

**PRİZMATİK PARÇALARIN FREZELENMESİ ESNASINDA, KESİCİ
UÇ SAYISININ TAKIM ÖMRÜ VE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ
AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ**

Akın GEZGİN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**OCAK 2007
ANKARA**

Akın GEZGİN tarafından hazırlanan PRİZMATİK PARÇALARIN FREZELENMESİ ESNASINDA, KESİCİ UÇ SAYISININ TAKİM ÖMRÜ VE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Hakan DİLİPAK
Tez Yöneticisi

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

Başkan : Prof. Dr. Mahmut GÜLESİN

Üye : Prof. Dr. Mahmut İZCİLER

Üye : Prof. Dr. Ulvi ŞEKER

Üye : Doç. Dr. İbrahim USLAN

Üye : Yrd. Doç. Dr. Hakan DİLİPAK (Danışman)

Tarih : 23.01.2007

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

TEZ BİLDİRİMİ

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

Akın GEZGİN

**PRİZMATİK PARÇALARIN FREZELENMESİ ESNASINDA, KESİCİ UÇ
SAYISININ TAKIM ÖMRÜ VE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ AÇISINDAN
DEĞERLENDİRİLMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

Akın GEZGİN

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Ocak 2007**

ÖZET

Bu çalışmada, AISI D3 soğuk iş takım çeliğın CNC dik işleme merkezinde, kaplamalı karbür takımlarla işlenmesinde, kesici uç sayısı, kesme hızı ve ilerleme miktarının, takım ömrü, kaldırılan talaş hacmi ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda yapılan deneysel çalışmalar iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada, yüksek kesme hızlarının kullanıldığı işlenebilirlik deneylerinde talaş kaldırma parametreleri ve kesici takım uç sayısının takım ömrü ve kaldırılan talaş hacmi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Takım ömrü, yan kenar aşınması (VB) dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Ayrıca, elektron tarama mikroskobu (SEM) kullanılarak aşınan takımların aşınma davranışları belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışmanın ikinci aşamasında ise ortalama yüzey pürüzlülük değeri (Ra) ölçülmüştür. Bu amaçla yapılan deneylerde ideal kesme hızları kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda kesici uç sayısı, kesme hızı ve ilerleme miktarının artmasıyla takım ömrünün azaldığı belirlenmiştir. Diğer taraftan kesici uç sayısı ve ilerleme miktarının artmasıyla kaldırılan talaş hacmi de artarken, yüksek kesme hızı değerlerinin seçilmesiyle azalmıştır. SEM incelemeleri sonucunda yanak aşınmasının kesici takımdaki hâkim aşınma tipi olduğu görülmüştür. Yüzey pürüzlülük değerleri, kesici uç sayısı ve ilerleme miktarının artmasıyla artarken, kesme hızının önemli bir etkisi gözlenmemiştir.

Yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili parametreler sırasıyla kesici uç sayısı, ilerleme miktarı ve kesme hızı olmuştur.

Bilim Kodu : 708.3.028
Anahtar Kelimeler : Frezeleme, Takım aşınması, Takım ömrü, Kaldırılan talaş hacmi, Yüzey pürüzlülüğü, Kesici uç sayısı
Sayfa Adedi : 112
Tez Yöneticisi : Yrd. Doç. Dr. Hakan DİLİPAK

**EVALUATION OF CUTTER INSERT NUMBER FOR TOOL LIFE
AND SURFACE ROUGHNESS DURING
MILLING OF PRISMATIC PARTS
(M. Sc. Thesis)**

Akın GEZGİN

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
January 2007**

ABSTRACT

In this study, effect of cutter insert number, cutting speed and feed rate on tool life, removed chip volume and surface roughness was aimed to investigate when AISI D3 cold work tool steel was machined with coated carbide tools on a CNC vertical machining center. Tests were performed in two steps. In the first step, effects of the chip removing parameters and cutter tool insert numbers on tool life and removed chip volume were investigated in machinability tests using of high cutting speeds. Tool life has been calculated taking into account of flank wear (VB). In addition, wear behaviors were tried to determine using electron scanning microscope (SEM). In the second step, Ra surface roughness was measured. Ideal cutting speeds was used at surface roughness tests. As a result of tests, decreasing of tool life was determined when cutter insert number and feed rate increased. On the other hand, chip volume increased with increasing feed rate and number of inserts and it decreased with increasing cutting speeds. As a result of SEM investigations, flank wear was seen as dominant wear was type on cutter tool.

