text{Devir başına ilerleme (mm/rev); } f_n = \frac{V_f}{n} \quad (3.5)$$

$$\text{Talaş kaldırma hızı (cm}^3\text{); } Q = \frac{a_p \times a_e \times V_f}{1000} \quad (3.6)$$

$$\text{Spesifik kesme kuvveti (N/mm}^2\text{); } k_c = k_{c1} \times h_m^{-mc} \quad (3.7)$$

$$\text{Ortalama talaş kalınlığı (} a_e/D_c \leq 0.1 \text{ iken) (mm); } h_m \approx f_z \sqrt{\frac{a_e}{D_c}} \quad (3.8)$$

$$\text{Ortalama talaş kalınlığı (} a_e/D_c \geq 0.1 \text{ iken) (mm); } h_m = \frac{\text{Sin}K_r \times 180 \times a_e \times f_z}{\pi \times D_c \times \arcsin\left(\frac{a_e}{D_c}\right)} \quad (3.9)$$

$$\text{İşleme zamanı (min); } T_c = \frac{l_m}{V_f} \quad (3.10)$$

$$\text{Net güç (kW); } P_c = \frac{a_p \times a_e \times V_f \times k_c}{60 \times 10^6 \times h} \quad (3.11)$$

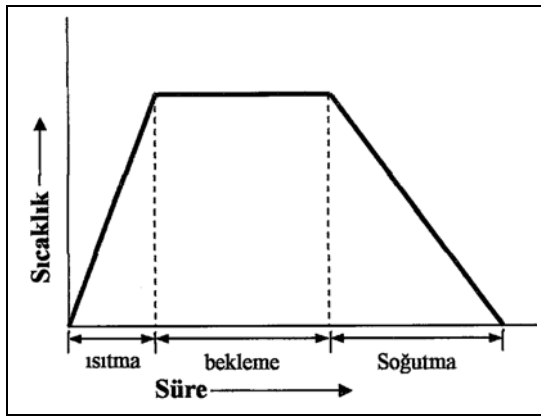
### 3.3. Isıl İşlem

Genel anlamda ısıl işlem; metal veya alaşımlara istenilen özellikleri kazandırmak amacıyla katı halde uygulanan kontrollü ısıtma ve soğutma işlemleri olarak tanımlanır. Başka bir ifade ile ısıl işlem; metal malzemelerde katı halde sıcaklık değişimleri ile bir ya da birbirine bağlı birkaç işlemle, amaca uygun özellik değişimleri şeklinde ifade edilebilir [41].

Zamanın gelişimi içinde ısıl işlemin ne zaman icat olduğu, kesin olarak bilinmemektedir. Ancak eski çağlarda, demirin sertleştirilmesi için kızıl hale gelene kadar ısıtılıp su veya hayvansal yağa daldırılması sureti ile yapıldığı bilinmektedir [42].

Metallerin katı halde iken, belirli sıcaklık aralıklarında tavlanarak bu sıcaklıklarda soğutulmalarıyla kararlı veya kararsız fazlar oluşturarak istenilen özelliklerin geliştirilmesine ısıl işlem denilmektedir [43].

Isıl işlemden bu tanıma uygun olarak, parçaların belirli bir sıcaklığa ısıtılması “ısıtma” bu sıcaklıkta uygun süre tutma “bekleme” ve belirli bir programa uygun olarak sıcaklığın oda sıcaklığına düşürülmesi “soğutma” ile üç kademe özelliği değişimleri sağlanır. Derin soğutmalı ısıtım türü dışında, her tür ısıtım için geçerli olan prosesi Şekil 3.8’de gösterilmiştir [41].



Şekil 3.8. Genel ısıtım süreci [41]

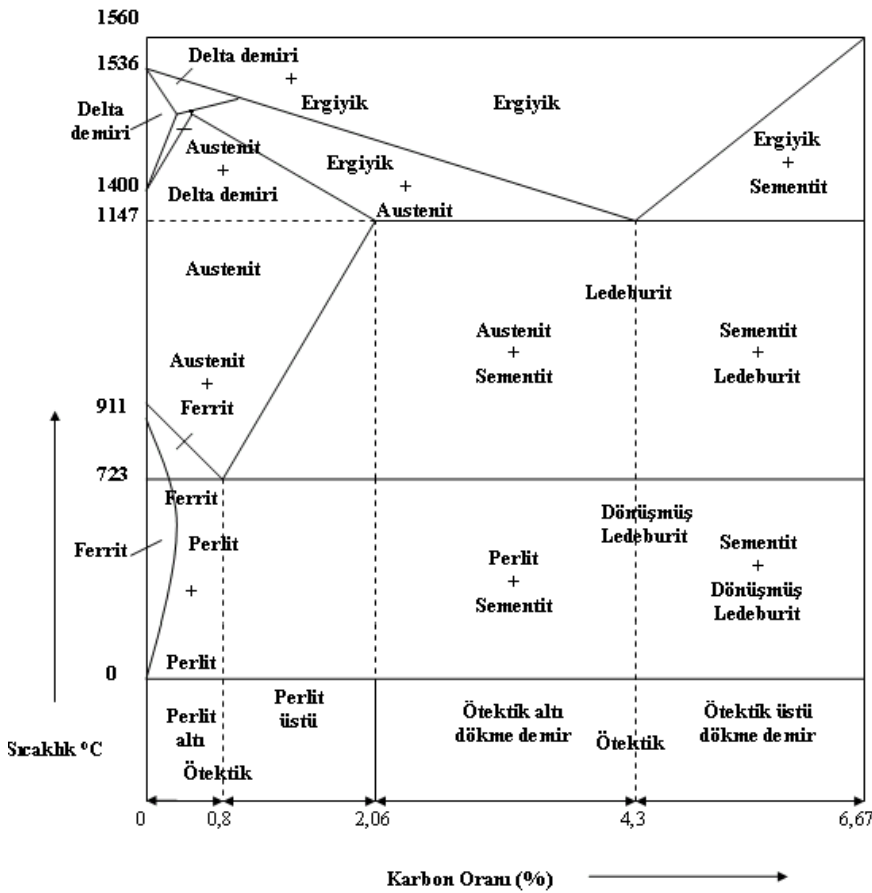
### 3.3.1. Çeliklere uygulanan ısıtım işlemleri

Çeliklere uygulanan bütün temel ısıtım işlemleri, östenit fazının dönüşümü ile ilgilidir. Dönüşüm ürünlerinin türü, bileşimi ve metalografik yapısı çeliğin fiziksel ve mekanik özelliklerini büyük ölçüde etkiler. Başka bir deyişle; bir çeliğin fiziksel ve mekanik özellikleri içerdiği dönüşüm ürünlerinin cinsine, miktarına ve metalografik yapısına bağlıdır [41].

Bir çelikte arzu edilen bazı özellikleri elde edebilmek için çeliğe katı haldeyken uygulanan bir dizi ısıtım ve soğutım işlemlerinin tümüne ısıtım işlemi denir. Isıtım işleminin esasları malzemenin belli bir sıcaklığa kadar ısıtılıp bu sıcaklıkta bir müddet tutulduktan sonra uygun bir hızda soğutulmasıdır. Bu ısıtım ve sonra da soğutım olayları sırasında malzemenin arzu edilen yapıyı kazanması tamamen öteki odaye dönüşümünün sayesinde olmaktadır [44].

Çelikler, diğer metal ve alaşımlarına nazaran sanayide daha çok kullanıldıkları için çeliklerin ısı işlemleri ayrı bir öneme sahiptir. Çeliklerin ısı işlemlerini anlayabilmek için Demir-Karbon denge diyagramının bilinmesi gerekir. Şekil 3.10'da Demir-Karbon denge diyagramı verilmiştir.

Demir-Karbon denge diyagramının % 2 karbon bileşimine kadar olan kısmı çelik kısmıdır. Belirli bir karbon bileşimine sahip bir çelikte elde edilmesi istenen yapı, dolayısıyla çeliğin kazanacağı özellik, farklı ısı işlemleri için çeliği Demir-Karbon diyagramının çelik kısmındaki farklı sıcaklık bölgelerine çıkarmak, belirli bir süre bekletmek ve uygun soğutma ortamında soğutmak suretiyle elde edilir.



Şekil 3.9. Fe-C diyagramının çelik bölgesi ve uygulanan ısı işlemlerinin sıcaklık bölgeleri [44]

Isıtma kademesinde malzeme ya doğrudan sıcak fırına konmak suretiyle veya soğuk fırına konup birlikte ısıtılmak suretiyle öngörülen sıcaklığa getirilir. Sıcak fırına konulduğunda ısınmayı tayin eden faktör yüzey/hacim oranıdır. Çelik malzemenin fırında belli, bir sıcaklıkta tutma süresi her 25 mm kalınlık için yaklaşık 1 saattir [44].

### Tavlama

Metallerde istenilen yapısal, fiziksel ve mekanik özellikleri elde etmek amacıyla, metal malzemelerin uygun sıcaklıklara kadar ısıtılıp, gerekli değişkenler sağlanıncaya kadar bu sıcaklıkta tutulması ve sonradan yavaş soğutulması işlemine denir [41].

### Normalleştirme

Normalizasyon tavi genelde tane küçültmek, homojen bir içyapı elde etmek ve çoğunlukla mekanik özellikleri iyileştirmek amacıyla ötektoid altı çelikleri  $AC_3$  ve ötektoid üstü çelikleri  $Ac_m$  dönüşüm sıcaklıklarının yaklaşık olarak  $40-50^{\circ}C$  üstündeki sıcaklıklara kadar ısıtıp, tavladıktan sonra fırın dışında sakın havada soğutma işlemidir. Normalizasyon tavının başlıca amaçları;

- i. Tane boyutunu küçültmek,
- ii. Homojen iç yapı elde etmek,
- iii. Ötektoid üstü çeliklerde tane sınırlarında bulunan karbür ağını dağıtmak,
- iv. Çeliklerin işleme özelliklerini iyileştirmek,
- v. Mekanik özelliklerini iyileştirmek,
- vi. Yumuşatma tavına tabi tutulmuş çeliklerin sertlik ve mukavemetlerini arttırmak [41].

## Temperleme

Temperlemenin amacı; malzemenin tokluğunu arttırmak ve sertleştirme sonucunda oluşan iç gerilmeleri gidermektir. Ancak; tokluktaki artış sertlikteki azalmaya neden olacağından temperleme işlemi bu iki karakteristiğin optimum kombinasyonunu sağlamayı amaçlamalıdır [27].

Temperleme aşağıdaki yöntemlerle gerçekleştirilir:

- Normal yoldan sertleştirilmiş çelik temperleme için gerekli sıcaklığa yeniden ısıtılır ve bu sıcaklıkta belirli bir süre bekletilir ve daha sonra havada soğutulur.
- Sertleştirme işleminde çeliğin tamamıyla soğumasına izin verilmez ve çelik çekirdek halde kızıl renkte iken su verme tankından alınır.

Temperleme işleminde, sıcaklık yanında zamanda önemlidir. Çoğu yumuşatma işlemi sıcaklığa ulaştıktan sonra ek birkaç dakikada olmasına rağmen sıcaklık daha uzun süre devam ettiğinde sertlikte bazı düşmeler olur. Temperleme işleminde iki tane sertleştirme işlemi vardır. Bunlar östemperleme ve martemperleme işlemleridir [27].

## Östemperleme

İşleme için genellikle yüksek tokluğa sahip çeliklere gereksinim duyulur. Bu uygulamalar için çelik içerisinde bir beynit yapısı oluşturan östemperleme işlemi yapılır. Beynit martenzitle aynı sertlikte olmasına rağmen, martenzitten daha toktur, 200 ve 450 °C arasındaki sıcaklıklarda östenitin izotermal dönüşümü sonucunda oluşmuştur [27].

## Martemperleme

Martemperleme işleminde çeliğe, çeliğin martenzit oluşum sınırını biraz aşan bir sıcaklık olan sertleştirme sıcaklığında ergimiş tuz veya metal banyosunda su verilir.



Çelik banyo içerisinde tam bir sıcaklık dengesine sahip olduğunda banyodan çıkarılır ve havada soğutulur [27].

### Sertleştirme işlemi

Sertleştirilebilirlik, çelik için en belli başlı özellik olup martenzit oluşturma kabiliyeti olarak tanımlanır. Bu özellik, iş parçası yüzeyi altındaki sertleştirme derinliğini de belirler.

Her bir çelik için uygun sertleştirme sıcaklık aralığı ile ilgili bilgiler genellikle o çeliği üreten firmalardan temin edilir. Bu aralıkta bir sıcaklığın seçiminde sertleştirilecek parçanın büyüklüğü ve su verme ortamının karakteristikleri belirleyici faktörlerdir[27].

## **3.4. İşlenebilirlik ve İşlenebilirliği Etkileyen Faktörler**

### **3.4.1. İşlenebilirlik**

İşlenebilirlik, birçok kitap makale veya tartışmalarda kolay veya zor işlemenin bir kriteri olarak malzemenin kalitesi veya varlığını ifade etmek için kullanılır. İşlenebilirlik kavramının kesin bir tanımı olmamakla birlikte en basit şekilde aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

İş parçasının kimyasal bileşimi, mikro yapısı, ısıl işlem, saflık vb. bütün değişkenler işlenebilirliği etkiler. Talaş oluşumu, takım aşınması, bitirme yüzeyi kalitesi ve kesme kuvvetleri gibi işlenebilirlik karakteristikleri ile iş parçasının işlenebilirliği belirlenebilir. Fakat bu karakteristiklerin, işleme parametrelerine de bağımlılığı önemlidir.

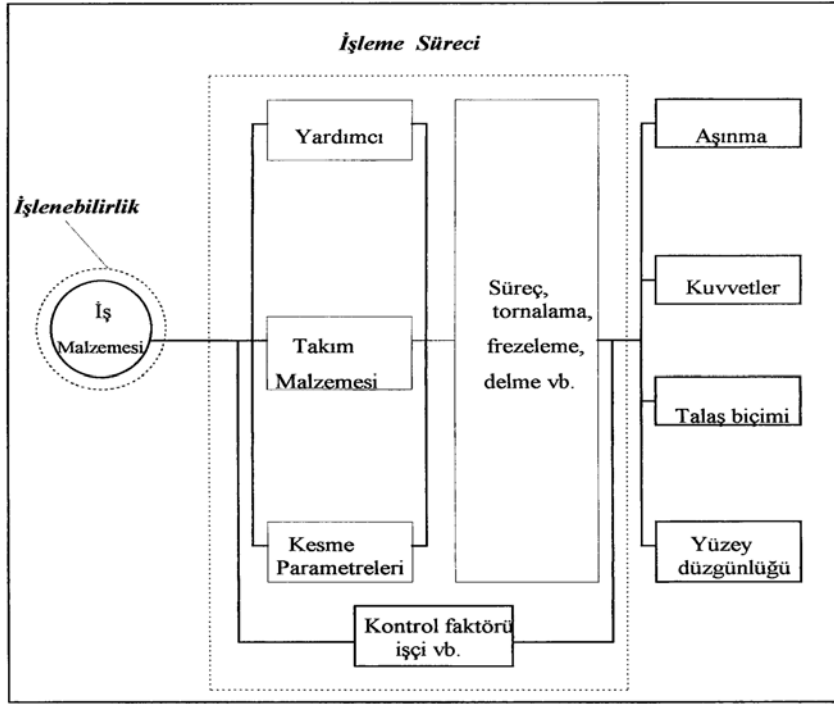
İşlenebilirlik, ekseriyetle malzemenin özgül bir özelliği olarak algılsa da, işlenebilirlik sadece işlenen malzemeye bağlı olmayıp aynı zamanda işleme yöntemi ve işleme parametrelerine de bağlıdır [45].

İşlenebilirlik, evrensel olarak tanımlanmış standart bir özellik değildir. Genellikle iş parçasının işlenebilme kabiliyeti, yani iş parçasının kesici bir takımla şekillendirilmesinin ne kadar kolay veya zor olduğu işlenebilirlik olarak adlandırılır. İş parçası malzemelerinin metalürjisi, kimyası, mekaniği, ısıl işlemi, katkı maddeleri, içerisindeki kalıntılar gibi özellikler işlenebilirliği etkilerler. Bu etkilerin yanı sıra işlenebilirlik üzerinde kesici kenarın, takım tutucunun, takım tezgahının, işlemlerin ve işleme koşullarının da etkisi büyüktür.

Bir malzemenin işlenebilirliği takım ömrü, kesme hızı, talaş kaldırma miktarı, kesme kuvveti ve gücü, yüzey kalitesi ve talaş şekli gibi kriterlerden biri veya birden fazlasına göre değerlendirilir. Bu kriterlerden, örneğin, kesme hızının veya takım ömrünün büyük olması, kesme kuvvetinin veya gücün düşük olması iyi işlenebilirliğin mevcut olduğunu gösterir [30].

Malzemelerin işlenebilirliklerini etkileyen malzeme özellikleri sertlik, süneklik, ısıl iletkenlik, pekleşme ve malzemenin kimyasal bileşimidir. Örnek olarak, sertlik arttıkça kesici takımda aşınma artar ve dolayısıyla takım ömrü kısalmır. Düşük sertlik ve dayanım genelde iyi işlenebilirlik anlamına gelmekle birlikte sertliği az olan çok sünek malzemelerde yığıntı talaş (Built-Up-Edge - BUE) oluşumu gerçekleştiği için yüzey kalitesi kötüleşir ve takım ömrü kısalmır. Çok düşük sertlik talaşlı imalat işleminin performansını kötü yönde etkileyebilir. Örnek olarak, nispeten düşük sertliğe sahip düşük karbonlu çeliğin işlenmesinde kötü yüzey kalitesi oluşur ve talaş uzaklaştırılması ile ilgili problemlerle karşılaşılır. Bu nedenle, düşük karbonlu çeliklerde yüzey sertliğini artırmak ve talaş kırılmasını sağlamak için ekseriyetle soğuk çekme işleme uygulanır. Düşük süneklik, metal kesme işleminde genelde olumlu bir etki yaparak iyi talaş oluşumuna katkıda bulunur ve metal kesme işlemi için daha az güç gerektirir. Artan iş parçası dayanımı da kesme kuvvetleri, özgül enerji ve kesme sıcaklığını artıracak için, artan dayanımla metal kesme işlemi zorlaşır. Bununla birlikte, yüksek ısıl iletkenlik kesme bölgesinden oluşan ısının hızlı olarak uzaklaştırılması demektir. Bu nedenle, yüksek ısıl iletkenlik işlenebilirlik yönünden genelde faydalıdır [45].

Ayrıca, bir malzemenin kimyasal bileşimi, maruz kaldığı ısıl işlem ve malzeme dökülürken çevresel şartlardan ve kimyasal şartlar oluşan işlenebilirlik özelliğini önemli ölçüde etkiler. Bazı durumlarda kimyasal bileşim takım üzerinde etkin olan aşınma mekanizmalarını da belirler [30]. Şekil 3.10'da işlenebilirliğe talaş kaldırma faktörlerinin etkileri gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Kontrol halkası şeklinde gösterilen talaş kaldırma işlemleri [30]

Eğer kesme hızındaki artış en iyi talaş akışını sağlıyorsa, artırılan hızla birlikte takım aşınma miktarı da artacaktır. Bu durum, kullanılan takımlardan birine bağlı olarak hem daha iyi ve hem de daha kötü işlenebilirlik için benzerdir. Açıkçası iyi veya kötü işlenebilirlik şeklinde değerlendirme subjektiftir ve göz önünde bulundurulmuş önemli kriterlere bağlıdır. Bu yüzden bir malzemenin işlenebilirliği, onun üretim işlemlerine ve uygulandığı ısıl işlemlere göre tanımlanır [45].

### 3.4.2. İşlenebilirliği etkileyen faktörler

#### Isıl işlem ve mikro-yapının etkisi

Metalin işlenebilirliği, mikro-yapısı ile ilgili olup, yapıda sert parçacıkların bulunması kesici takım ömrünü düşürürken, yapıdaki kristaller irileştikçe takım ömrü artar.

Esas olarak çeliğin işlenebilirliği, ilave elementlerin yanı sıra ısıl işlemler kontrol edilen mikro yapıya bağlı olarak değişebilir. Çoğu alaşımlı ve yüksek karbonlu çeliklerde talaşlı imalat için optimum mikro yapıyı sağlamak amacıyla ısıl işlem uygulanır.