Surface roughness values increased with increasing cutter insert number and feed rate but an important effect of cutting speed wasn't observed. The most effective parameters on surface roughness are respectively cutter insert number, feed rate and cutting speed.

Science Code	: 708.3.028
Key Words	: Milling, Tool wear, Tool life, Removed chip volume, Surface roughness, Number of inserts
Page Number	: 112
Adviser	: Assoc. Prof. Dr. Hakan DİLİPAK

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren hocam Yrd. Doç. Dr. Hakan DİLİPAK'a, yine kıymetli tecrübelerinden faydalandığım hocam Prof. Dr. Ulvi ŞEKER'e ve Dr. Ali Rıza MOTORCU'ya, Anabilim dalındaki CNC tezgâhında deneylerin yapılmasına izin veren Talaşlı Üretim Anabilim Dalı Başkanlığına deneysel çalışmalarda yardımlarını esirgemeyen Emre ALTINKAYA'ya, ayrıca maddi ve manevi katkılarından dolayı aileme, manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan çok değerli arkadaşlarım Kemal YILMAZ ve Murat GÜRBÜZOĞLU' na teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	xiii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xiv
RESİMLERİN LİSTESİ	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xviii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	5
2.1. Takım Ömrü ve Takım Aşınması Üzerine Yapılan Çalışmalar	5
2.2. Yüzey Pürüzlülüğü Üzerine Yapılan Çalışmalar	17
3. KURAMSAL TEMELLER	24
3.1. Frezeleme	24
3.2. Frezelemede Talaş Kaldırmayı Etkileyen Faktörler	25
3.3. Frezelemede Talaş Kaldırma Parametreleri	26
3.3.1. Kesme hızı	26
3.3.2. İlerleme hızı	27
3.3.3. Talaş derinliği	28
3.4. Frezede Kesici Uç Sayısının Belirlenmesi	28
3.5. Frezelemede İşleme Süresi	29
3.6. Yüksek Hızda İşleme (YHİ)	31

Sayfa

3.7. Takım Ömrü	32
3.8. Takım Aşınması	33
3.9. Takım Aşınma Mekanizmaları	33
3.9.1. Sürtünme ile aşınma (abrasiv aşınma)	34
3.9.2. Difüzyon ile aşınma	34
3.9.3. Oksidasyon aşınması	35
3.9.4. Yorulma ile aşınma	35
3.9.5. Adhesiv aşınma	36
3.10. Takım Aşınma Tipleri	36
3.10.1. Yan yüzey aşınması	37
3.10.2. Krater aşınması	37
3.10.3. Plastik deformasyon	38
3.10.4. Çentik aşınması	38
3.10.5. Termal çatlaklar	39
3.10.6. Mekanik yorulma çatlakları	39
3.10.7. Çıtlama (Çentiklenme)	40
3.10.8. Kırılma	40
3.10.9. Yığılma- sıvanma (BUE)	41
3.11. Takım Ömrü Standardı	42
3.12. Kaldırılan Talaş Hacmi	44
3.13. İmalatta Yüzey Pürüzlülüğü	45
3.14. Yüzey Pürüzlülüğü	45
3.15. Yüzey Pürüzlülüğünün Ölçümü ve Gösterimi	46

Sayfa

3.15.1. Ortalama yüzey pürüzlülüğü, R_a	47
3.15.2. Profilin karelerinin ortalamasının karekökü, R_q	48
3.15.3. Profildeki iki noktanın yüksekliği, R_y	48
3.15.4. Profilin maksimum yüksekliği, R_z ve maksimum tepe yüksekliği, R_p	49
3.15.5. Profilin toplam yüksekliği, R_{max}	50
3.15.6. Profil elemanlarını genişliğinin ortalaması, R_{sm}	50
3.16. Yüzey Pürüzlülüğünde Kullanılan Standartlar.....	50
3.17. Sinterlenmiş Karbür Uçlar.....	52
4. MALZEME VE YÖNTEM	55
4.1. Malzeme	55
4.1.1. Deney malzemesi	55
4.1.2. Deney numunelerinin hazırlanması.....	56
4.1.3. Kesici takım ve freze başlığı	56
4.1.4. Takım tezgâhı	57
4.2. Yöntem	58
4.2.1. Takım ömrü deneyleri	58
4.2.2. Yüzey pürüzlülük deneyleri	60
4.2.3. Takım aşınmalarının incelenmesi.....	62
5. DENEYSEL BULGULAR VE DEĞERLENDİRME.....	63
5.1. Kesme Şartlarının Takım Ömrü Üzerindeki Etkisi	63
5.1.1. Kesici uç sayısının takım ömrü üzerindeki etkisi.....	63
5.1.2. Kesme hızının takım ömrü üzerindeki etkisi.....	72

Sayfa

5.1.3. İlerleme miktarının takım ömrü üzerindeki etkisi.....	74
5.2. Kesme Şartlarının Kaldırılan Talaş Hacmi Üzerindeki Etkisi	76
5.2.1. Kesici uç sayısının kaldırılan talaş hacmi üzerindeki etkisi.....	77
5.2.2. Kesme hızının kaldırılan talaş hacmi üzerindeki etkisi.....	78
5.2.3. İlerleme miktarının kaldırılan talaş hacmi üzerindeki etkisi.....	79
5.2.4. Takım ömrü ve kaldırılan talaş hacminin genel değerlendirmesi	80
5.3. Takım Aşınmalarının İncelenmesi	84
5.4. Yüzey Pürüzlülük Değerlendirmeleri.....	85
5.4.1. Kesici uç sayısının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi	86
5.4.2. Kesme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi	88
5.4.3. İlerleme miktarının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi	90
5.4.4. Yüzey pürüzlülüğünün genel değerlendirmesi	90
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	95
6.1. Sonuç	95
6.2. Öneriler.....	99
KAYNAKLAR	101
EKLER.....	105
EK- 1. Takım ömrü deneylerinde kullanılan deney yaprağı	106
EK- 2. Yüzey pürüzlülük deneylerinin sonuçları.....	107
EK- 3. Freze takımı giriş ve çıkış uzaklıkları	109
EK- 4. Takım ömrü deneyleri için CNC programı	110
EK- 5. Yüzey pürüzlülüğü deneyleri için CNC programı.....	111
ÖZGEÇMİŞ	112

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Takım ömrü ve takım aşınması üzerine yapılan çalışmaların genel değerlendirmesi	13
Çizelge 2.2. Yüzey pürüzlülüğü üzerine yapılan çalışmaların genel değerlendirmesi	21
Çizelge 3.1. Aşınma mekanizmalarından kaynaklanan aşınma tipleri	36
Çizelge 3.2. ISO 8688-1'e göre takım ömrü belirleme kriterleri	43
Çizelge 3.3. Rsm için standart örnekleme ve değerlendirme uzunlukları.....	51
Çizelge 3.4. Ra ve Rq için standart örnekleme ve değerlendirme uzunlukları	51
Çizelge 3.5. Rz, Rt ve Rp için standart örnekleme ve değerlendirme uzunlukları	51
Çizelge 3.6. Bazı karbürlerin özellikleri	52
Çizelge 4.1. AISI D3 soğuk iş takım çeliğinin kimyasal bileşimi (Ağırlıkça %)	56
Çizelge 4.2. Kesici takım ve uç geometrisi.....	57
Çizelge 4.3. Takım ömrü deneyleri için belirlenen kesme parametreleri ve değerleri	59
Çizelge 4.4. Yüzey pürüzlülük deneyleri için belirlenen kesme parametreleri ve değerleri.....	61
Çizelge 4.5. Yüzey pürüzlülük cihazının özellikleri	62
Çizelge 5.1. Farklı kesme şartlarında ulaşılan takım ömrü ve kaldırılan talaş hacimleri	81
Çizelge 5.2. Yüzey pürüzlülük değerleri.....	92