Çeliğin karbon miktarına bağlı işlenebilirliği için en uygun mikro yapıyı veren ısıl işlemler, aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- i) Düşük karbonlu ( $\leq 0.15C$ ) çelikler normalleştirilmiş veya soğuk çekilmiş durumda en iyi işlenebilirliğe sahiptir. Küçük ferritik tane boyu ve soğuk çekme yoluyla artırılan sertlik işlenebilirliği iyileştirme eğilimindedir.
- ii) Yumuşak çelikler ( $0.15C-0.45C$ ) tam tavlama veya normalleştirme sonunda maksimum işlenebilirlik gösterir. Bu işlemler lamelli perlitik yapıyı meydana getirir. Küreselleştirilmiş bir yapı zayıf kesme özelliği verir.
- iii) Orta karbonlu ( $0.45C-0.80C$ ) çelikler en iyi işlenebilirlik için düşük sertlik sağlayan kaba perlitik ve küreselleştirilmiş karbür yapıya sahip olmalıdır.
- iv) Yüksek karbonlu ( $> 0.85C$ ) çelikler, tamamen küreselleştirilmiş mikro yapıda en iyi sertleşebilirliği verir.
- v) Bantlı ve kaba görünümdeki yapılar kötü bitirme yüzeyleri ve kısa takım ömrü gösterir.

vi) Küçük östenitik tane boyutlu bir çelik işleme sırasında daha fazla güç absorbe eder. Ancak; ince taneli çelikler bitirme tornalamalarında iyi yüzey kalitesi gösterirler [45].

#### Alaşım elementlerinin etkisi

Çelikte sertliği artıran esas element karbondur. Karbon miktarındaki değişme işlenebilirliğin de değişmesine neden olur. Ötektoid altı çeliklerde sementit ( $Fe_3C$ ) çeliğin sünekliğini azaltır. Arttırılan sertlikle, süneklikteki azalmaya rağmen işlenebilirlikte iyileşme sağlanır. Yumuşak çelikteki düşük işlenebilirlik, talaş kaldırma sırasında önemli bir deformasyona izin veren metalin sünekliğinden kaynaklanır. Bu deformasyon için aşırı güç tüketimi gereklidir ve önemli miktarda ısı oluşur.

Alaşım elementlerinin, takım ömrüne etkisi farklıdır. Karbon miktarı azaldıkça, işlenebilme özelliği düşer. Çünkü; süneklik arttığından malzeme, takım ucuna yapışarak körlenmeyi hızlandırmaktadır. Diğer taraftan, karbon oranı arttırıldıkça malzemenin sertliği arttığından, takım aşınması hızlanır [45].

#### Mekanik özelliklerin etkisi

Malzemelerde genelde, sertlik ve kopma dayanımı arasında ilişki bulunmaktadır. Bir malzemenin sertliği ve kopma dayanımı arttıkça, işlenebilme özelliği o derece azalmaktadır [45].

### **3.4.3. İşlenebilirlik – ömür ilişkisi**

İşlenebilirliğe pek çok faktör etki eder. Ancak; genellikle % 50 işlenebilirlik oranına sahip bir malzeme, % 100 işlenebilirliği olan bir malzemeyle aynı takım ömrüne sahip olması için yaklaşık 1.5 katı daha fazla kesme hızında işlenmesine gerek

duyulacaktır. Bir takım malzemesi cinsi için, diğer takım malzemesinin ömrü ile ilişki kurmak mümkün olup, aşağıdaki denklemden faydalanılabilir;

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1} \quad (3.12)$$

Burada;

R1: 1. malzemenin işlenebilirlik değeri

R2: 2. malzemenin işlenebilirlik değeri

V1: 1. malzemenin kesme hızı

V2: 2. malzemenin kesme hızı

T1: 1. malzemenin takım ömrü

T2: 2. malzemenin takım ömrünü göstermektedir [45].

#### 3.4.4. İşlenebilirliğin ölçülmesi

İşlenebilirlik ölçümünün kesin kabul edilen genel bir metodu veya standardı yoktur. Ancak; takım ömrü deneyleriyle ilgili standartlara göre işlenebilirlik deneyleri yapılabilir.

İşlenebilirlik deneyleri;

- İşlemeli deneyler
- İşlemesiz deneyler

Olmak üzere iki temel kategoriye ayrılabilir [45].

##### İşlemeli deneyler

Bir malzemenin işlenebilirliği, aşağıda belirtilen kriterlerden birine veya daha fazlasına göre ölçülebilir.

- i) Takım ömrü: Takımdaki standart bir aşınma miktarına kadar veya takım kullanılamaz duruma gelmeden önce standart kesme şartlarında kaldırılan talaş miktarı veya talaş kaldırma süresidir.
- ii) Kesme hızı: Standart kesme şartları ve takımla, belirlenen bir zaman aralığında talaş kaldırma işleminin başarı ile sürdürüldüğü maksimum kesme hızı veya işlenen parça sayısıdır.
- iii) Kesme kuvvetleri veya güç tüketimi: Takım üzerine etkiyen kesme kuvvetleri veya kesme işlemi için gerekli güçtür.
- iv) Yüzey kalitesi: Belirli işleme şartları altında işlenen parçanın yüzeyindeki pürüzlülük derecesidir.
- v) Talaş biçimi: Standart kesme şartları altında, takımın kesme etkisine göre oluşan talaş biçimidir [45].

### İşlemesiz deneyler

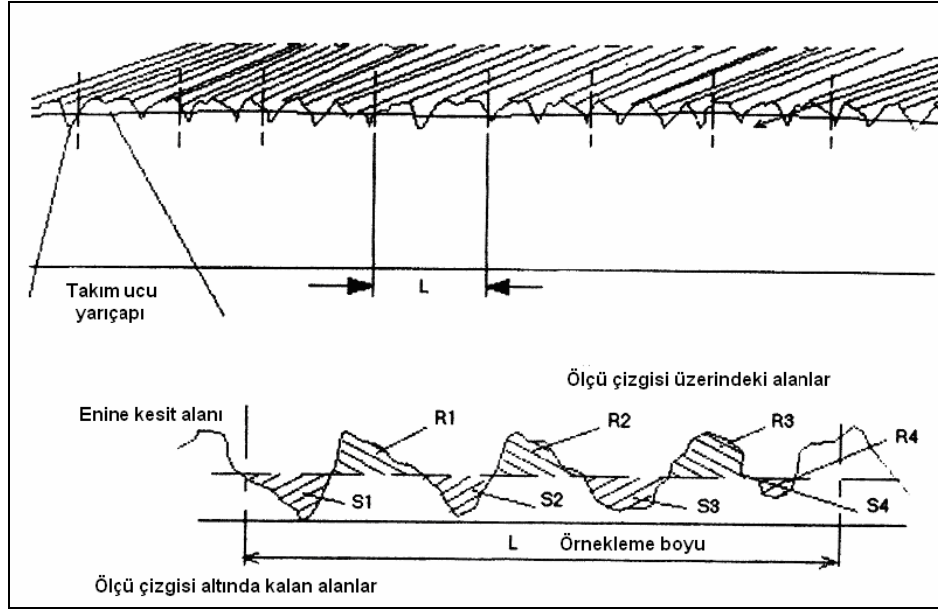
İşlemeli deneylerden daha az zaman alır ve genellikle kısa deneylerdir. Bu sebeple, birçok araştırmacı işlemesiz deneylerle çeliklerin işlenebilirliği arasında bağıntılar kurmaya çalışmışlar ve birçok ilişki ortaya atmışlardır. Bu ilişkileri esas alarak üç başlık altında incelemek mümkündür.

- i) Kimyasal bilişim deneyi: Aynı ısıl işlemi gören aynı temel özelliklere sahip malzemeler için geçerli olarak bulunan sonuçlar, bu tür çalışmalarını yapanların çoğu tarafından kabul edilmiştir.
- ii) Mikro yapı deneyi: Whittman, Woldman, Robbins ve Lawless yaptıkları çalışmalarda, tornalama ve frezeleme işlemleri için düzenli dağılmış lamelli kaba perlitin, işlenebilirlik açısından optimum mikro yapı olduğu belirtmişlerdir.

iii) Fiziksel özellik deneyi: Henkin ve Datsko, boyutsal analiz tekniklerini kullanarak genel bir işlenebilirlik değeri geliştirmek için, malzemenin fiziksel özelliklerine dayalı basit bir kriter oluşturmuşlardır [45].

### 3.5. 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 [38].



Şekil 3.11. Yüzey pürüzlülüğünün üç boyutlu gösterilmesi ve yüzey profili [38]

Bu sisteme göre pürüzler, yüzeylere dik olan kesite göre belirlenir. Bu kesitte numune uzunluğu boyunca pürüzlerin şeklini gösteren profilin ortalama çizgisine göre ortalama sapmaları tayin edilir. 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 Ra ile gösterilir.

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. Her zaman 0.8 mm genişliğinde işlenmiş yerde uygulanabilir. Toplam iğne yer değiştirme mesafesi genellikle işleme genişliğinin 20-60 katı kadardır. Elektronik devreli aygıtlar ile kesme genişliği üzerinde sürekli olarak ortalama değerler okunur. Elektronik yüzey ölçme aygıtları genellikle pürüzlülüğü gösterirken yüzeyin fiziksel karakteristiğini göstermezler [38].

Yüzey kalitesine etki eden birçok faktör 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 aksenel 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 [38].

### **3.5.1. Yüzey pürüzlülüğünün önemli olduğu durumlar**

Yüzey pürüzlülüğü birçok alanda önemli bir parametredir. Bunların bazıları;

- Sürtünmeli yataklar,
- Korozyon ortamında çalışan parçalar,
- Yuvarlanmalı yataklar,
- Boyanmış ve kaplanmış yüzeyler,
- Sızdırmazlık yüzeyleri,
- Plastik enjeksiyon kalıp yüzeyleri,
- Masterlar vb [46].

### 3.5.2. Yüzey pürüzlülüğüne etki eden faktörler

Yüzey pürüzlülüğüne etki eden faktörler;

- Kesici takımdaki titreşimler,
- Kesici takım geometrisi,
- İşlenen iş parçasında medyana gelen titreşim ve balans,
- İlerleme miktarı,
- Kesme hızı,
- Talaş derinliği,
- Kesici uçun üzerine talaşın yapışması (BUE),
- İşlenen malzemenin süreksiz talaş vermesi,
- Bir önceki yüzey kalitesi, şeklinde sıralanabilir [46].

### 3.5.3. Yüzey pürüzlülüğünün ölçümü ve gösterimi

Bitirme yüzeyinin yapısı ve gösterimi ANSI standardında ve ISO 1302’de belirtildiği gibi sembollerle gösterilir. Pürüzlülük, profil ortalama çizgisinden mikron ( $\mu\text{m}$ ) olarak ifade edilen aritmetik ortalama sapma olarak tanımlanır.

Yüzey kalitesi, parça yüzeyindeki genellikle kesici takımın bıraktığı izlerden ve baskılardan meydana gelen düzgünlük olarak ifade edilmektedir. Parçanın yüzey kalitesini gösteren düzgünlük iki türdür. Birincisi çok küçük yüzeysel hatalardan meydana gelen ve yüzey pürüzlülüğü denilen mikro geometrik düzgünlük, ikincisi parçanın ideal şeklinden sapmalarını belirten ve form düzgünlüğü (makro dalgalanmalar) denilen geometrik bozukluktur. Tamamen giderilemeyecek şekilde olan ve ekonomik bakımdan uygun görülen her iki yüzey düzgünlüğü parçanın fonksiyonuna göre belirli sınırlar içerisinde tutulması gerekir. Bu sınırlar fonksiyonel ve ekonomik faktörler göz önüne alınarak tayin edilir [47].

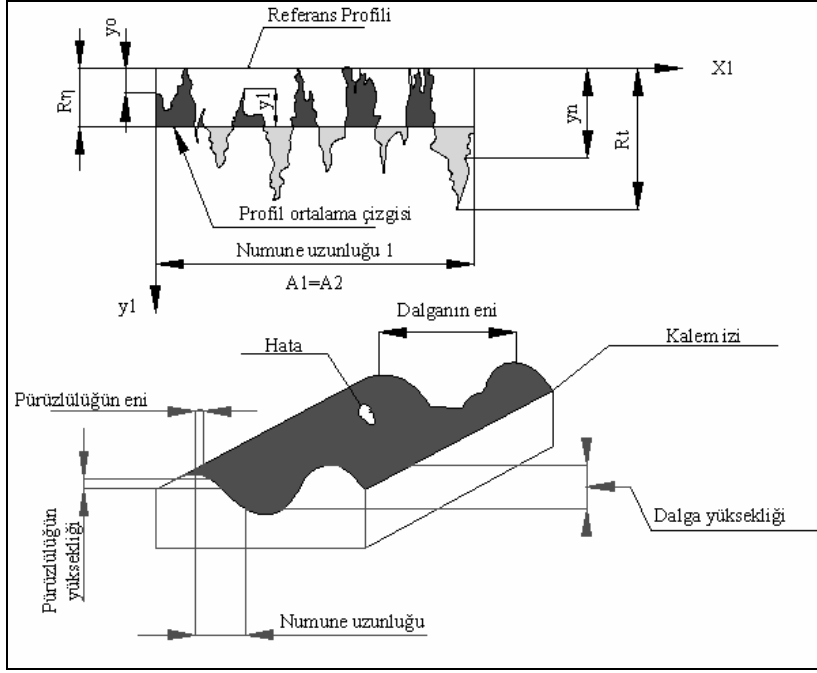
Standartlara göre yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi belirli kriterlerle yapılır. Bu kriterlere göre pürüzler, yüzeye dik olan bir kesitte, belirli bir numune uzunluğu

boyunca, belirli bir referans profiline ve profil ortalama çizgisine göre tayin edilir. Referans profil olarak genellikle geometrik profil alınır. Profil ortalama çizgisinin yeri, bu çizginin üstünde ve altında kalan alanların toplamı birbirine eşit olacak şekilde belirlenir. Yüzey pürüzlülüğü; yüzey pürüzlülüğünün derinliği ( $Rt$ ), yüzey pürüzlülüğünün düzeltilmiş derinliği ( $Rp$ ) ve ortalama yüzey pürüzlülüğünün düzeltilmiş derinliği ( $Ra$ ) gibi kriterlere göre değerlendirilir. ( $Rt$ ), referans profiline göre en derin pürüzün değeri ( $Rp$ ), referans profil ile profilin ortalama çizgisi arasındaki mesafe ( $Ra$ )'da ortalama çizgiye göre pürüz yüksekliğinin veya derinliklerin mutlak değerlerinin aritmetik ortalamasıdır. Referans olarak profil ortalama çizgisi alınırsa yüzey pürüzlülüğü;

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx \quad (3.13)$$

$$R_a = \frac{|y_0| + \dots + |y_n|}{n} \quad (3.14)$$

bağıntıları ile elde edilir. Burada, ( $l$ ) örnekleme uzunluğu, ( $y$ ) profil ortalama çizgisinden bağımsız dikeydeki yer değiştirmeler, ( $y_0$ - $y_n$ ) profil ortalama çizgisi için pürüzlülük yükseklikleri ve numune uzunluğuna tekabül eden pürüz sayısıdır.



Şekil 3.12 Yüzey pürüzlülüğü ve değerlendirmesi [3]

Ölçme tekniğinin gelişmesi ile yukarıdaki değerlerin biri veya hepsi ölçülebilir hale gelmiştir. Ancak; pratikte yüzey kalitesi genellikle ( $R_p$ ) veya ( $R_a$ )'nın değerleri ile ifade edilir. Parça imalat resimlerinin üzerine bu değerlerden birinin verilmesi yeterlidir. Eskiden daha çok ( $R_p$ )'nin kullanılmasına karşın, günümüzde daha ziyade uluslararası bir kriter olarak kabul edilen ( $R_a$ ) kullanılır. ( $R_a$ )'nın değerleri standartlaştırılmış ve ISO sistemine göre N harfi ile simgelenmiştir. Genellikle yüzey pürüzlülüğünün değeri mikron ( $\mu\text{m}$ ) olarak ifade edilir [48].

## 4. MALZEME ve METOD

### 4.1. Deney Numuneleri

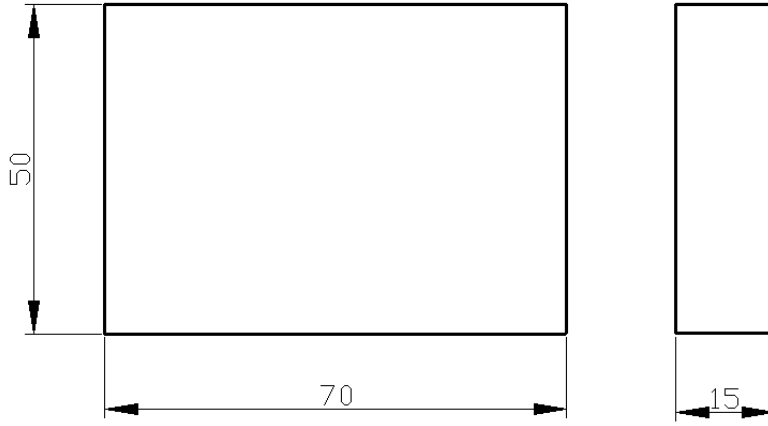
Bu çalışmada, yüksek aşınma direncine, yüksek tokluğa sahip, kesme ve ezme işlemlerine uygun olan farklı sertlikteki (21-48-56 HRc) AISI D2 soğuk iş takım çeliği kullanılarak iki farklı geometrideki kesici uçlarla işlenebilirlik deneyleri yapılmıştır. Deneylerde kullanılan AISI D2 çelik, yüksek karbon ve krom içeren, mikro yapısında yüksek miktarda karbür içermesi sebebiyle mükemmel aşınma direncine ve tokluğa sahip, basınca dayanıklı, derinlemesine sertleşebilen, yüksek sıcaklarda sertliğini kaybetmeye karşı yüksek dirence sahip ve ısı işlem esnasında oldukça iyi boyutsal kararlılık gösteren Ledeburitik yapıya sahip soğuk iş takım çeliğidir. Tel erozyon kesimi, paslanmaz sac kesimi, nitrasyon yapılmaya ve darbeli işlerde kullanılmaya oldukça uygundur[29].

Kalınlığı 6 mm'ye kadar her türlü soğuk sac kesme kalıpları, delme, zımbalama, kıvrırma, bükme, ezme, şişirme, şekillendirme kalıpları, boru ve profil haddeme makaraları, soğuk haddeme haddeleri, kağıt, karton, plastik ve sac kesme makinelerinin kesici bıçakları, ağaç işleme takımları, vida, civata, perçin, somun gibi bağlantı elemanlarının soğuk şekil verme ve diş çekme kalıpları, çapak alma kalıpları, derin çekme kalıpları, ilaç, seramik sanayinde kullanılan aşındırıcı tozların sıkıştırma kalıpları, plastik enjeksiyon kalıpları, tel çekme haddeleri ve soğuk ekstrüzyon takımları, hassas kesme kalıpları, dilme bıçakları, kabartma takımları gibi malzemelerin yapımında kullanılır [29]. Tablo 4.1'de deneylerde kullanılan AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin kimyasal yapısı ve Ek 1'de de malzeme sertifikası verilmiştir.

Çizelge 4.1. AISI D2 deney malzemesinin kimyasal yapısı

% C	% Si	% Mn	%P	%S	% Cr	% Mo	% V	% Fe
1.55	0.34	0.22	0.018	0.001	11.68	0.73	0.95	Diğer

Deneyleerde kullanılmak üzere 70x50x15 mm boyutlarında üç grup deney numuneleri hazırlanmıştır (Şekil 4.1). Bu numunelerden birinci grupta olanlara (M1) herhangi bir ısıtım işlemi uygulanmamış, ticari haliyle deneyleere tabi tutulmuştur. İkinci grup numuneler (M2) önce sertleştirilmiş sonra 600 °C’de temperlenmiştir. Üçüncü grup numuneler (M3) ise önce sertleştirilmiş sonra 400 °C’de temperlenmiştir. Bu ısıtım işlemleri sonrası malzemelerin sertlikleri sırasıyla M1 malzemesi 21 HRc, M2 malzemesi 48 HRc ve M3 malzemesi de 56 HRc sertliğe ulaşmıştır.