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Sıkıştırılmış hava soğutucusunun şematik gösterimi	8
Şekil 2.2. ADKT 1035 PDSRLC ucun geometrisel şekli	8
Şekil 2.3. Yüzey frezeleme (a) Simetrik frezeleme, (b) Asimetrik frezeleme	12
Şekil 2.4. Yuvarlak uçlu kesici takımlarla yüzey frezeleme operasyonlarında radyal (ϵ_{ri}) ve eksenel kaçıklar (ϵ_{ai})	20
Şekil 3.1. Yüzey frezeleme işlemi	25
Şekil 3.2. Uç sayısına göre freze başlığı çeşitleri (a) Seyrek yerleştirmeli, (b) Sık yerleştirmeli, (c) Çok sık yerleştirmeli	29
Şekil 3.3. Alın frezelemede tablo hareket boyu	30
Şekil 3.4. Metallerin işlenmesi sırasında oluşan temel aşınma mekanizmaları (a) Abrasiv, (b) Difüzyon, (c) Oksidasyon, (d) Yorulma, (e) Adhesiv	34
Şekil 3.5. Karbür takımlarda krater oluşumu ve difüzyon mekanizması	35
Şekil 3.6. Bazı takım aşınma tiplerinin kesici takımdaki yeri	41
Şekil 3.7. Kesme işlemine etki eden faktörler	45
Şekil 3.8. Yüzey kalitesini tayin eden faktörler	46
Şekil 3.9. Ortalama yüzey pürüzlülüğü, R_a	47
Şekil 3.10. Profilin karelerinin ortalamasının karekökü, R_q	48
Şekil 3.11. Profildeki iki noktanın yüksekliği, R_y	49
Şekil 3.12. Profilin tepe ve maksimum yükseklikleri	49
Şekil 3.13. Profil elemanlarını genişliğinin ortalaması, R_{sm}	50
Şekil 3.14. Sert tanecik (WC) ve bağlayıcı metal (Co) yüzdesindeki değişmeye bağlı olarak sert metal uçların bazı özelliklerindeki değişmeler	53
Şekil 4.1. İşleme esnasında iş parçası ve takımın pozisyonu	57
Şekil 4.2. Yüzey pürüzlülük deneyi yapılan iş parçası	61

Şekil	Sayfa
Şekil 5.1. $V_c=416$ m/min farklı ilerleme miktarı ve değişik sayıdaki uçlarla frezelemede, işleme süresine bağlı olarak yan kenar aşınmasının değişimi (a) $f_z=0,08$ mm/z, (b) $f_z=0,1$ mm/z, (c) $f_z=0,125$ mm/z.....	65
Şekil 5.2. 416 m/min kesme hızında, ilerleme miktarına bağlı olarak uç sayısının takım ömrü üzerindeki etkisi	67
Şekil 5.3. $V_c=500$ m/min, farklı ilerleme miktarında ve değişik sayıdaki uçlarla frezelemede, işleme süresine bağlı olarak yan kenar aşınmasının değişimi (a) $f_z=0,08$ mm/z, (b) $f_z=0,1$ mm/z, (c) $f_z=0,125$ mm/z.....	68
Şekil 5.4. 500 m/min kesme hızında, ilerleme miktarına bağlı olarak kesici uç sayısının takım ömrü üzerindeki etkisi	70
Şekil 5.5. $V_c=600$ m/min, farklı ilerleme miktarında ve değişik sayıdaki uçlarla frezelemede, işleme süresine bağlı olarak yan kenar aşınmasının değişimi (a) $f_z=0,08$ mm/z, (b) $f_z=0,1$ mm/z, (c) $f_z=0,125$ mm/z.....	71
Şekil 5.6. 600 m/min kesme hızında, ilerleme miktarına bağlı olarak kesici uç sayısının işleme süresi üzerindeki etkisi	72
Şekil 5.7. Farklı uç sayısı ve ilerleme miktarında kesme hızına bağlı olarak takım ömrünün değişimi (a) $f_z=0,08$ mm/z, (b) $f_z=0,1$ mm/z, (c) $f_z=0,125$ mm/z.....	73
Şekil 5.8. Kesme hızına bağlı olarak takım ömrünün değişimi	74
Şekil 5.9. Farklı uç sayısı ve kesme hızında ilerleme miktarına bağlı olarak takım ömrünün değişimi (a) $V_c=416$ m/min, (b) $V_c=500$ m/min, (c) $V_c=600$ m/min	75
Şekil 5.10. İlerleme miktarının takım ömrü üzerindeki etkisi	76
Şekil 5.11. $V_c=600$ m/min ve $f_z=0,125$ mm/z olarak belirlenen kesme şartlarında kaldırılan talaş hacmine bağlı olarak yan kenar aşınmasının değişimi	78
Şekil 5.12. Kesici uç sayısının kaldırılan talaş hacmi üzerindeki etkisi	78
Şekil 5.13. Kesme hızına bağlı olarak kaldırılan talaş hacminin değişimi	79