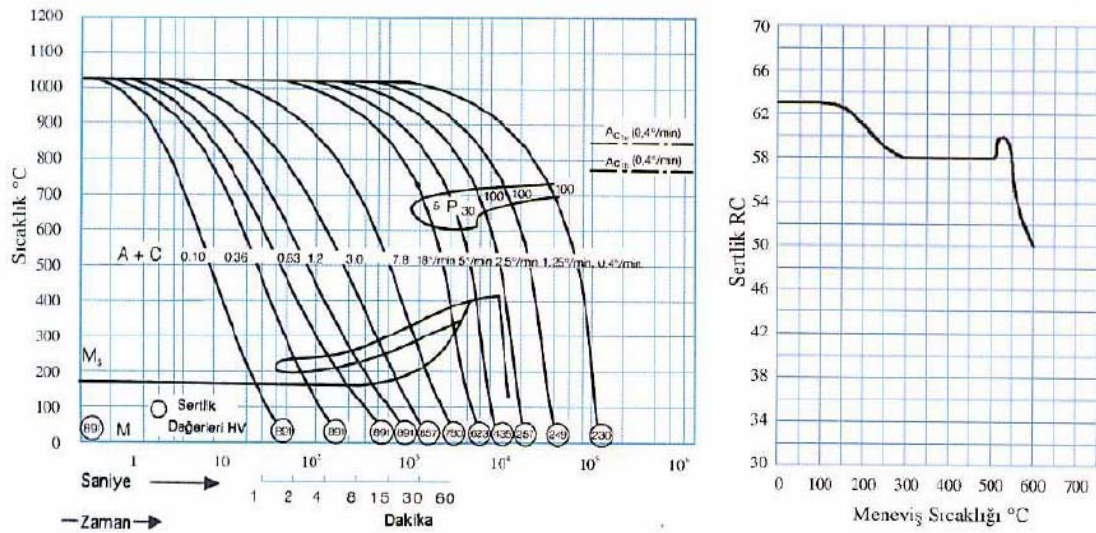
Şekil 4.1 Deney numunesi boyutları

#### 4.1.1. Deney numunelerinin ısıtım işlemi

AISI D2 takım çeliği, 1020-1040°C östenitleme sıcaklıklarından havada ve yağda soğutulmuş olarak sertleştirilir. Daha yüksek östenitleme sıcaklıklarına kadar ısıtılırsa, daha çok karbon ve kromun östenite çözünmesini ve daha çok kalıntı östenit oluşmasına ve dolayısıyla sertliğin düşmesine yol açar. Temperleme sıcaklığının yüksek tutulması ile bu kalıntı östenitlerin martenzite dönüşümü sağlanabilir [29].

AISI D2 çeliğinin 1030°C ve 1080°C olmak üzere iki su verme sıcaklığı mevcuttur. Yüzey kaplama (Nitrasyon vb.) veya erozyon işlemi uygulanacak takımlar için 1080°C de su verilir [29].

Şekil 4.2’de deney numunelerinin 1030 °C sıcaklıkta zaman-sıcaklık değişimi ve meneviş (temperleme) sıcaklıklarına göre sertlik değerleri verilmiştir. Deney numunelerine uygulanan ısıl işlem sonucu elde edilen sertlik değerleri bu çizelgelerle oldukça uyumlu olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.2. AISI D2 çeliğinin 1030°C zaman-sıcaklık dönüşüm diyagramı [49]

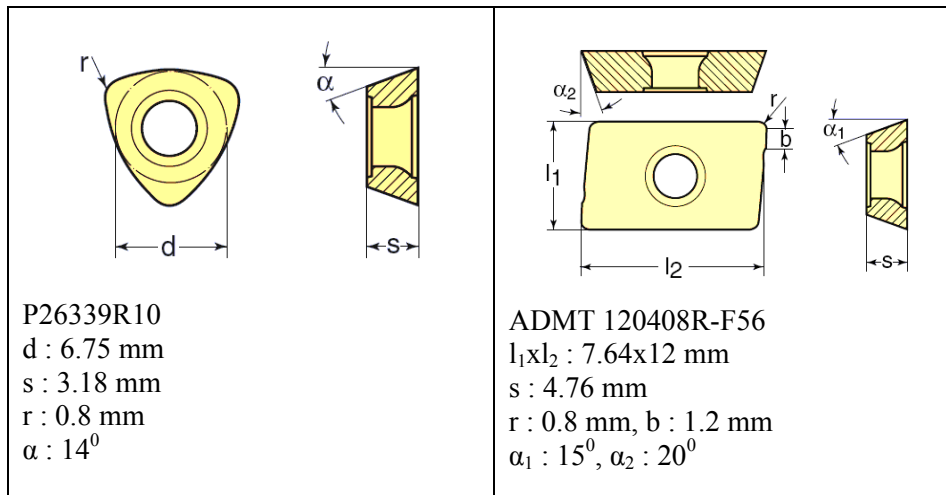
Deney malzemesi olarak; ticari halde (M1), 600 °C temperlenmiş halde (M2) ve 400 °C temperlenmiş halde (M3) olmak üzere, 3 farklı sertlikte AISI D2 soğuk iş takım çeliği kullanılmıştır. Ticari halde olan ve ayrıca bir ısıl işlem görmemiş olan malzemenin sertliği 21 HRC, ısıl işlemden sonra 600°C’de temperlenmiş malzemenin sertliği 48 HRC ve ısıl işlemden sonra 400°C temperlenmiş malzemenin sertliği de 56 HRC olarak ölçülmüştür. Sertlik ölçüm değerleri, ısıl işlemden sonra yüzeylerden 1 mm talaş kaldırılmış ve farklı yüzeylerden alınan üçer ölçüm değerinin ortalaması alınarak elde edilmiştir. Serlik ölçümleri, ısıl işlemi yapan Akalın Isıl İşlem firması tarafından yapılmış olup ayrıca Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Talaşlı Üretim Anabilim Dalındaki ölçme laboratuvarında bulunan sertlik ölçme cihazı ile kontrol edilmiştir. Hem firma tarafından ölçülen serlikler hem de Talaşlı Üretim Laboratuvarındaki ölçümlerde elde edilen sertlik değerleri aynı çıkmıştır. Tablo 4.2’de, hazırlanan deney numunelerinin ısıl işlem sıcaklıkları ve süreleri verilmiştir. Deney numunelerinin ısıl işlemleri kalite sertifikasına sahip “Akalın Isıl İşlem” firmasına yaptırılmıştır.

Çizelge 4.2. Deney numunelerinin ısıtma sıcaklıkları ve süreleri

Deney Malzemesi	Isıl İşlem Sıcaklığı	Isıl İşlem Zamanı	Soğutma	Temperleme Sıcaklığı	Temperleme Zamanı	Sertlik Değeri
Malzeme 1 (M1)	-	-	-	-	-	21 HRc
Malzeme 2 (M2)	880 °C	2 saat	Yağda	600 °C	4 saat	48 HRc
Malzeme 3 (M3)	880 °C	2 saat	Yağda	400 °C	4 saat	56 HRc

#### 4.2. Kesici Takımlar ve Takım Tutucular

Deneylerde, WALTER firması tarafından üretilen, P26339R10 kodlu WSP45 (S45-P45-M45) kalitesinde (T1) ve ADMT 120408R-F56 kodlu WSP45 kalitesinde (T2) kaplamalı karbür kesici takım kullanılmıştır. Bu kesici takımlar iyi aşınma direncine sahip olup yüksek kesme hızlarında veya zor kesme şartlarında kullanılmaktadır. Şekil 4.3'te kullanılan kesici takımların geometrileri ve boyutları verilmiştir.

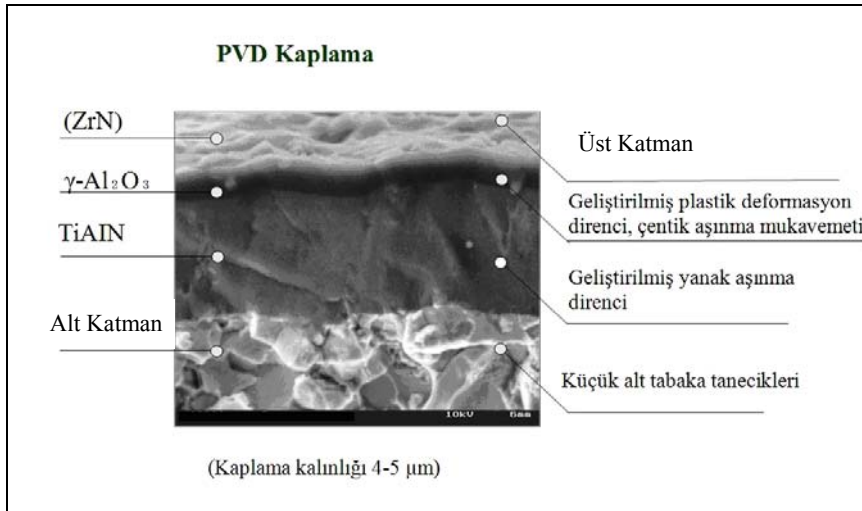


Şekil 4.3. Kullanılan kesici takımların geometrileri ve boyutları [50]

Kullanılan kesici uçlar, PVD tipi kaplama yöntemiyle üç kat kaplama kaplanmış uçlardır. Kaplama kalınlığı 4-5  $\mu\text{m}$ 'dir. Alt tabaka üzerine yanak aşınma direncini arttırmak için TiAlN kaplama tabakası, üzerine plastik deformasyon direncini



artırmak için  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  kaplama tabakası, en üst tabaka olarak da ZrN kaplaması yapılmıştır. Kesici takımlara yapılan kaplama tabakaları Şekil 4.4'te gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Kesici takım kaplama katmanları [50]

Deneyleerde kullanılan kesici takımlar, Şekil 4.5'te verilen mekanik sıkma tipli F2330.T22.025.Z03.01kodlu takım tutucu ile F4042.Z25.025.Z03.1101kodlu takım tutucu ile bağlanmıştır.

F 2330.T22.025.Z03.01						F4042.Z25.025.Z03.1101				
$D_a$	$D_c$	$d_1$	$X_1$	$a_e$	$a_p$	$D_c$	$d_1$	$L_c$	$X_1$	$X_2$
25	15	22	35	7	1	25	25	8	43	200

Şekil 4.5. Takım tutucular ve boyutları [50]

### 4.3. Takım Tezgahı

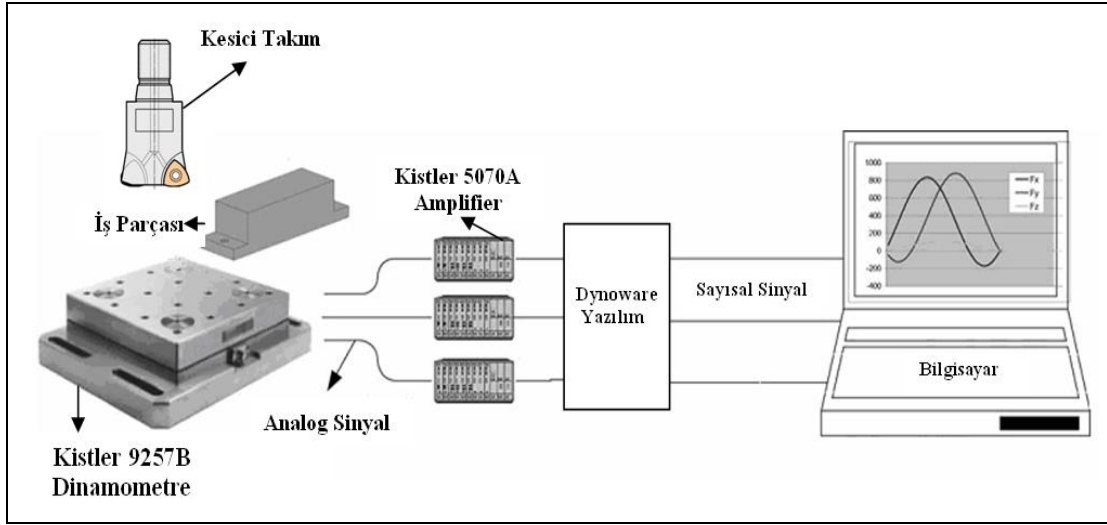
Deneyler Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Talaşlı Üretim Anabilim Dalında bulunan Johnford VMC-550 marka CNC dik işleme merkezinde yapılmıştır. Kullanılan takım tezgahının bazı özellikleri Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.3. Kullanılan CNC dik işleme merkezinin özellikleri

Model	Johnford VMC-550 Dik İşleme Merkezi
Kontrol Tipi	Fanuc OM serisi
X eksen hareketi	500 mm
Y eksen hareketi	500 mm
Z eksen hareketi	450 mm
Devir sayısı	60-6000 dev/dak
Motor gücü	10 HP (~7.5 kW)
X-Y-Z Hızlı ilerleme	15-15-12 m/dak
Kesme İlerlemesi	1-4000 mm/dak

### 4.4. Kuvvet Ölçüm Sistemi

Deneylerden elde edilen kuvvet verileri, Şekil 4.6'da görülen deney düzeneğine bağlı dinamometre ve bu dinamometrenin üzerine bağlanan deney parçalarının işlenmesi esnasında alınmıştır.



Şekil 4.6. Deneş düzeneği şematik gösterimi [52]

Deneşler esnasında oluşan kesme kuvveti verileri Dinamometre yardımı ile alınarak Amplifier'e (yükselteç) oradan da veri okuma kartı ve program sayesinde bilgisayara aktarılmıştır. Deneşler esnasında ve sonrasında verileri almada/ölçmede kullanılan cihaz/donanım ve özellikleri Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.4. Deneşlerde kullanılan cihaz/donanım ve özellikleri

Cihaz/donanım	Özellik
Dinamometre	Kistler 9257B Fx, Fy, Fz, $\pm 5$ kN, boyut:170x100x60mm
Amplifier (Yükselteç)	Kistler 5070A 8 kanaldan veri alma, $\pm 10$ V
Veri okuma kartı	CIO DAS 1602/12 Kart 8 analog kanal, 1.25-2.5-5-10V ölçüm aralığı
Yazılım	Dynoware Veri sayısı/süresi ayarlama, grafik oluşturma

#### 4.5. Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Cihazı

Yüzey pürüzlülük değerlerinin ölçülmesinde ortalama yüzey pürüzlülük değeri olan Ra dikkate alınmıştır. Deneşlerde MAHR-Perthometer-M1 taşınabilir yüzey pürüzlülük cihazı kullanılmıştır. Yüzey pürüzlülük cihazının özellikleri Çizelge 4.5'de verilmiştir. Örnekleme uzunluğu 8 mm alınmıştır.

Çizelge 4.5.Yüzey pürüzlülük cihazının özellikleri

MODEL	Perthometer M1(Mahr)
Ölçme Hızı	150 $\mu\text{m/s}$
Ölçme Kuvveti	0,7 mN
Uç Malzemesi	Elmas
Numune Uzunluğu	0,8 mm
Değerlendirme Uzunluğu	8 mm

#### 4.6. Deney Değişkenleri

Deneyleerde üç farklı sertliğe sahip malzeme, dört kesme hızı, üç ilerleme, tek kesme derinliği ve iki farklı geometride kaplamalı karbür kesici takımlar kullanılmıştır. Kullanılan bu deney değişkenleri Çizelge 4.6'da açık olarak verilmiştir.

Çizelge 4.6. Deney değişkenleri

Kesme Şartı	Parametre/Özellik
Kesici Takımlar	P26339R10 ve ADMT 120408R-F56 TiAl+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +ZrN PVD kaplamalı karbür kesiciler
Kesme Hızı (m/min)	70-90-110-130
İlerleme Hızı (mm/z)	0.05-0.1-0.15
Kesme Derinliği (mm)	0.5
Kesme Genişliği (mm)	15
Kesme Boyu (mm)	70
Kesici Ağız Sayısı (adet)	1
Takım Tutucu Çapları (mm)	Ø 25
Malzeme sertlik (HRC)	21-48-56
Kesme Yöntemi	Simetrik alın frezeleme

## 5. DENEYSEL SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Yapılan deneylerde kesme kuvvetlerini ve yüzey pürüzlülüğünü belirlemek için her deney şartında kuvvet ve pürüzlülük değerleri ölçülerek kaydedilmiştir. Kuvvet değerleri,  $F_x$ ,  $F_y$  ve  $F_z$  olarak her üç yöndeki değerler ayrı ayrı değerlendirilmiş ancak her iki takım içinde  $F_z$  yönünde oluşan kesme kuvvetleri daha büyük olduğu için bu yöndeki kuvvet grafikleri oluşturulmuştur. Yüzey pürüzlülükleri ise her deney sonrasında işlenen yüzeyden beş ölçüm alınmış en düşük ve en yüksek değerler dikkate alınmadan üç ölçümün aritmetik ortalaması alınarak ortalama yüzey pürüzlülük ( $R_a$ ) grafikleri oluşturulmuştur. Tablo 5.1' deneylerde elde edilen kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülük değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.1. Deney veri tablosu

Deney No	Kesici ve Malzeme	İlerleme (mm/tooth)	Kesme Hızı (m/min)	$F_x$ (N)	$F_y$ (N)	$F_z$ (N)	$R_a$ ( $\mu\text{m}$ )
1	P26339R10 WSP45 Ticari M1	0,05	70	202	220	225	0,121
2			90	158	200	210	0,098
3			110	154	188	201	0,148
4			130	154	186	206	0,167
5		0,1	70	229	256	293	0,496
6			90	224	263	278	0,240
7			110	208	254	268	0,306
8			130	213	258	266	0,200
9		0,15	70	266	283	347	0,196
10			90	244	298	340	0,290
11			110	246	312	327	0,244
12			130	229	278	315	0,244
13	P26339R10 WSP45 600 °C Temper M2	0,05	70	210	254	347	0,109
14			90	191	220	328	0,138
15			110	178	205	323	0,140
16			130	202	235	398	0,154
17		0,1	70	276	335	406	0,149
18			90	256	313	392	0,259
19			110	266	312	422	0,210
20			130	251	305	439	0,106

Çizelge 5.1. Deney veri tablosu (Devam)

Deney No	Kesici ve Malzeme	İlerleme (mm/tooth)	Kesme Hızı (m/min)	Fx (N)	Fy (N)	Fz (N)	Ra (µm)	
21		0,15	70	307	398	421	0,501	
22			90	327	405	486	0,233	
23			110	310	366	458	0,473	
24			130	290	374	468	0,363	
25	<b>P26339R10</b> WSP45 400 °C Temper M3	0,05	70	234	269	500	0,107	
26			90	200	227	390	0,141	
27			110	188	205	361	0,121	
28			130	210	235	522	0,178	
29		0,1	70	281	340	512	0,326	
30			90	241	293	427	0,238	
31			110	281	323	477	0,190	
32			130	281	327	571	0,170	
33		0,15	70	329	442	521	0,200	
34			90	339	410	570	0,380	
35			110	312	359	561	0,446	
36			130	329	386	742	0,439	
37		<b>ADMT</b> 120408R- F56 WSP45 Ticari M1	0,05	70	145	136	148	0,140
38				90	135	121	143	0,146
39				110	131	122	142	0,170
40				130	144	150	152	0,172
41	0,1		70	212	163	197	0,293	
42			90	190	149	184	0,169	
43			110	183	184	196	0,294	
44			130	190	152	202	0,254	
45	0,15		70	193	248	283	0,518	
46			90	203	247	275	0,219	
47			110	205	245	257	0,263	
48			130	179	257	250	0,332	
49	<b>ADMT</b> 120408R- F56 WSP45 600 °C Temper M2		0,05	70	182	210	217	0,135
50				90	173	204	209	0,168
51				110	174	206	216	0,183
52				130	173	213	217	0,160
53		0,1	70	265	239	294	0,275	
54			90	258	264	290	0,216	
55			110	257	245	276	0,230	
56			130	260	249	278	0,214	
57		0,15	70	337	269	352	0,148	
58			90	325	261	336	0,205	
59			110	310	268	339	0,290	
60			130	321	281	332	0,244	

Çizelge 5.1. Deney veri tablosu (Devam)

Deney No	Kesici ve Malzeme	İlerleme (mm/tooth)	Kesme Hızı (m/min)	F <sub>x</sub> (N)	F <sub>y</sub> (N)	F <sub>z</sub> (N)	Ra (µm)
61	ADMT 120408R- F56 WSP45 400 °C Temper M3	0,05	70	206	241	269	0,150
62			90	204	271	268	0,167
63			110	205	299	271	0,264
64			130	198	245	313	0,506
65		0,1	70	331	382	401	0,186
66			90	376	398	371	0,268
67			110	415	432	443	0,302
68		0,15	130	437	456	460	0,685
69			70	440	507	557	0,299
70			90	519	603	612	0,362
71			110	563	623	680	0,397
72			130	601	967	698	0,952

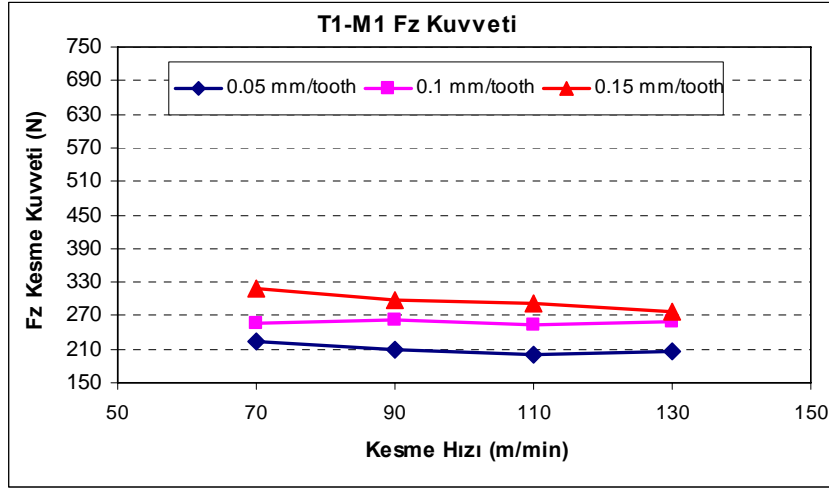
Deneylerde elde edilen bu veriler ile oluşturulan kuvvet ve yüzey pürüzlülük grafikleri aşağıda sunulmuş ve değerlendirilmiştir.

### 5.1. Kesme Kuvvetleri

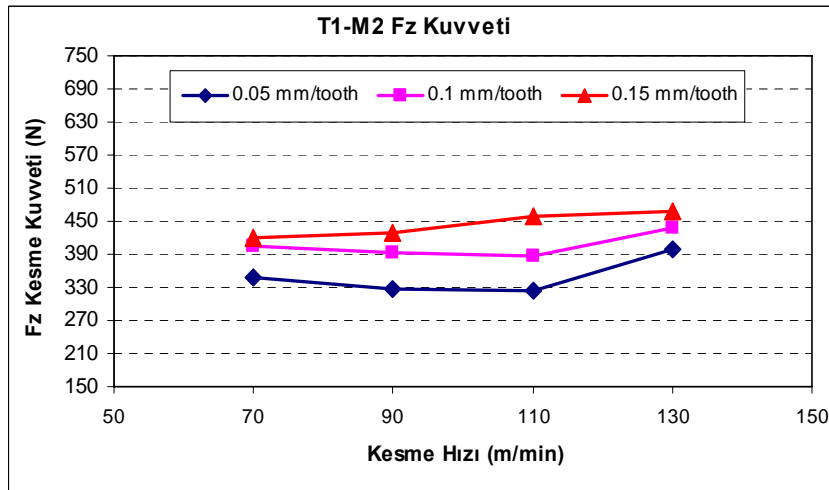
Geleneksel kesiciler ile alın frezeleme işleminde, kesicinin yavaşma açısına bağlı olarak kesme kuvvetlerinin hangi düzlemde en büyük olduğunu tahmin etmek kolaydır. Bu çalışmada kullanılan birinci grup kesici uçların (P26339R10-T1) geometrisi diğer uçlara nazaran yeni olması ve kesme parametrelerinin değişimi ile en büyük kesme kuvvetinin farklı eksenlerde çıkma ihtimaline karşılık, kesme kuvveti verileri her üç eksen (X, Y ve Z) dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucunda her iki kesici (P26339R10-T1 ve ADMT-T2) içinde en büyük kesme kuvveti F<sub>z</sub> yönünde olduğu görülmüş ve bu yöndeki kuvvet grafikleri oluşturulmuştur. İlk değerlendirmeler, T1 takımının kullanıldığı deneyler üzerinde yapılmıştır.

### 5.1.1. T1 takımı ile yapılan deneylerdeki kesme kuvvetleri

T1 takımının kullanıldığı deneylerde ilk değerlendirme, kesme hızlarına bağlı her bir malzeme için kesme kuvveti grafikleri oluşturularak yapılmıştır. Şekil 5.1, Şekil 5.2 ve Şekil 5.3'te, M1, M2, M3 malzemelerinde birinci grup takım (P26339R10 WSP45) ile yapılan deneylerde elde edilen verilerle oluşturulan kesme kuvveti grafikleri verilmiştir.

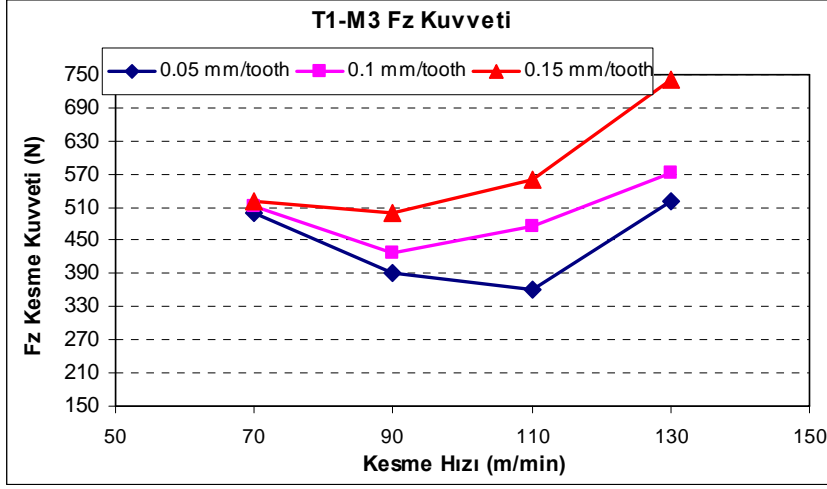


Şekil 5.1. T1 takımı ile M1 malzemesinde ilerlemelere bağlı Fz kesme kuvvetleri



Şekil 5.2. T1 takımı ile M2 malzemesinde ilerlemelere bağlı Fz kesme kuvvetleri





Şekil 5.3. T1 takımı ile M3 malzemesinde ilerlemelere bağlı Fz kesme kuvvetleri

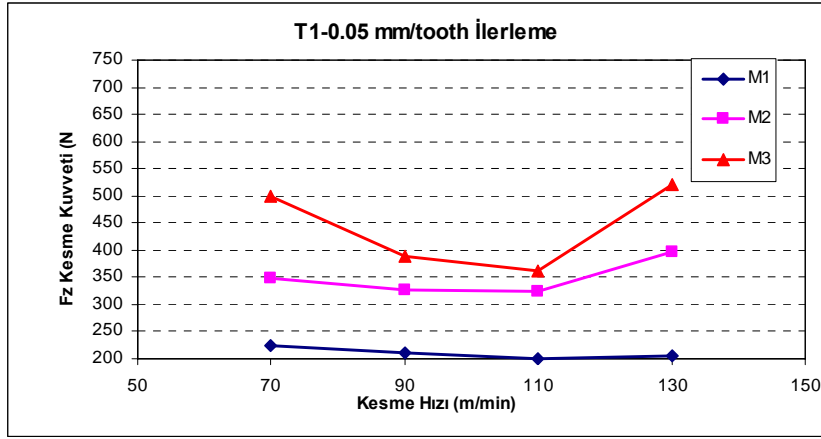
Grafikler incelendiğinde, özellikle de M1 malzemesinde, kesme hızının artışı ile kesme kuvvetlerinde bir azalma görülmektedir. Kuvvetlerdeki bu azalma, kısmen takım talaş temas alanındaki azalma, kısmen de kesme hızındaki artışla birlikte birinci ve ikinci defarmasyon bölgelerinde artan sıcaklığın işlenen malzemenin akma mukavemetini düşürmesi ile açıklanabilir [51]. Birinci malzemedeki (ticari-M1) kuvvetlerde azalma sürekli olmakla birlikte (Şekil5.1) ikinci (600 °C’de temperlenmiş-M2) ve üçüncü (400 °C’de temperlenmiş-M3) malzemelerdeki azalma, düşük ilerleme değerlerinde ve kesici takım firmasının tavsiye ettiği 100 m/min kesme hızına kadar azalmakta daha sonra 130 m/min’de artmaktadır (Şekil 5.2, Şekil 5.3).

Şekil 5.1, Şekil 5.2, Şekil 5.3 incelendiğinde M1 malzemesindeki kesme kuvvetleri birbirine çok yakınken ısıtılmış M2 ve M3 malzemelerinde kesme kuvvetleri ilerlemenin artışı ile aradaki fark artmaktadır. Ayrıca M1 malzemesi ile sertleştirilmiş M2 ve M3 malzemelerinde oluşan kesme kuvvetleri arasındaki fark oldukça fazla çıkmıştır. Buradaki farkı, ilerleme miktarının iki kat artması ile kesme şartlarının ağırlaşmasına bağlamak mümkündür.

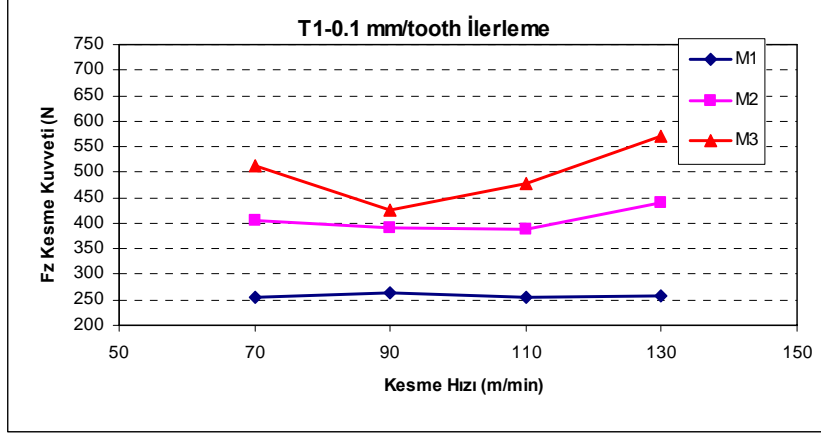
0.05 mm/tooth ilerleme değerinde her üç malzeme içinde kullanılan kesme hızları ideal kesme şartları olduğu görölmektedir (Şekil 5.1). M2 malzemesinde 0.05 mm/tooth ve 0.1 mm/tooth ilerleme değerlerinde 110 m/min'e kadar kesme kuvvetleri açısından iyi sonuç alınmışken (Şekil 5.2) M3 malzemesinde bu kesme hızları biraz daha düşük olması gerektiği görölmüştür (Şekil 5.3).

Şekil 5.3 incelendiğinde, M3 malzemesinde (56 HRc) kesme kuvveti, deney şartlarının en ağır olduğu 130 m/min kesme hızı ile 0.15 mm/tooth ilerleme değerinde oldukça yüksek çıkmıştır. Bu deney şartı 56 HRc sertliğindeki M3 malzemesini işlemede uygun olmadığı ve en olumsuz sonucu verdiği yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınmasında da görölmüştür.

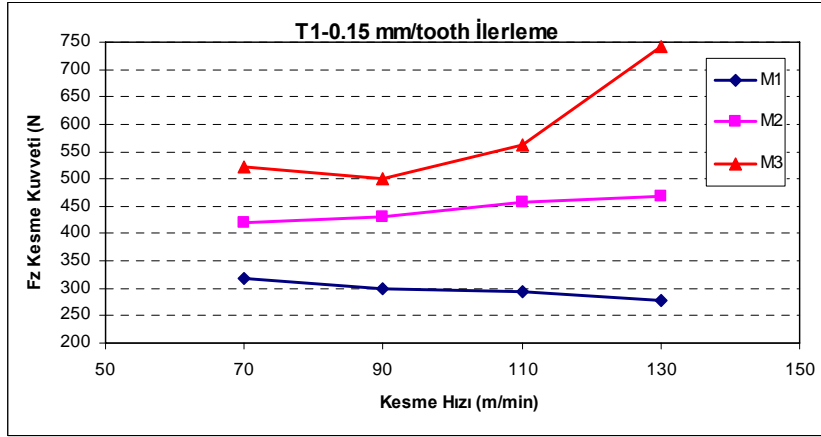
Kesme kuvvetlerinde ikinci değerlendirme ise malzeme bazında yapılmıştır. Şekil 5.4, Şekil 5.5 ve Şekil 5.6'da her bir ilerlemede T1 takımı ile yapılan deneylerde malzemelere bağlı kesme kuvveti grafikleri verilmiştir.



Şekil 5.4. 0.05 mm/tooth ilerlemede her bir malzemede oluşan kesme kuvveti



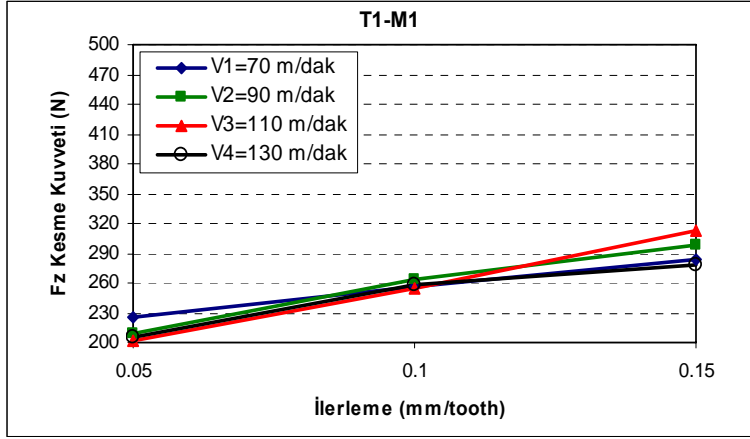
Şekil 5.5. 0.1 mm/tooth ilerlemede her bir malzemede oluşan kesme kuvveti



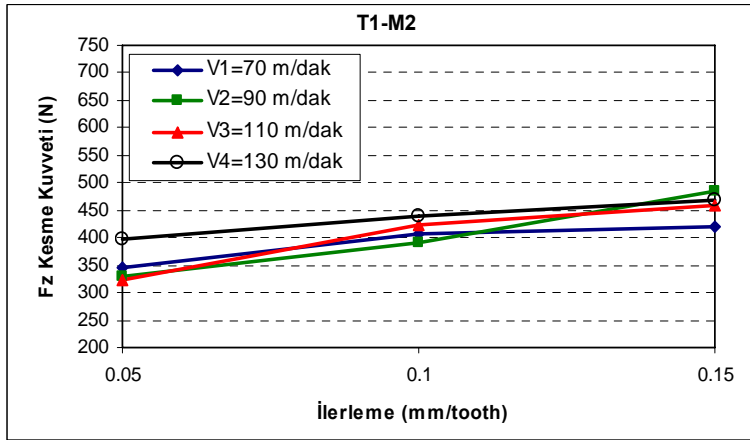
Şekil 5.6. 0.15 mm/tooth ilerlemede her bir malzemede oluşan kesme kuvveti

Deneysel sonucu oluşan kesme kuvvetleri malzeme bazında incelendiğinde Şekil 5.4, Şekil 5.5 Şekil 5.6'da da görüldüğü gibi, en düşük kesme kuvvetleri M1'de daha sonra M2'de ve en yüksek değerlerde M3'te elde edildiği görülmektedir. Malzemelerin sertlikleri  $M1 < M2 < M3$  olduğu hatırlanırsa, aynı tür malzemelerin sert olanın daha yumuşak olana göre kopma mukavemetinin yüksek olması, kuvvetlerin de bu şekilde bir dağılım göstermesine sebep olduğu düşünülmektedir.

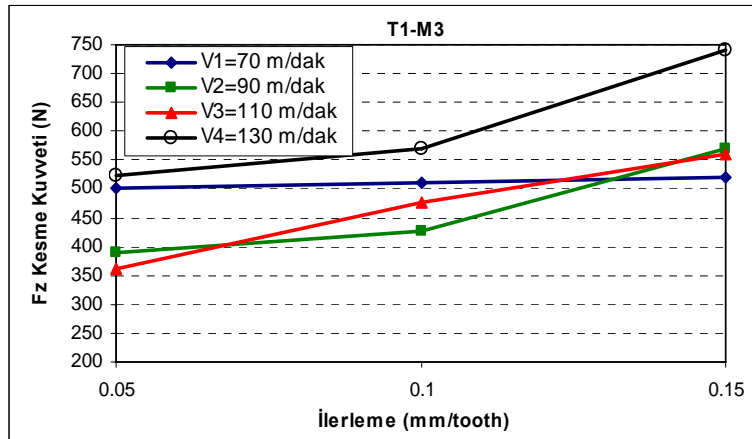
Kesme kuvvetlerinde üçüncü değerlendirme de, ilerlemelere bağlı yapılmıştır. Her üç malzemenin ilerlemelere bağlı beş kesme hızındaki kesme kuvveti grafikleri Şekil 5.7, Şekil 5.8 ve Şekil 5.9’da verilmiştir.



Şekil 5.7. M1 malzemesinde ilerlemelere bağlı kesme kuvvetleri



Şekil 5.8. M2 malzemesinde ilerlemelere bağlı kesme kuvvetleri



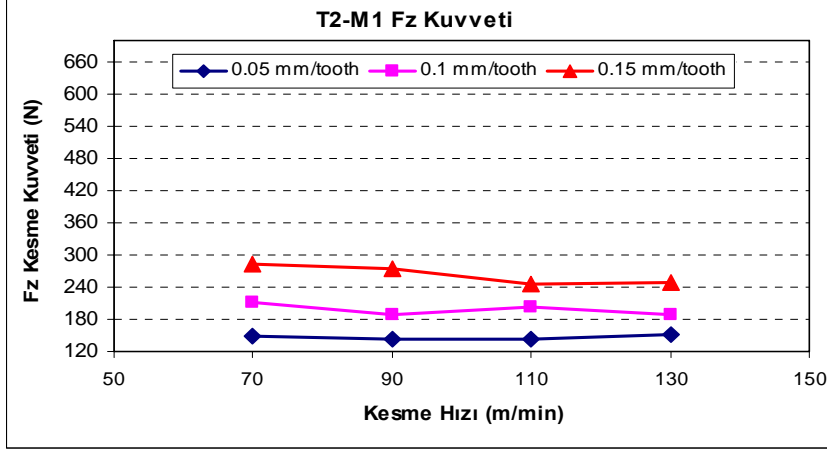
Şekil 5.9. M3 malzemesinde ilerlemelere bağlı kesme kuvvetleri

Şekil 5.7, Şekil 5.8 ve Şekil 5.9 incelendiğinde, ilerlemenin artışı ile kesme kuvvetlerinin arttığı görülmektedir. Bu artışı, ilerlemenin artması ile kaldırılan talaş hacminin artmasına bağlamak mümkündür. Bu bağlamda, en yüksek kesme kuvvetleri ilerlemenin en büyük olduğu 0.15 mm/tooth'ta, en düşük kesme kuvvetleri de 0.05 mm/tooth değerlerinde ortaya çıkmıştır.