Şekil	Sayfa
Şekil 5.14. İlerleme miktarına bağlı olarak kaldırılan talaş hacminin değişimi.....	80
Şekil 5.15. Kesme hızında bağlı olarak işleme zamanının ve kaldırılan talaş hacminin değişimi (a) Kesme hızı-takım ömrü grafiği, (b) Kesme hızı-kaldıran talaş hacmi grafiği.....	82
Şekil 5.16. Kesici uç sayısına bağlı olarak takım ömrü ve kaldırılan talaş hacminin değişimi (a) Uç sayısı-takım ömrü grafiği, (b) Uç sayısı-kaldıran talaş hacmi grafiği	83
Şekil 5.17. İlerleme miktarına bağlı olarak takım ömrü ve kaldırılan talaş hacminin değişimi (a) İlerleme miktarı-takım ömrü grafiği, (b) İlerleme miktarı -kaldıran talaş hacmi grafiği	84
Şekil 5.18. Kaplamalı karbür takımındaki aşınma desenleri (a) $V_c=500$ m/min, $f_z=0,1$ mm/z, $Z=1$ adet, (b) $V_c=416$ m/min, $f_z=0,1$ mm/z, $Z=3$ adet, (c) $V_c=600$ m/min, $f_z=0,128$ mm/z, $Z=6$ adet.....	85
Şekil 5.19. Farklı kesme hızı ve ilerleme miktarlarında kesici uç sayısına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünün değişimi, (a) $V_c=80$ m/min, (b) $V_c=120$ m/min, (c) $V_c=180$ m/min.....	87
Şekil 5.20. Farklı ilerleme miktarında hızlarında kesme hızına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünün değişimi (a) $f_z=0,08$ mm/z, (b) $f_z=0,12$ mm/z, (c) $f_z=0,18$ mm/z.....	89
Şekil 5.21. Farklı kesme hızlarında ilerleme miktarına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünün değişimi (a) $V_c= 80$ m/min, (b) $V_c= 120$ m/min, (c) $V_c=180$ m/min.....	91
Şekil 5.22. Kesme hızı ve ilerleme miktarının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi	92
Şekil 5.23. Kesme hızı ve uç sayısının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi	93
Şekil 5.24. Uç sayısı ve ilerleme miktarının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi	93
Şekil 6.1. Kesme parametrelerinin takım ömrü ve kaldırılan talaş hacmi üzerindeki etkisi	97
Şekil 6.2. Kesme parametrelerinin yüzey kalitesi üzerindeki etkisi	98

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Kesici uçtaki yan kenar aşınması	37
Resim 3.2. Kesici uçtaki krater aşınması	38
Resim 3.3. Kesici uçtaki plastik deformasyon	38
Resim 3.4. Kesici uçtaki çentik aşınması	39
Resim 3.5. Kesici uçtaki termal çatlaklar	39
Resim 3.6. Kesici uçta çentiklenme	40
Resim 3.7. Kesici uçta kırılma	40
Resim 3.8. Kesici uçta BUE oluşması	41
Resim 4.1. AISI D3 soğuk iş takım çeliğinin mikro yapısı	55
Resim 4.2. Johnford VMC–550 CNC dik işleme merkezi	58
Resim 4.3. Yan kenar aşınmasının ölçülmesinde kullanılan vernier bölüntülü optik mikroskop	60
Resim 4.4. MAHR- Perthometer M1 taşınabilir yüzey pürüzlülük cihazı	62