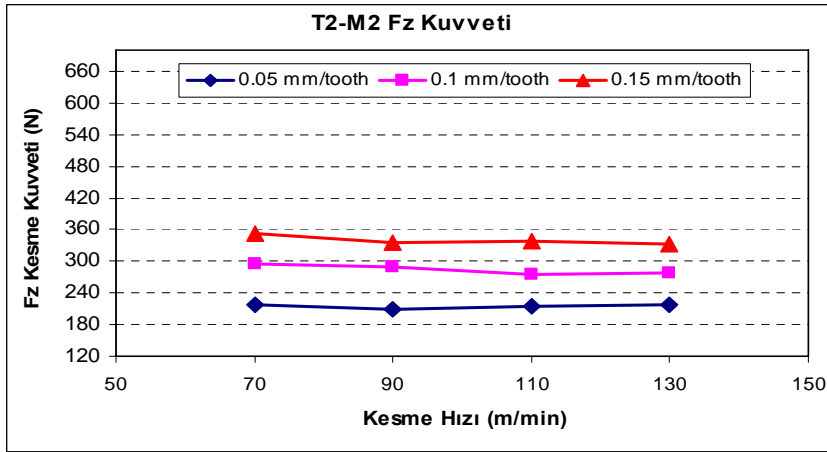
### 5.1.2. T2 takımı ile yapılan deneylerdeki kesme kuvvetleri

T2 takımı (ADMT120408R-F56 WSP45) ile yapılan deneylerdeki ilk değerlendirmeler de her bir malzemede kesme hızına bağlı ilerlemedeki kesme kuvvetlerinde yapılmıştır. Şekil 5.10, Şekil 5.11 ve Şekil 5.12'de bu grafikler verilmiştir. Grafikler incelendiğinde, M1 ve M2 malzemelerinde artan kesme hızlarında azalan kesme kuvvetleri görülürken (Şekil 5.10 ve Şekil 5.11), M3 malzemesinde 0.05 mm/tooth ilerleme değerinde artan kesme hızlarında kısmen azalma daha sonra ise kuvvetlerde artış görülmüştür (Şekil 5.12). 21 HRc ve 48 HRc serlikteki M1 ve M2 malzemelerindeki bu durumu, kısmen takım talaş temas alanındaki azalma, kısmen de kesme hızındaki artışla birlikte birinci ve ikinci defarmasyon bölgelerinde artan sıcaklığın işlenen malzemenin akma mukavemetini düşürmesi ile daha öncede açıklanmıştı. M3 malzemesindeki durum ise, kesme şartlarının ağırlaşması ile iyice artan sıcaklığın kesici takımda deformasyona yol

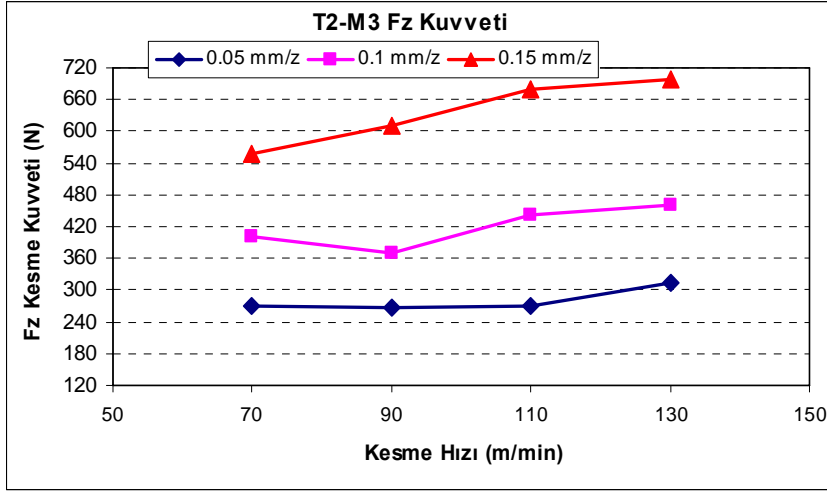
açtığı ve takımda aşınmaların oluşması ile de kuvvetlerde artışa sebep olduğu ile açıklanabilir. Kısaca belli bir düzeye kadar sıcaklık artışı iş parçasının mukavemetini azaltmış kuvvetleri düşürmüştü, sıcaklığın daha da artması takımın aşınmasına sebep olup kuvvetleri artırmıştır.



Şekil 5.10. T2 takımı ile M1 malzemesinde ilerlemelere bağlı Fz kesme kuvvetleri

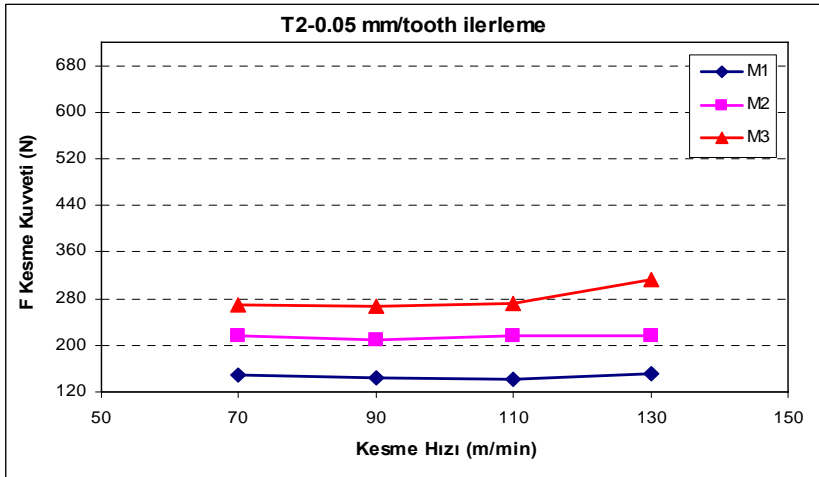


Şekil 5.11. T2 takımı ile M2 malzemesinde ilerlemelere bağlı Fz kesme kuvvetleri

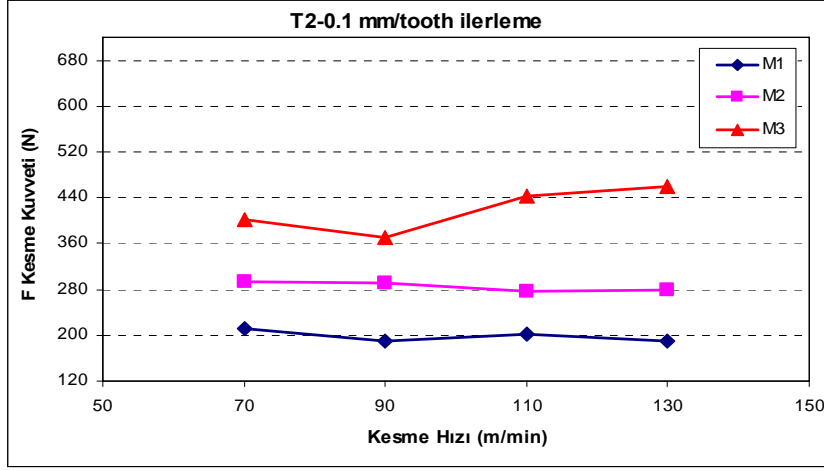


Şekil 5.12. T2 takımı ile M3 malzemesinde ilerlemelere bağlı Fz kesme kuvvetleri

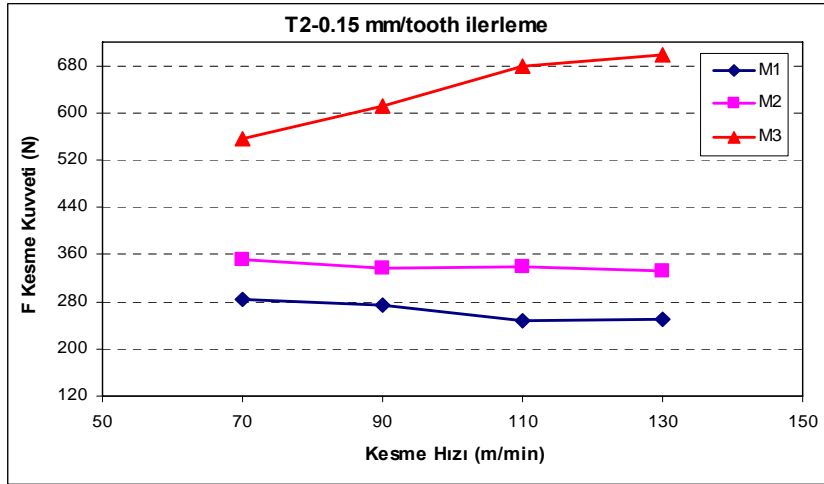
T2 takımı ile yapılan deneylerde her bir ilerleme değerinde malzemelere bağlı kesme kuvveti grafikleri Şekil 5.13, Şekil 5.14 ve Şekil 5.15'te verilmiştir.



Şekil 5.13. 0.05 mm/tooth ilerlemede her bir malzemede oluşan kesme kuvveti



Şekil 5.14. 0.1 mm/tooth ilerlemede her bir malzemede oluşan kesme kuvveti



Şekil 5.15. 0.15 mm/tooth ilerlemede her bir malzemede oluşan kesme kuvveti

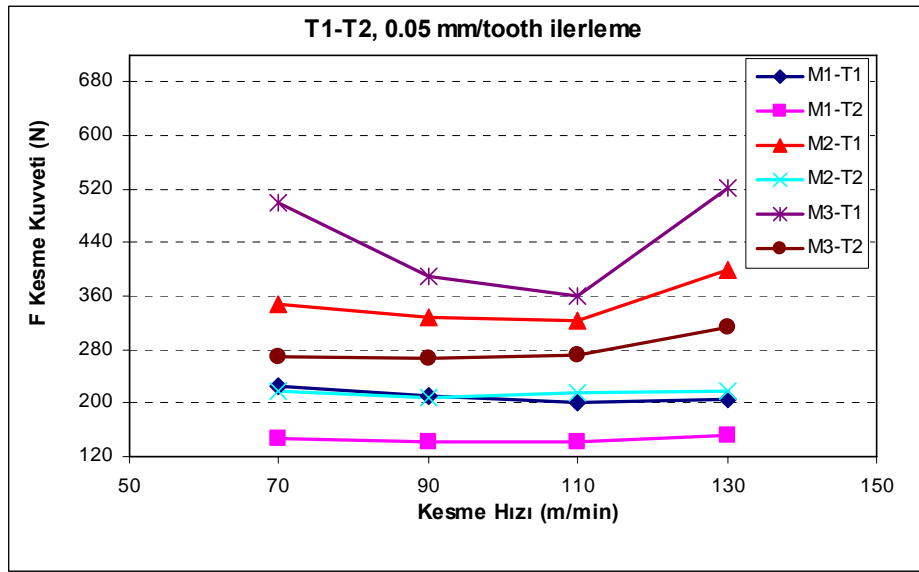
Şekil 5.13, Şekil 5.14 ve Şekil 5.15 incelendiğinde tüm ilerleme değerlerinde M1 ve M2 malzemelerinde kesme hızının artışı ile kesme kuvvetlerinde çok az düşme görülmüştür. M3 malzemesinde ise 0.05 mm/tooth ilerlemede 130 m/min değerine kadar yatay bir seyir izlemiş ve bu değerinde kuvvet artmıştır. M3 malzemesinde 0.1 mm/tooth ilerlemede 90 m/min değerinde kuvvet düşerken 110 ve 130 m/min değerlerinde artış olmuştur. 0.15 mm/tooth ilerleme değerinde M3 malzemesinde ise kesme hızının artışı ile kesme kuvvetlerinde artış görülmüştür (Şekil 5.15). Bu durum, T2 takımı ile 0.05, 0.1 ve 0.15 mm/tooth ilerleme ve seçilen kesme hızı



değerlerinde 21 ve 48 HRc sertliğindeki M1 ve M2 malzemelerini işlemede uygun olduğunu, 56 HRc sertliğindeki M3 malzemesini işlemede 0.05 mm/tooth ilerlemede 130 m/min değerine kadar uygun, 0.1 mm/tooth ilerleme değerinde biraz daha düşük kesme hızlarında işlenebileceği ve 0.15 mm/tooth ilerleme ise bu sertlikteki malzemeyi işlemede çok ağır olduğunu göstermiştir.

### 5.1.3. T1 ve T2 takımlarının kesme kuvvetleri açısından kıyaslanması

Her iki takım ile yapılan deneyler sonucu elde edilen kesme kuvveti verileri, üç ilerleme hızında kesme hızına bağlı grafikler Şekil 5.16, Şekil 5.17 ve Şekil 5.18'de verilmiştir.

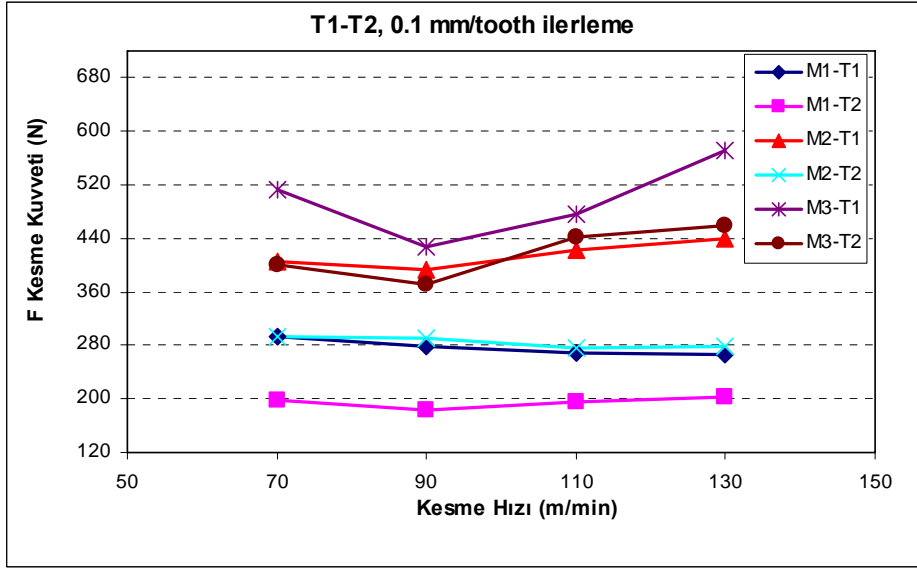


Şekil 5.16. T1-T2 takımlarının 0.05 mm/tooth ilerlemede kesme kuvvetleri

Şekil 5.16'daki grafik incelendiğinde her iki takımın kesme kuvveti eğilimlerinin birbirine çok paralellik arz ettiği görülmektedir. Kesme hızının artışı ile bir noktaya kadar kesme kuvvetleri düşmüş daha sonra artış eğilimi göstermiştir. Bunun sebebi yukarıda kesme kuvveti yorumlarında açıklanmıştır. Her üç malzeme de kesme kuvveti değerleri T1 takımında büyük çıkmıştır. Bu durum takımların geometrileriyle ilgili olduğu düşünülmektedir. T1 takımının geometrik yapısından dolayı kesme

kenarı bir yay şeklinde oluşmuş ve Z eksenı yönünde daha yüksek kesme kuvvetleri oluşmuştur. En düşük kesme kuvveti T2 takımını ile M1 malzemesi işlenirken elde edilmiştir.

Şekil 5.17’de ise her iki takımın 0.1 mm/tooth ilerleme değeriinde kesme hızlarına bağılı kesme kuvveti grafiğı verilmiştir.

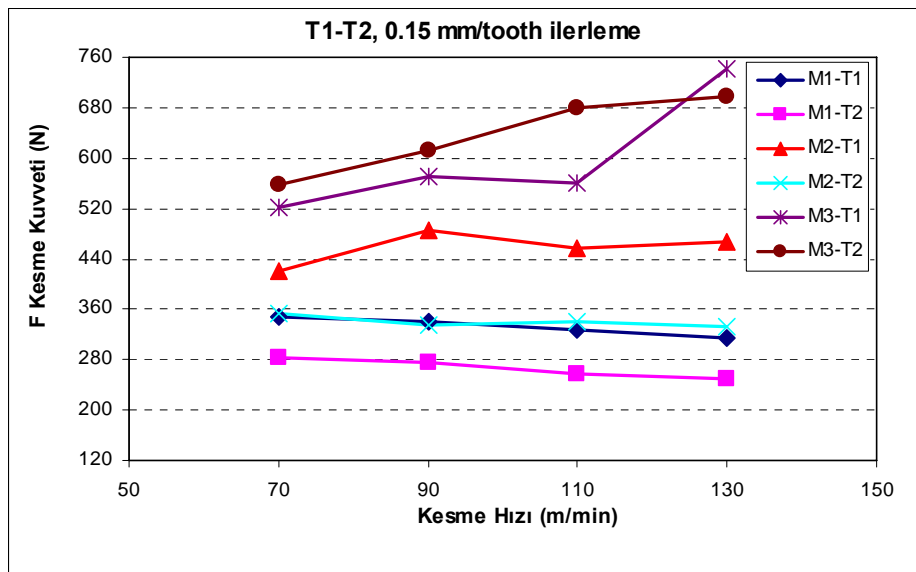


Şekil 5.17. T1-T2 takımlarının 0.1 mm/tooth ilerlemede kesme kuvvetleri

Şekil 5.17’deki grafik incelendiğinde, M3 malzemesi için kesme şartlarının ağır olması sebebi ile kesme kuvvetleri, 90 m/min kesme hızı değerinden sonra artmaktadır. Bunu da malzemenin 56 HRC sertliğinde olmasına bağlamak mümkündür. Kesici takımlar arasındaki kesme kuvvetleri dağılımına bakıldığında, T2 takımında oluşan kesme kuvvetlerinin T1 takımına oranla daha küçük çıktığı görülmüştür. Buda yine takımların geometrileri ile ilgili olduğu düşünülmektedir.

0.15 mm/tooth ilerleme değeriinde kesici takımların kesme hızına bağılı kesme kuvveti grafikleri ise Şekil 5.18’de verilmiştir. M3 malzemesinde, T2 takımının kullanıldığı deneylerde kesme kuvveti değeri, diğer kesme şartlarına göre oldukça yüksek çıkmıştır. Hatta tüm kesme kuvveti deney verilerine bakıldığında T2

takımında oluşan kesme kuvvetleri T1 takımına oranla sadece M3 malzemesini 0.15 mm/tooth ilerleme hızında işlemede daha büyük çıkmıştır. Bu duruma, takımın hızlı aşınmasının sebep olduğu takım aşınmalarının ölçülmesiyle anlaşılmıştır. Çünkü kesici takım daha deneye başlar başlamaz 10 mm ilerlemeden ömrünü tamamladığı görülmüştür.



Şekil 5.18. T1-T2 takımlarının 0.15 mm/tooth ilerlemede kesme kuvvetleri

Genel olarak kesici takımlar arasında kesme kuvvetleri analiz edildiğinde, M3 malzemesini 0.15 mm/tooth ilerleme hızında işleme hariç tüm deneylerde T2 takımında oluşan kesme kuvvetleri T1 takımına oranla daha küçük çıkmıştır. T1 takımında kesme kuvvetlerinin büyük olduğu durumlarda kesicinin aşındığı görülmüştür.

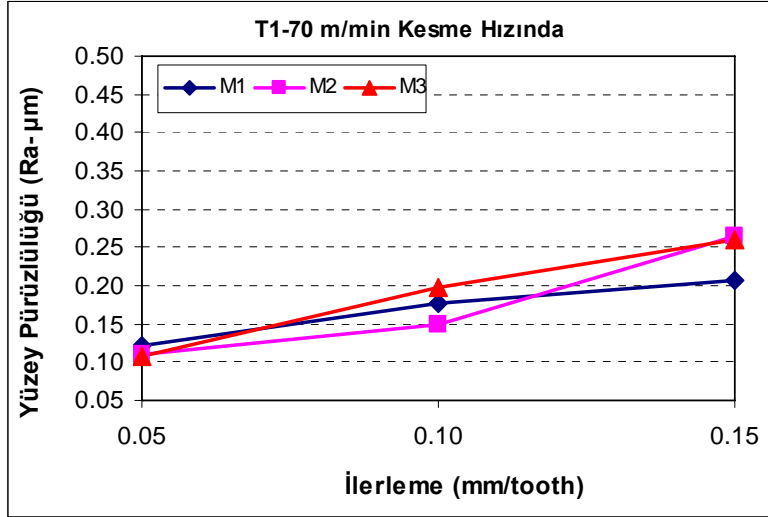
## 5.2. Yüzey Pürüzlülüğü

Yüzey pürüzlülük değerleri belirlenirken, her bir deney sonunda işlenen yüzeylerin beş farklı yerinde pürüzlülük ölçümü yapılmış, en yüksek ve en düşük değer dikkate alınmadan üç değer aritmetik ortalaması alınmıştır. Literatürde birçok çalışmada yüzey pürüzlülüğünde ilerleme miktarının etkisinin kesme hızı ve kesme derinliğinin

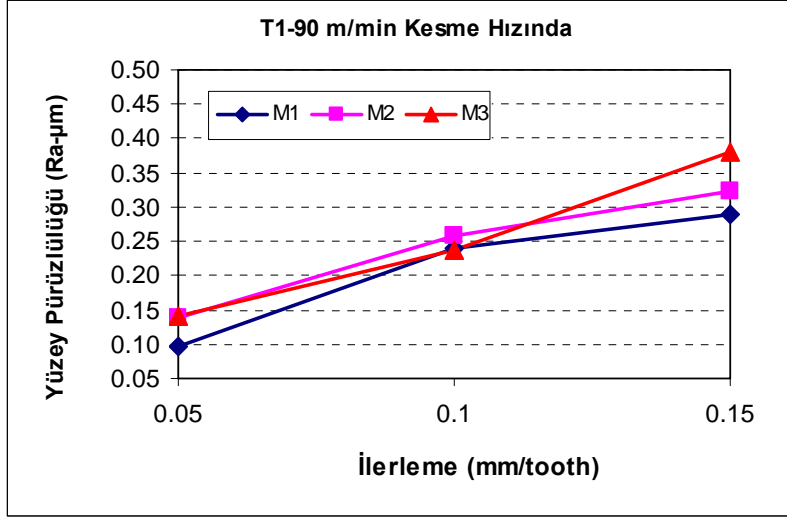
etkisinden daha belirgin olduğu rapor edilmiştir[1]. Bu bağlamda deneyler sonucu elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük (Ra) değerlerinde önce T1 ve T2 takımları için ayrı ayrı grafikler oluşturulmuş sonda T1 ve T2 takımları kıyaslanmıştır.

### 5.2.1. T1 takımı ile elde edilen yüzey pürüzlülükleri

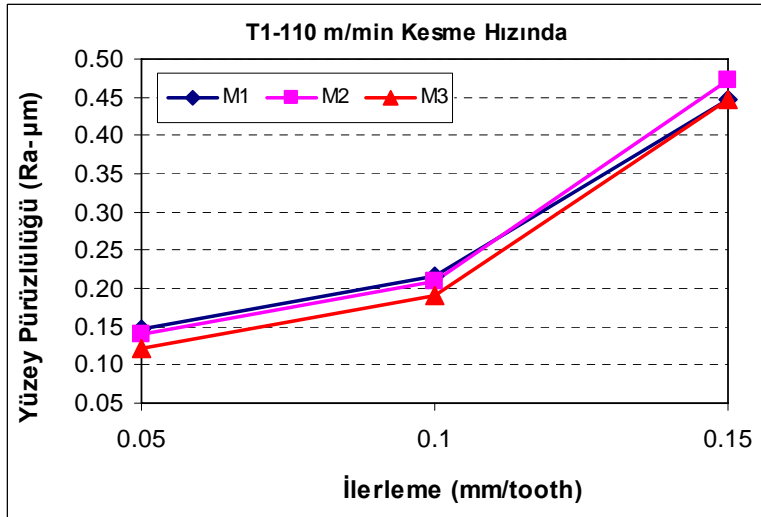
T1 takımı ile yapılan deneyler sonucu elde edilen malzeme ve kesme hızına bağlı her üç ilerlemedeki ortalama yüzey pürüzlülük grafikleri Şekil 5.19, Şekil 5.20, Şekil 5.21 ve Şekil 5.22'de verilmiştir.



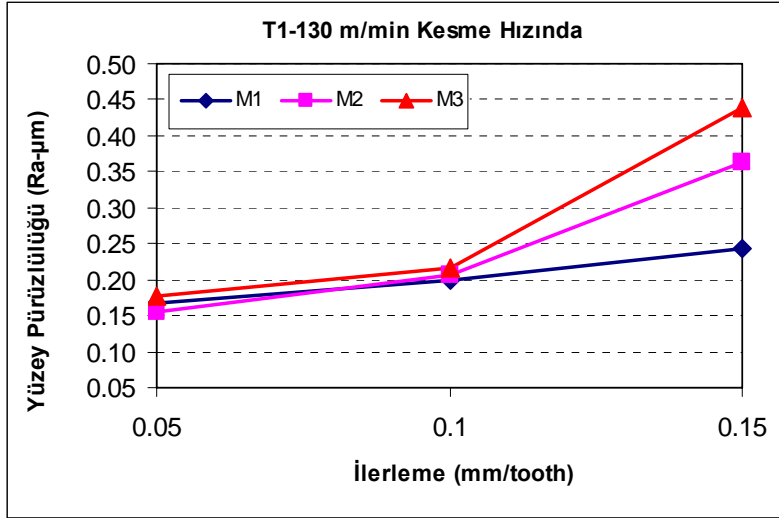
Şekil 5.19. Yüzey pürüzlülüğünün 70 m/min'de ilerleme miktarına bağlı değişimi



Şekil 5.20. Yüzey pürüzlülüğünün 90 m/min’de ilerleme miktarına bağlı değişimi



Şekil 5.21. Yüzey pürüzlülüğünün 110 m/min’de ilerleme miktarına bağlı değişimi



Şekil 5.22. Yüzey pürüzlülüğünün 130 m/min’de ilerleme miktarına bağlı değişimi

Şekil 5.19, Şekil 20, Şekil 21 ve Şekil 22’deki grafikler incelendiğinde her dört kesme hızında, artan ilerleme miktarlarına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü değerlerinin de arttığı görülmektedir. En iyi yüzey pürüzlülük değeri (0.098 µm) M1 malzemesinde 90 m/min kesme hızında 0.05 mm/tooth ilerleme değerinde elde edilirken en kötü yüzey pürüzlülük değeri ise M2 ve M3 malzemelerinde 130 m/min kesme hızında 0.15 mm/tooth ilerleme değerlerinde elde edilmiştir.

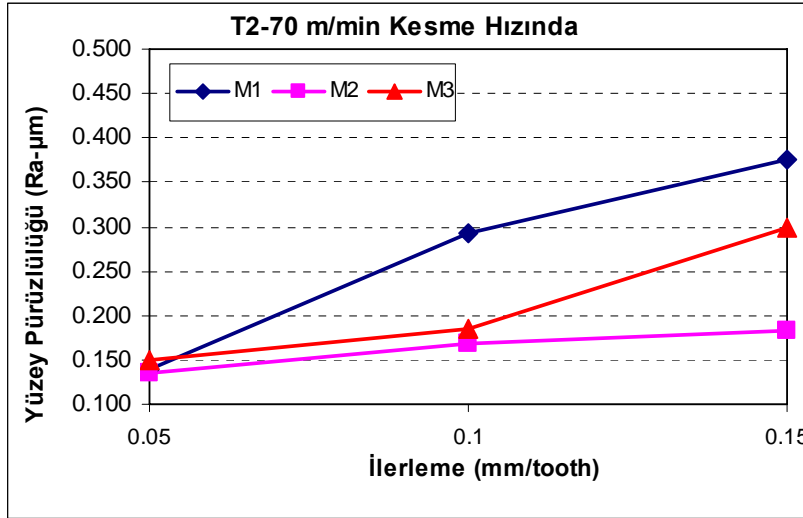
0.05 mm/ tooth ve 0.1 mm/ tooth ilerleme değerlerindeki yüzey pürüzlülük değerleri her üç malzemede birbirine çok yakın çıkmış iken 0.15 mm/tooth ilerleme değerlerindeki pürüzlülük değerleri arasında fark olduğu görülmüştür. 0.05 mm/tooth ilerleme değerinde tüm kesme hızlarında her üç malzeme için oldukça iyi yüzey kaliteleri (0.098-0.178 µm) oluşurken, en yüksek ilerleme değeri olan 0.15 mm/tooth ilerlemede yüzey kalitesi orta değerlerde (0.21-0.473 µm) oluşmuştur. Bu da T1 kesici takımın yüzey pürüzlülüğü açısından oldukça başarılı olduğunu göstermiştir.

Her üç malzemenin aynı ilerleme ve aynı kesme hızı değerlerindeki yüzey pürüzlülük değerleri birbirlerine oldukça yakın çıkmıştır. Burada, malzemelere uygulanan ısı işlemin yüzey pürüzlülüğü açısından çok bir etkiye sahip olmadığı

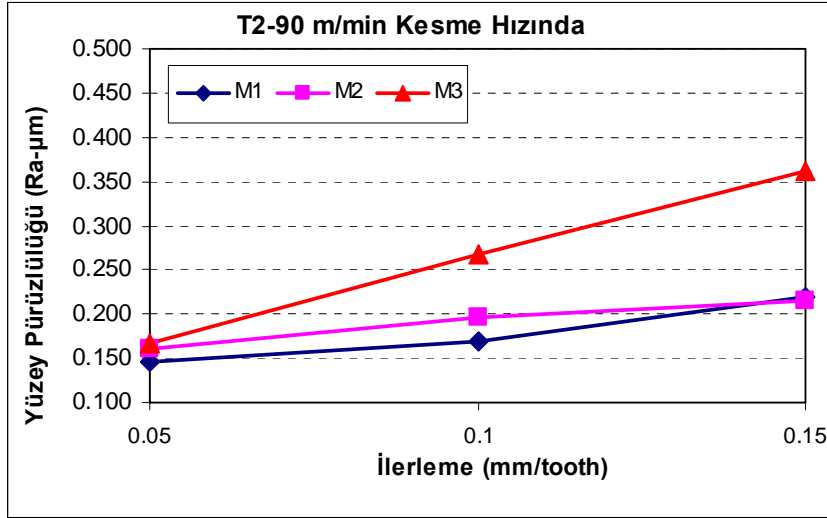
söylenbilir. Yalnızca, işleme şartlarının zorlandığı 0.15 mm/tooth ilerleme ve 130 m/min kesme hızında malzeme gurupları arasındaki pürüzlülük değerleri birbirinden biraz daha farklı çıkmıştır. Burada, kullanılan TiAl+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+ZrN PVD yöntemi ile kaplanmış kesici takımların tavsiye edilen kesme şartlarında bu malzemeleri işlemek için çok uygun olduğu söylenbilir.

### 5.2.2. T2 takımı ile elde edilen yüzey pürüzlülükleri

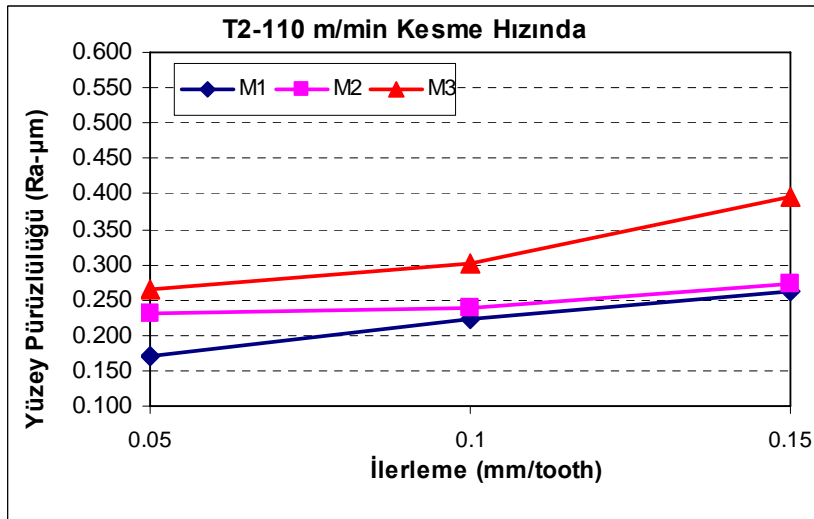
T2 takımı ile yapılan deneyler sonucu elde edilen malzeme ve kesme hızına bağlı her üç ilerlemedeki ortalama yüzey pürüzlülük grafikleri Şekil 5.23, Şekil 5.24, Şekil 5.25 ve Şekil 5.26'da verilmiştir.



Şekil 5.23. Yüzey pürüzlülüğünün 70 m/min'de ilerleme miktarına bağlı değişimi

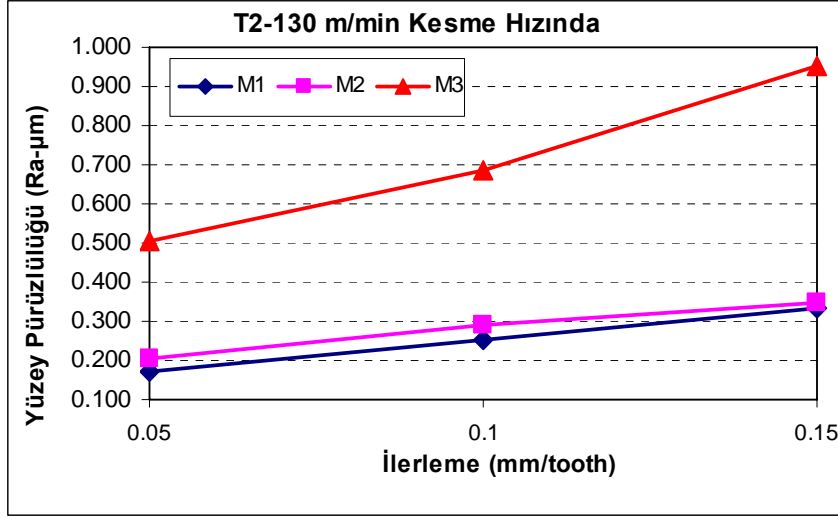


Şekil 5.24. Yüzey pürüzlülüğünün 90 m/min’de ilerleme miktarına bağlı değişimi



Şekil 5.25. Yüzey pürüzlülüğünün 110 m/min’de ilerleme miktarına bağlı değişimi



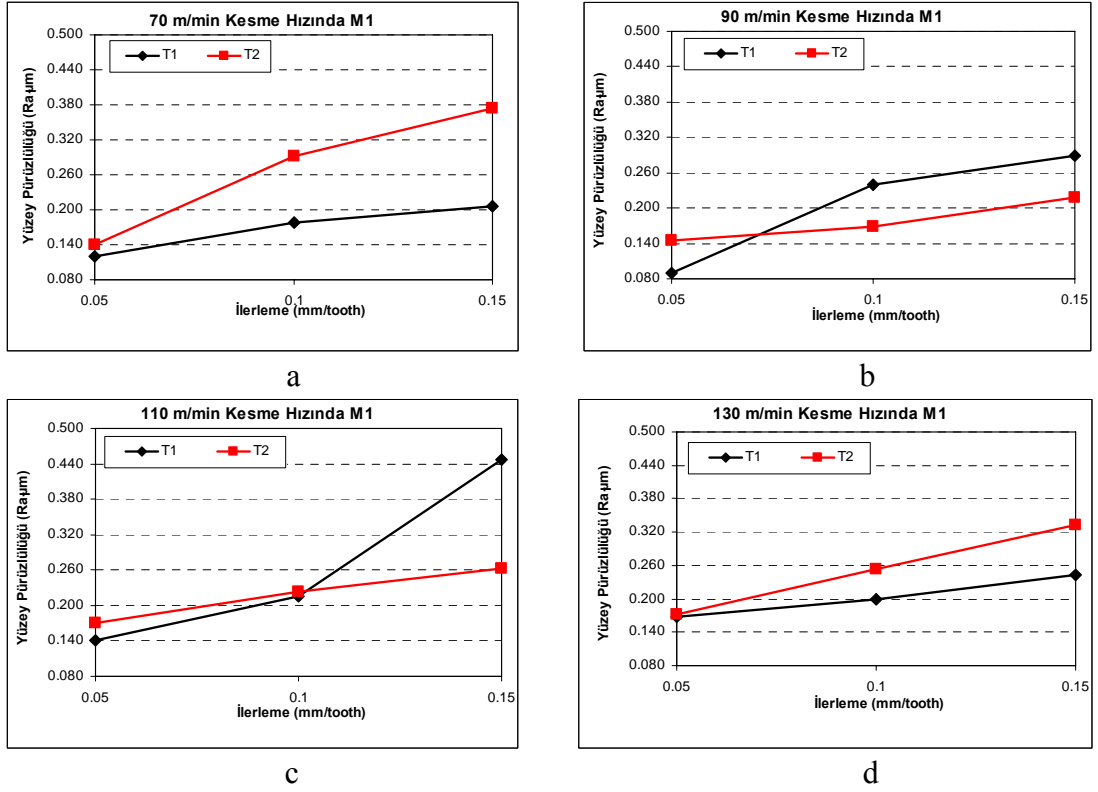


Şekil 5.26. Yüzey pürüzlülüğünün 130 m/min’de ilerleme miktarına bağlı değişimi

Şekil 5.23, Şekil 5.24, Şekil 5.25 ve Şekil 5.26’daki grafikler incelendiğinde, her üç malzemede ilerlemenin artışı ile yüzey pürüzlülüklerinde artış görülmüştür. M1 ve M2 malzemelerinde oluşan yüzey pürüzlülük değerleri birbirine çok yakın çıkarken, M3 malzemesinde oluşan yüzey pürüzlülük değerleri özellikle de 0.15 mm/tooth ilerleme hızında M1 ve M2 malzemesine göre oldukça yüksek çıkmıştır.

### 5.2.3. T1 takımı ile T2 takımının yüzey pürüzlülüklerinin kıyaslanması

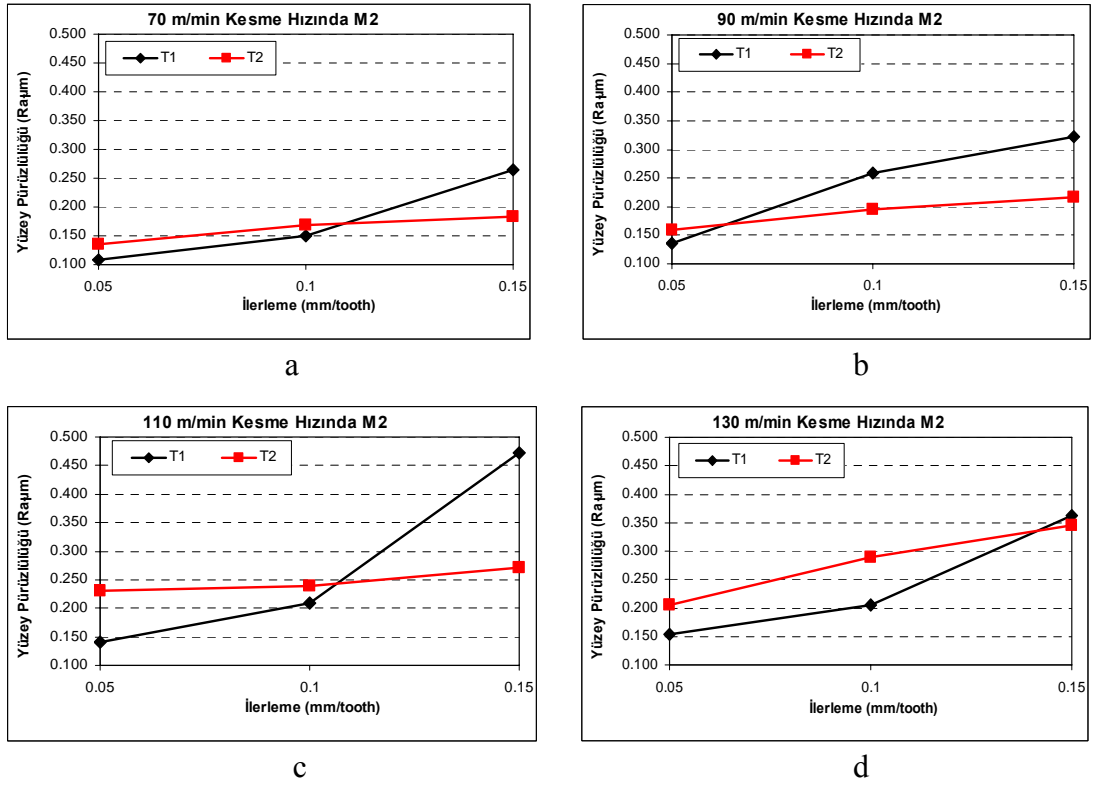
T1 ve T2 takımlarını yüzey pürüzlülükleri açısından kıyaslamak için her bir kesme hızında üç malzeme için ilerleme hızlarına bağlı yüzey pürüzlülük grafikleri oluşturulmuştur. İlk değerlendirme M1 malzemesinde yapılmış ve Şekil 5.27’de verilmiştir.



Şekil 5.27. M1 malzemesinde T1 ve T2 takımlarının ilerlemeye bağlı yüzey pürüzlülüğü a) 70 m/min, b) 90 m/min, c) 110 m/min, d) 130 m/min

Şekil 5.27 incelendiğinde, T1 takımı ile elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri T2 takımına göre genelde iyi sonuç verdiği görülmektedir. 130 m/min kesme hızında 0.05 mm/tooth ilerlemede pürüzlülük değerleri birbirine çok yakinken (Şekil 5.27d, T1=0.167 µm, T2=0.172 µm), 110 m/min kesme hızında 0.15 mm/tooth ilerlemede pürüzlülük değerleri arasında oldukça fark (Şekil 5.27c, %41) çıkmıştır.

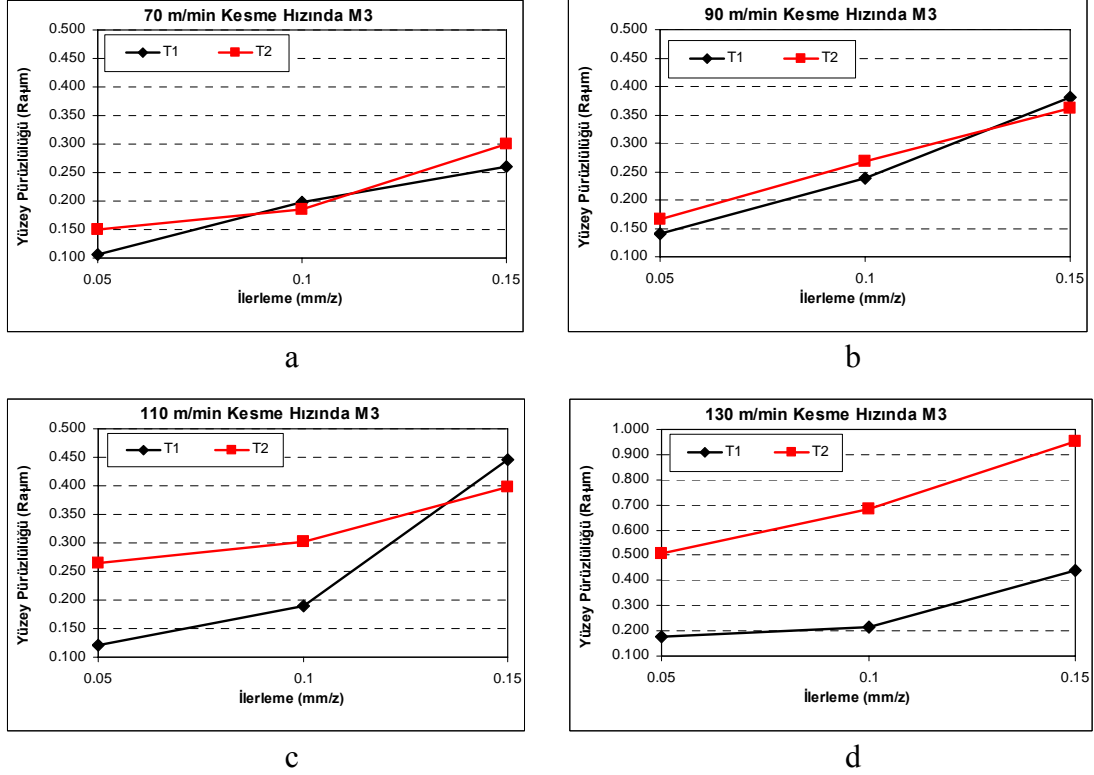
M2 malzemesinde elde edilen yüzey pürüzlülüklerin karşılaştırılması için Şekil 5.28'deki grafikler çizilmiştir.



Şekil 5.28. M2 malzemesinde T1 ve T2 takımlarının ilerlemeye bağlı yüzey pürüzlülüğü a) 70 m/min, b) 90 m/min, c) 110 m/min, d) 130 m/min

Şekil 5.28'deki grafikler incelendiğinde, hemen hemen tüm kesme hızlarında düşük ilerleme değerlerinde T1 takımı daha iyi performans gösterirken ilerleme arttıkça T2 takımının daha iyi performans gösterdiği gözle çarpmaktadır. Bu durumun sebebi, takımların geometrilerinin farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Şekil 5.29'da da M3 malzemesinde elde edilen yüzey pürüzlülüklerin karşılaştırılması için her bir kesme hızında ilerlemeye bağlı yüzey pürüzlülük grafikler çizilmiştir.



Şekil 5.29. M3 malzemesinde T1 ve T2 takımlarının ilerlemeye bağlı yüzey pürüzlülüğü a) 70 m/min, b) 90 m/min, c) 110 m/min, d) 130 m/min

M3 malzemesinde 70 m/min ve 90 m/min kesme hızı değerlerinde her iki takım da yüzey pürüzlülükleri birbirine yakın çıkmışken (Şekil 5.29 a-b), 110 m/min ve 130 m/min kesme hızında (Şekil 5.29 c-d) pürüzlülükler arasında T1 takımı lehine oldukça fark çıkmıştır. Bu fark kesici takımların aşınmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Çünkü takım aşınmalarına bakıldığında T2 takımının 56 HRC sertliğindeki M3 malzemesini işlemede oldukça zorlandığı, T2 takımı deneyi tamamlamadan ömrünü tamamladığı görülmüştür.

Genel olarak T1 takımı ile T2 takımı yüzey pürüzlülüğü açısından kıyaslandığında, sertliği az olan M1 malzemesinde T1 takımı daha iyi performans gösterirken, M2 malzemelerinde düşük ilerleme değerlerinde T1 takımı yüksek ilerleme değerlerinde T2 takımı iyi performans göstermiştir. En sert olan M3 malzemesinde ise düşük

kesme hızlarında pürüzlülük değerleri birbirine yakınken, yüksek kesme hızlarında T2 takımının aşınması sebebi ile T2'nin performansı kötü çıkmıştır.

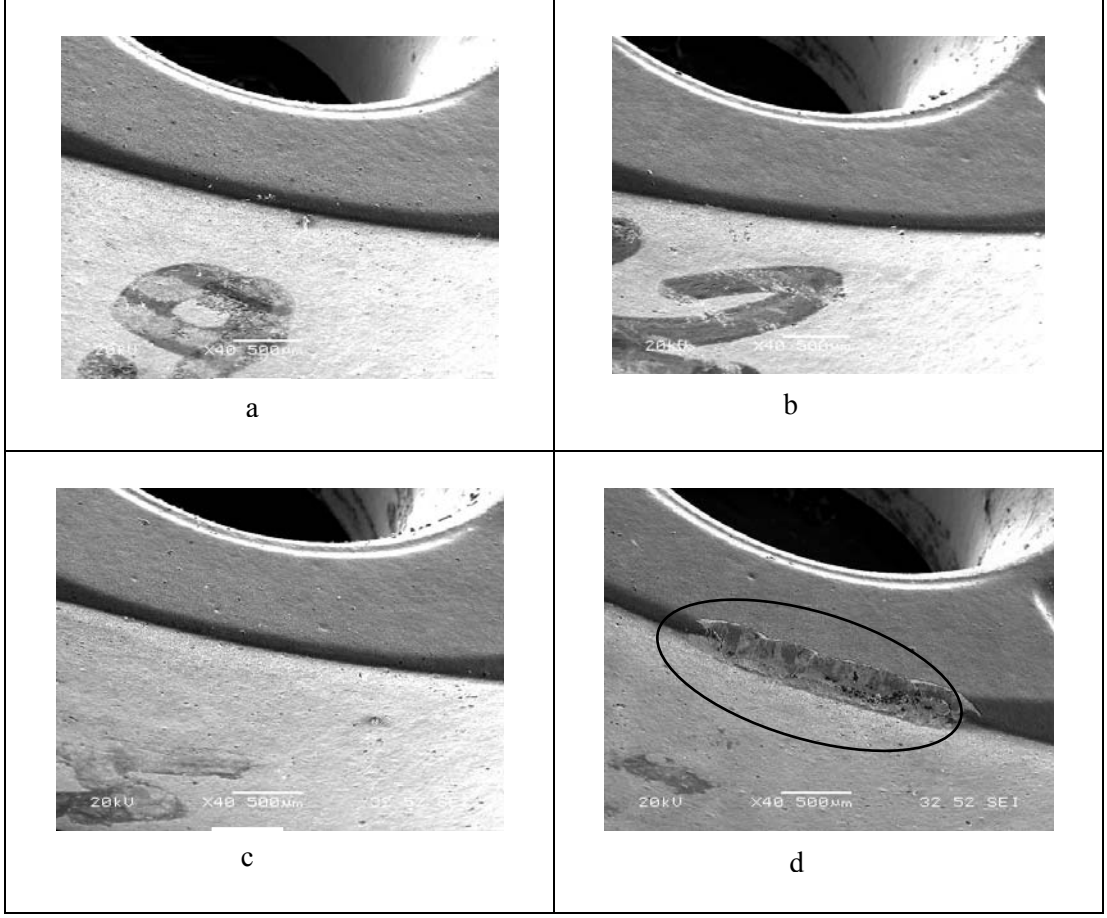
### 5.3. Takım Aşınması

Farklı kesme hızları ve ilerlemelerde sabit kesme derinliğinde yapılan deneyler sonrasında takımlarda meydana gelen yanak aşınmaları takım mikroskobunda incelenmiş ve her iki takım içinde aşınma durumlarına bakılmıştır.

T1 takımı ile yapılan deneylerde inceleme sonucunda deney şartlarının en ağır olduğu 0.15 mm/tooth ilerleme ile 130 m/min kesme hızı değeri dışında kesici takımlarda hiçbir aşınma görülmemiştir. Takımlardaki aşınma durumlarını vermek için Resim 5.1'de değişik deney şartlarında kullanılan T1 kesici takımların kesme kenarları tarama elektron mikroskobunda (SEM) resimleri çekilmiştir.

Kullanılan T1 kesici takım, takım firması tarafından tavsiye edilen kesme parametreleri içinde (100 m/min kesme hızı, 0.08-0.1 mm/tooth ilerlemede) oldukça iyi performans göstermiştir. Orta sertlikteki M2 malzemesi üzerinde, tavsiye edilen kesme parametrelerinin üst sınırı olan 110 m/min kesme hızı ve 0.1mm/tooth ilerleme değerinde bile (Resim 5.1a) hiçbir aşınma olmamıştır.

En sert olan M3 malzemesinde, daha ağır şart olan 130 m/min kesme hızı 0.1 mm/tooth ilerleme ile 110 m/min kesme hızı 0.15 mm/tooth ilerleme değerlerinde hiç bir aşınma görülmemiştir (Resim 5.1.b-c). Bu parametrelerin dışında sertleştirilmiş olan M2 ve M3 malzemeleri için yüksek değerler olan 130 m/min kesme hızı ve 0.15 mm/tooth ilerleme değerlerinde normal bir aşınma görülmemiş kesme kenarında ani kırılmalar olmuştur (Resim 5.1.d).



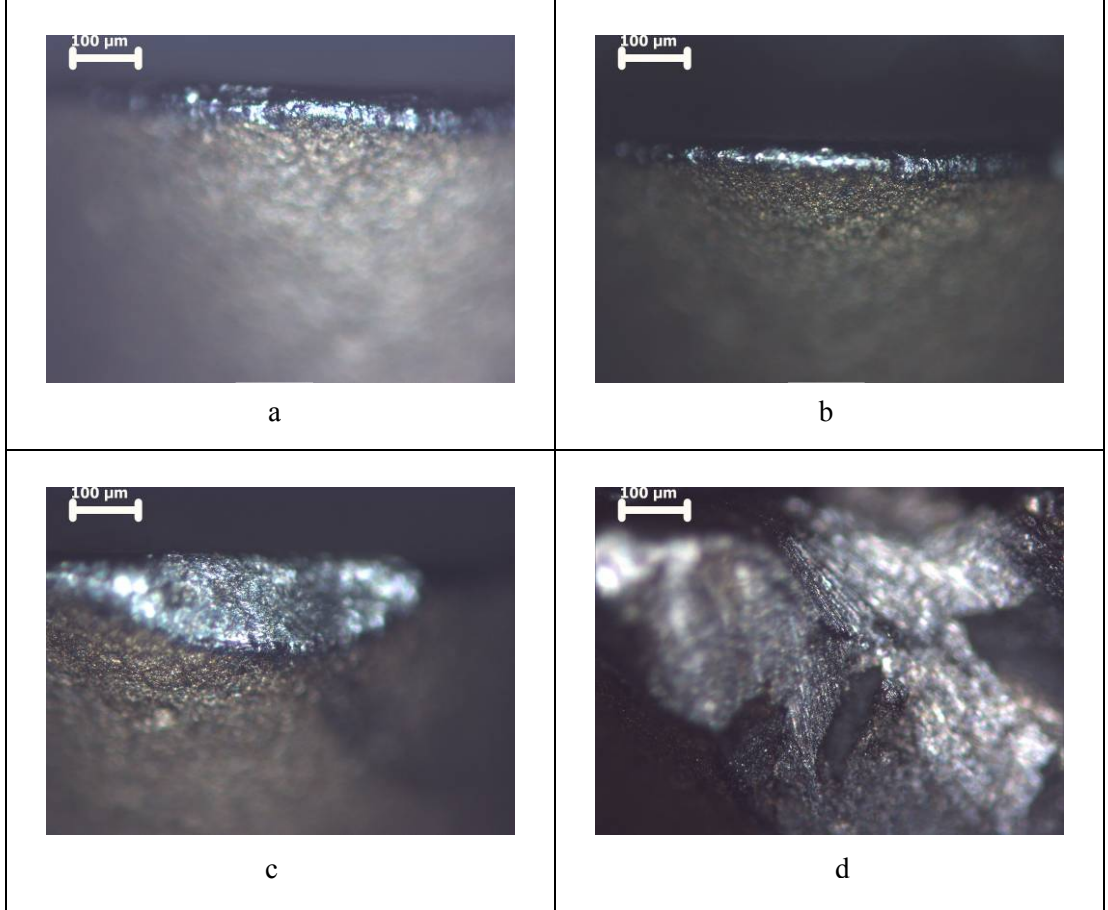
Resim 5.1. T1 kesici takımların kesme kenarlarının SEM görüntüleri

- a)  $V=110$  m/min,  $fz=0,1$  mm/tooth, sertlik=48 HRc,
- b)  $V=130$  m/min,  $fz=0,1$  mm/ tooth, sertlik=56 HRc,
- c)  $V=110$  m/min,  $fz=0,15$  mm/ tooth, sertlik=56 HRc,
- d)  $V=130$  m/min,  $fz=0,15$  mm/ tooth, sertlik=56 HRc

T1 kesici takımında ise aşınma direnci konusunda oldukça iyi performans sergilediği görülmüş buda takım geometrisi ve takım kaplamasının başarısı olarak düşünülmektedir. Takım geometrisi sayesinde takıma gelen yükler daha geniş bir alana yayılmış ve takım yüzeyinde minimum düzeyde basıncın oluşmasını sağlamıştır.

T2 takımı ile yapılan deneylerde, M1 ve M2 malzemelerinin işlenmesinde herhangi bir takım aşınması görülmemiş ancak M2 malzemesinin en ağır kesme şartı olan 0.15

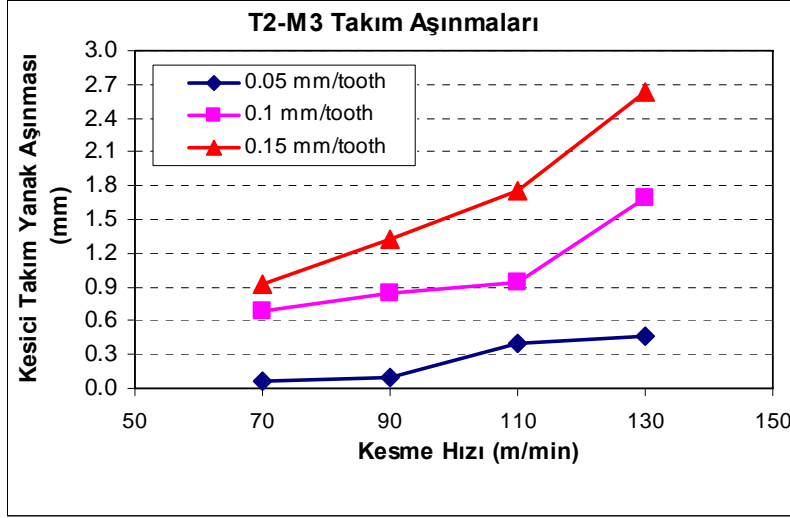
mm/tooth ilerleme değerinin 110 m/min kesme hızında 0.14 mm ve 130 m/min kesme hızında 0.55 mm takım aşınması görölmüştür (Resim 5.2).



Resim 5.2. T2 kesici takımların kesme kenarlarının görüntüleri

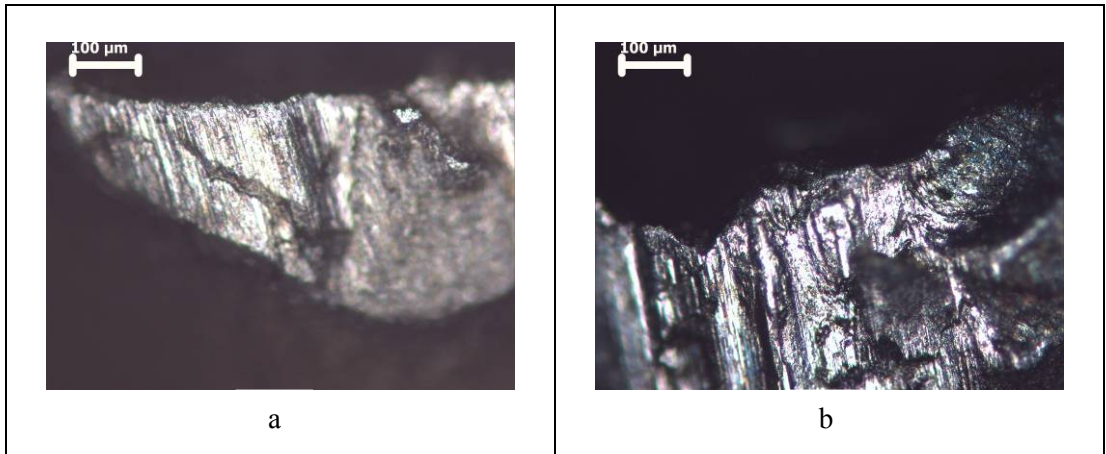
- a)  $V=110$  m/min,  $f_z=0,1$  mm/tooth, sertlik=48 HRc,
- b)  $V=130$  m/min,  $f_z=0,1$  mm/ tooth, sertlik=48 HRc,
- c)  $V=110$  m/min,  $f_z=0,15$  mm/ tooth, sertlik=48 HRc,
- d)  $V=130$  m/min,  $f_z=0,15$  mm/ tooth, sertlik=48 HRc

T2 kesici takımı ile M3 malzemesinde yapılan deneylerde ise Şekil 5.30'da da görüldüğü gibi, 0.05 mm/tooth ilerleme değerinin 70 m/min ve 90 m/min kesme hızı değerlerinde aşınma az olurken (0.06 mm ve 0.1 mm) 110 m/min ve 130 m/min kesme hızı değerlerinde, kesici takımın ömrünü tamamladığı görölmüştür.



Şekil 5.30. T2 kesici takım ile M3 malzemesinin işlenmesindeki takım aşınmaları

0.1 mm/tooth ile 0.15 mm/tooth ilerleme değerlerinde ise deneyler tamamlanmadan (yaklaşık 10-15 mm kesme boyunda) kesici takımların ömrünü tamamladığı görülmüştür. Ayrıca kesme hızının artışı ile kesici takımlarda aşınmanın arttığı gözlenmiştir. Resim 5.3'te T2 takımı ile yapılan bazı deneylerden alınmış kesici takım resimleri verilmiştir.



Resim 5.3. T2 kesici takımların kesme kenarlarının görüntüleri  
a)  $V=130$  m/min,  $f_z=0,05$  mm/tooth, sertlik=56 HRc,  
b)  $V=110$  m/min,  $f_z=0,1$  mm/ tooth, sertlik=56 HRc



T1 ve T2 takımları aşınma açısından kıyaslanacak olursa, T1 takımında sadece M3 malzemesinde kesme şartlarının en ağırı olan 0.15 mm/tooth ilerlemede 130 m/min kesme hızında takım aşınmasının olduğu bunun dışındaki kesme şartlarında hiçbir aşınmanın olmadığı görülmüştür. T2 takımında ise M1 malzemesinde takım aşınması olmazken, M2 malzemesinin 0.15 mm/tooth ilerleme değerinin yüksek kesme hızlarında az aşınma görülürken, M3 malzemesini işlemede ise 0.05 mm/tooth ilerleme değerinde 130 m/min kesme hızında takım ömrünü tamamlarken düşük kesme hızlarında aşınma az olmuştur (Şekil 5.30). Yine T2 takımı ile M3 malzemesini işlemede, 0.1 mm/tooth ve 0.15 mm/tooth ilerleme değerlerinin tüm kesme hızlarında takımın ömrünün tamamladığı görülmüştür.

T1 ve T2 takımları arasındaki bu aşınma durumlarını, T1 takımının geometrisi sayesinde kesme kenarının uzun olması ve kesme işleminde oluşan basıncın daha geniş bir alana yayılması ile daha başarılı olduğunu söylemek mümkündür. T2 takımında ise kesme kenarının daha kısa olması ve oluşan basıncın daha küçük alana yayılması ile takımda aşırı yüklerin takımı aşındırarak takım ömrünü tamamladığı ile açıklamak mümkündür.

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada; AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin freze tezgahında, TiAl+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+ZrN kaplamalı birbirinden farklı geometrilere sahip iki karbür takımla işlenmesinde, kesme parametrelerinin kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla deneyler yapılmıştır. Deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Kesme kuvvetlerinde en düşük değer, M1 malzemesinde ilerlemenin en düşük 0.05 mm/tooth olduğu ve kesici takım için tavsiye edilen kesme hızının 100 m/min değerinde elde edilmiştir. Aynı şekilde en büyük kesme kuvveti değeri de, en ağır kesme şartı olan 0.15 mm/tooth ilerleme ve 130 m/min kesme hızı değerinde elde edilmiştir.
- Her üç malzeme içinde, artan kesme hızı değerlerinde azalan kesme kuvvetleri oluşurken, artan ilerleme değerlerine paralel olarak artan kesme kuvvetleri elde edilmiştir.
- Kesici takımların geometrilerinden dolayı, T1 kesici takımda Z yönündeki kesme kuvveti T2 kesici takımın Z yönündeki kesme kuvvetinden daha büyük çıkmıştır.
- Oluşan kesme kuvvetleri malzeme bazında sıralandığında, en düşük kesme kuvvetleri, sertliği en az olan M1 malzemesinde oluşurken, en büyük kesme kuvvetleri en sert M3 malzemesinde oluşmuştur. Ayrıca, 70 m/min kesme hızında malzeme grupları arasındaki artış oranı birbirine yakın olurken, diğer kesme hızlarında M2 ve M3 malzemelerindeki kuvvetler birbirine çok yakın ve M1'deki kuvvetlerden belirgin derecede farklı olmuştur.

- Deneylemler sonucunda, ilerleme miktarının yüzey pürüzlülüğü üzerinde en önemli parametre olduğu görülmüştür. T1 kesici takımında, en düşük yüzey pürüzlülük değeri 0.05 mm/tooth değeri elde edilirken en büyük pürüzlülük değeri 0.15 mm/tooth değeri elde edilmiştir.
- Artan ilerleme miktarlarına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü değerlerinin de arttığı görülmüştür. En iyi yüzey pürüzlülük değeri T1 takımında (0.098  $\mu\text{m}$ ) M1 malzemesinde 90 m/min kesme hızında 0.05 mm/tooth ilerleme değeri elde edilirken en kötü yüzey pürüzlülük değeri ise M2 ve M3 malzemelerinde 130 m/min kesme hızında 0.15 mm/tooth ilerleme değerlerinde elde edilmiştir. T2 takımında en iyi yüzey pürüzlülük değeri 70 m/min kesme hızında, 0.05 mm/tooth ilerleme değeri elde edilirken, en kötü yüzey pürüzlülük değeri M2 ve M3 malzemesinde 0.15 mm/tooth ilerleme değeri 130 m/min kesme hızında oluşmuştur.
- 0.05 mm/tooth ve 0.1 mm/tooth ilerleme değerlerindeki yüzey pürüzlülük değerleri her üç malzeme de birbirine çok yakın çıkmış iken 0.15 mm/tooth ilerleme değerlerindeki pürüzlülük değerleri arasında fark olduğu görülmüştür. 0.05 mm/tooth ilerleme değeri tüm kesme hızlarında her üç malzeme için oldukça iyi yüzey kaliteleri (0.098-0.149  $\mu\text{m}$ ) oluşurken, en yüksek ilerleme değeri olan 0.15 mm/tooth ilerlemede yüzey kalitesi orta değerlerde (0.196-0.473  $\mu\text{m}$ ) oluşmuştur.
- Her üç malzemenin aynı ilerleme ve aynı kesme hızı değerlerindeki yüzey pürüzlülük değerleri birbirlerine oldukça yakın çıkmıştır. Yalnızca, işleme şartlarının zorlandığı 0.15 mm/tooth ilerleme ve 130 m/min kesme hızında malzeme gurupları arasındaki pürüzlülük değerleri birbirinden biraz daha farklı çıkmıştır.

- Her bir kesme hızında oluşan yüzey pürüzlülük değerlerine bakıldığında, kesme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerinde çok az etkiye sahip olduğu görülmüştür. Kesme hızının etkisinin az olması, takımlarda hıza bağlı aşınmanın olmamasındandır.
- T1 kesici takımla yapılan deneylerde yüzey pürüzlülükleri, T2 kesici takımla yapılan deneylere nazaran daha iyi çıkmıştır.
- Kullanılan T1 kesici takımları, takım firması tarafından tavsiye edilen kesme parametreleri içinde (100 m/min kesme hızı, 0.08-0.1 mm/tooth ilerlemede) oldukça iyi performans göstermiş ve takım aşınması gözlenmemiştir. Ancak; T2 kesici takımlarında ise M1 ve M2 malzemelerinde aşınma az gözlenmiş, en sert olan M3 malzemesinde ise, yüksek ilerleme ve yüksek kesme hızlarında işlemeye başlar başlamaz kesici takım aşınarak ömrünü tamamladığı gözlenmiştir.
- Tavsiye edilen kesme parametrelerin üzerine çıkılmasına rağmen T1 takımlarında aşınma görülmemiş ancak deney şartlarının en ağır olduğu 0.15 mm/tooth ilerleme ile 130 m/min kesme hızı değerinde kesici kenarda ani kırılma görülmüştür.
- Yapılan deneyler sonucunda, yeni geometriye sahip P26339 R10 kodlu TiAl+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+ZrN kaplı karbür kesici takımlar için ısıtılma işlem görmemiş (21 HRc) ve ısıtılma işlem görmüş (48-56 HRc) AISI D2 malzemesini işlemede ideal kesme hızı değeri 90-110 m/min ve ideal ilerleme 0.05-0.1 mm/tooth olarak tavsiye edilebilir.
- Deneyler sonucunda, T1 kesici takımlarının (P26339 R10), T2 kesici takımlarına (ADMT 120408R-F56) göre sert malzemeleri işlemedeki performansının çok daha iyi olduğu ve T1 kesici takımlarda yanak

aşınmasının olmadığı şartlarda T2 kesici takımın ömrünü bir deneyde tamamladığı görülmüştür. Bu sebeple, sertleştirilmiş malzemeleri işlemede yeni geometriye sahip T1 takımları tavsiye edilebilir.

Yapılan deneyler sonucu bundan sonraki çalışmalara ışık tutması açısından şu tavsiyeler yapılabilir;

- Bundan sonra, P26339 R10, ADMT 120408R-F56 kodlu TiAl+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+ZrN kaplamalı kesici takımlardaki aşınmanın daha net gözlemlenmesi için aynı kesme şartlarındaki deney sayıları artırılıp takım aşınmaları daha detaylı araştırılabilir.
- Bu çalışmada kullanılan kesici takımların dışında farklı geometrilere sahip kesici takımlar ile AISI D2 Soğuk İş Takım Çeliği malzemesinin işlenebilirliği araştırılabilir.
- AISI D2 soğuk iş takım çelik malzemelerinin farklı frezeleme yöntemleriyle işlenebilirliği incelenebilir.

## KAYNAKLAR

1. Gezgin, A., “Prizmatik parçaların frezelenmesi esnasında kesici uç sayısının takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğü açısından değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-87 (2007).
2. İpekçioğlu, N., “Frezecilik”, *Milli Eğitim Basımevi*, İstanbul, 1–3 (1984).
3. Akkurt, M., “Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları”, *Birsen Yayınevi*, İstanbul, (1992).
4. Çolak, O., “CNC freze tezgahı için kesme parametrelerinin akıllı yöntemlerle elektronik ortamda optimizasyonu”, Doktora Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta 1-5 (2006).
5. DeGarmo, E.P., Black, J.T., Kohser, R.A., *Materials and Processes in Manufacturing, Prentice-Hall Inc.*, New Jersey, A.B.D., 214-652 (1997).
6. Uçun, İ., Aslantaş, K., “Sertleştirilmiş 52100 takım çeliğinin tornalanmasında karbürlü kesici takımın performansının araştırılması”, *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu*, (2009).
7. Oliveira, C.K.N. , Casteletti, L.C. , Lombardi, N. A., Totten, G.E.D., Heck, S.C., “Production and characterization of boride layers on AISI D2 tool steel”, *Vacuum 84*, 792–796 (2010).
8. Sohar, Ch.R., Betzwar-Kotas A., Gierl, Ch., Weiss, B., Danninger, H., “Gigacycle fatigue fractography of cold work tool steels produced by pm compared to ingot metallurgy”, *Powder Metallurgy Progress*, 8(3) (2008).
9. Gaitonde, V.N., Karnik, S.R., Figueira, L., Paulo, Davim J., “Machinability investigations in hard turning of AISI D2 cold work tool steel with conventional and wiper ceramic inserts”, *Int. Journal of Refractory Metals & Hard Materials*, 27: 754–763 (2009).
10. Jeong, Y.G., Kang, M.C., Kim, J.S., Kim, K.H., Kim, W.G., Park, I.D., Jun, Y.H., “Mechanical behavior and cutting performance of nano-multi- coated tools for high-speed machining of AISI D2 die steel”, *Current Applied Physics*, 9: 272–275 (2009).
11. Arsecularatne, J.A., Zhang, L.C., Montross, C., Mathew, P., “On machining of hardened AISI D2 steel with PCBN tools”, *Journal of Materials Processing Technology*, 171: 244–252 (2006).
12. Zeyveli, M., Demir, H., Ulaş, H.,B, Güllü, A., “Orvar supreme sıcak iş takım çeliğinin işlenebilirliğinin incelenmesi”, *Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu*, Karabük, 13-15 (2009).

13. Boy, M., Demir, H., Korkut, İ., “Vanadis 10 soğuk iş takım çeliğinin işlenmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi”, **5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu**, Karabük, 13-15 (2009).
14. Zeyveli, M., Demir, H., “AISI H13 sıcak iş takım çeliğinin işlenmesinde yüzey pürüzlülüğünün deneysel incelenmesi”, **Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, 25: (1-2) 251 - 261 (2009).
15. Koshy, P., Dewes, R.C., Aspinwall, D.K., “High speed end milling of hardened AISI D2 tool steel”, **Journal of Materials Processing Technology**, 127: 266–273 (2002).
16. Ghani, J.A., Choudhury, I.A., Masjuki, H.H., “Wear mechanism of TiN coated carbide and uncoated cermets tools at high cutting speed applications”, **Journal of Materials Processing Technology**, 153–154: 1067–1073 (2004).
17. Aslan, E., Camuşçu, N., “Sertleştirilmiş AISI D3 takım çeliğinin CBN parmak freze ile yüksek hızda işlenmesi”, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi**, 18(3): 453-458 (2005).
18. 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: 67-75 (1999).
19. 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: 81-88 (1984).
20. Kim, H.S., Ehmann, K.F., “A Cutting force model for face milling operations”, **International Journal of Machine Tools Manufacturing**, 33(5): 651-673 (1993).
21. 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 and Manufacture**, 40: 4014-414 (2000).
22. 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: 244-249 (2001).
23. 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: 2-9 (2001).
24. 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”, **Journal of Machine Tools and Manufacture**, 39: 2003-2018 (1999).

25. Bouzid Sai., W. Ben Salah, N., Lebrun, J.L., “Influence of machining by finishing milling on surface characteristics”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 41: 443–450 (2001).
26. 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 and Manufacture*, 42: 1649–1655 (2002).
27. Çakır, M.C., “Modern Talaşlı İmalatın Esasları”, *Vipaş A.Ş.*, Bursa, 216-285 (1999).
28. Serfiçeli, Y. S., “Malzeme Bilgisi”, *Milli Eğitim Basımevi*, İstanbul (2000).
29. Erdoğan, M., “Mühendislik Alaşımalarının Yapı ve Özellikleri 1. Cilt”, *Nobel Yayın Dağıtım*, 265-274 (2000).
30. Demirok, S., “Çeliklerin farklı sertlik oranlarında işlenebilirliklerinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gebze, (2008).
31. Topbaş, M. Ali, “Çelik ve Isıl İşlem El Kitabı”, *Ekim Ofset*, İstanbul, (1998).
32. Fischer, U., “Metal Meslek Bilgisi”, *Milli Eğitim Bakanlığı Yayınevi*, Ankara, (1995).
33. Tabur, M., “Farklı ısı işlemlerdeki 8620 sementasyon çeliğinin abrasiv aşınma davranışları”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (2003).
34. Tuncer, E., “Aşınmaya dayanıklı çelikler ile genel yapı çeliğinin kaynağında birleşme özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2006).
35. Erdoğan, M., “Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri Cilt 1” *Nobel Yayın Dağıtım*, Ankara, 320 (2000).
36. Akkurt, M., “Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları”, *Birsen Yayınevi*, İstanbul, Türkiye, (1998).
37. Kulaksız, Ö., Çakır, Ö., Ulusoy, O., “Metal Meslek Bilgisi”, *Milli Eğitim Bakanlığı Yayınları 2918*, Ankara, Türkiye, (1995).
38. Çiftçi, K., “Mikroalaşımli çeliklerin frezelenmesinde kesme parametrelerinin talaşlı işlenebilirliğe etkisinin incelenmesi” Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul 10-15 (2005).



39. Geçol, M, E., “CNC dik işleme merkezlerinde ısı işleme hatalarının iş parçası CAD modeli revizyonu ile düzeltilmesi” Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri 24-28 (2007).
40. Dursun, M.,” Titanyum ve inconel 718 malzemelerinin frezelenmesinde takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğünün araştırılması” Yüksek Lisans Tezi, *Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü*, Gebze, 27-34 (2007).
41. Gökçe, B., “Çeliklere uygulanan ısı işlemlerin otomasyonu için bir mekatronik sistem tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Afyon, 8-14 (2004).
42. Evran, S., “Tel erozyon tezgahında 1.2379(cppu) kesme kalıp çeliğinin işlenmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve elektro deşarj aralığına etkisinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 51-54 (2009).
43. İnem, B., “Çeliklerin ısı işleme ve çelik türleri ile ilgili bilgisayar yazılımlı”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 20-30 (1988).
44. Elieyioğlu, S., “Çeliklerin ısı işlem altında gösterdiği yapısal değişikliklerin taramalı elektron mikroskobu (sem) ve mössbauer spektroskopisi ile incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kırıkkale, 18-20 (2005).
45. Özçatalbaş, Y., “1050,4140,8620 Çeliklerinin ısı işleme ile değişen mikroyapı ve mekanik özelliklerine bağlı işlenebilirlikleri”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 25-40 (1996).
46. Tekaüt, İ., “Takım tezgahlarındaki kesici takım titreşiminin yüzey pürüzlülüğüne etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 35-40 (2008).
47. Kılıçkap, E., “Al Si7 Mg2/SiCp metal matrisli kompozitlerin talaşlı işlemlerinin araştırılması”, Doktora Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 53-56 (2003).
48. Özlü, B., “Mikro alaşımlı çeliklerin mikro yapısını değiştirerek işlenebilirliğinin incelenmesi”, Bilim Uzmanlığı Tezi, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Zonguldak, (2007).
49. Saraçoğlu, M.H., “D2 Çeliğinden üretilmiş ve değişik şartlarda plazma nitrürlenmiş zimbaların aşınma davranışının incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa, 20-30 (2007).
50. Walter Kesici Takım kataloğu, 2010 Ankara.

51. Çakır, M.C., “Modern talaşlı imalat yöntemleri”, *Vipaş A.Ş, Bursa*, Türkiye, 350-390 (2000).
52. Zuperl, U., Cus, F., “Tool cutting force modeling in ball-end milling using multilevel perceptron”, *Journal of Materials Processing Technology*, 153–154, (2004).

**EKLER**

EK-1. AISI D2 Malzeme Sertifikasi

13 07 10 12:02

ÖZKA METAL

03123854810

p. 1

WERKSZEUGNIS  
TEST REPORT/RELEVÉ DE CONTROLE  
nach/eccording to/norm EN 10204-2.2



ISO 9001  
No. 001  
No. 001  
No. 001  
01.06.25  
01/01  
13/2AV

Bestellen/Purchase/Commande  
ÖZKELİK TICARET LTD. STİ.

NUMERKAG CAD NO. 9/D  
TR-34020 BAYRAMPAŞA/İSTANBUL  
TUERKEI

Bestell-Nr./Purchase's Order No./No. de commande  
201028

Unsere Auftrags-Nr./Mater's Order No./No. de commande d'envoi  
911.773/TR vom 01.04.17/01/ Lieferchein/Delivert nach d'no. d'expedition  
50/041.829/ vom 01.06.18

Prüfgegenstand/Objekt of tests/Objekt d'examen  
BOEHLER K110 W-NR. 1.2379  
STREIFEN MAX. 235 HB, GESTRAHLT  
ERZEUGNISSE 5000 - 4000 MM

Umfang der Lieferung/Volumen of delivery/Quantité livrée

04 = 40.00 = 40.00 MM  
50 x 40.00 MM  
50 x 40.00 MM

Gewicht/Mass/Masse  
214.00 F74989

Chemische Zusammensetzung/Chemical Composition/Composition chimique (%)

Schmelze Melt No. No. de coulée	C	SI	MN	P	S	CR	MO	V
F74989	1,55	0,34	0,22	0,018	0,001	11,68	0,73	0,95

Mechanische Eigenschaften/Mechanical Properties/Caractéristiques mécaniques

Prüf-Nr  
Test No.  
Epreuve  
04

Haerte/  
Brinell  
0229-0229

Erschmelzungsart/Smelting Process/Procédé d'acidation: EAP

BOHLER  
INTERNATIONAL GMBH

ÖZKA  
MET. SAN. TIC. LTD. STİ.  
Caddesi No. 19 Ostim-ANKARA  
06108 ANKARA TÜRKİYE

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ŞİRİN, Emine  
Uyruğu : T.C.  
Doğum tarihi ve yeri : 10.01.1984 Konya  
Medeni hali : Evli  
Telefon : 0 (380) 731 40 05 / 7711  
Faks : 0 (380) 731 31 24  
e-mail : [eminesirin@duzce.edu.tr](mailto:eminesirin@duzce.edu.tr)

### Eğitim Derece

Eğitim Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Gazi Üniversitesi/ Makine Eğitimi Bölümü	2007
Lise	Of H.M.B Ulusoy A.M.L.	2002

### İş Deneyimi Yıl

Yıl	Yer	Görev
2010-...	Düzce Üniversitesi	Öğretim Görevlisi

### Yabancı Dil

İngilizce

### Hobiler

Tasarım programları, doğa gezileri, seyahat