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklama
T_c	Kesici takım ömrü, s
T_h	İşleme süresi, s
V	Kaldırılan talaş hacmi, cm ³
R_a	Ortalama yüzey pürüzlülük değeri, µm
V_c	Kesme hızı, m/min
F	İlerleme hızı, mm/min
f_z	Diş başına ilerleme miktarı, mm/z
a_a	Talaş derinliği, mm
z	Frezenin kesici diş sayısı, adet

Kısaltmalar	Açıklama
YHİ	Yüksek hızda işleme
HRC	Rockwell-C sertlik birimi
BUE	Built Up Edge
SEM	Tarama Elektron Mikroskobu
PVD	Fiziksel buharlaştırma metodu
CVD	Kimyasal buharlaştırma metodu
TiC	Titanyum karbür
TiN	Titanyum nitrür
AlN	Alüminyum nitrür
Al₂O₃	Alüminyum oksit
TiAlN	Titanyum alüminyum nitrür
AISI	Amerikan demir ve çelik enstitüsü

1. GİRİŞ

İmalat sanayinde temel üretim yöntemlerinden birisi de talaşlı imalattır. Talaşlı imalat, gelişen teknolojiyle birlikte, sürekli yeni ve modern işleme tekniklerinin geliştirilmesiyle daha da önem kazanmıştır.

Gelişmiş ülkeler arasındaki aşırı küreselleşme yarışı birçok alanda olduğu gibi, talaşlı imalat sanayiinde de rekabeti arttırmıştır. Bu rekabet ortamı, birçok yeni şirketin ürünlerini daha kaliteli üretmeye ve aynı zamanda üretim maliyetini azaltmaya zorlamaktadır [1].

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 yüzeylerle, vidalar, dişli çarklar ve kanallar, istenilen tamlik derecesinde seri olarak yapılabilir. Freze tezgâhlarında kullanılan kesici takımların birden fazla kesici ağız olduğundan verimleri yüksektir ve iş yüzeyleri kaliteli çıkar. Ancak, bu tezgâhlarda kullanılan kesici takımlar çok pahalı olduğundan üretim maliyeti de artmaktadır [2].

Kesici takımların bu yüksek maliyeti, uygun takım ve doğru kesme şartlarını seçmeyi zorunlu kılmaktadır. Doğru kesici takımın seçimi, işleme sırasında maksimum verimliliğin elde edilmesi için de önemlidir. Bütün kesici takımlar talaş kaldırma işlemleri sırasında aşınır ve bu aşınma, kesici takımın ömrünü tamamlayıncaya kadar devam eder. Takım aşınması kaçınılmazdır. Ancak, bu aşınmanın ne kadar ve hangi tipte olduğu önemlidir. İdeal takım ömrü yaklaşık 15 dakika olarak belirlenmiştir. Daha az takım ömürleri, kesici uç değiştirme sıklığını arttıracığından dolayı işleme süresini de arttıracaktır [3].

Takım ömrü, kesicinin kesme yaparken, kesme özelliğini kaybedene kadar geçen süreye denir. Takım malzemesi, iş parçası malzemesi, kesme hızı, ilerleme miktarı, talaş derinliği, talaş geometrisi gibi faktörler takım ömrünü belirlemektedir. Bunun yanında yüzey kalitesi de takım ömrünün belirlenmesinde önemlidir. Frezeleme işlemi bir bitirme işlemi olmasa da, daha sonraki işlemlere iyi bir geçiş yapmak veya bazı hallerde doğrudan kullanım için, yüzey kalitesinin iyi olması gerekmektedir.

"Her işleme tekniğinin doğrudan veya dolaylı olarak etkilendiği işleme parametreleri vardır. Bu parametrelerin işleme sırasında her birinin ayrı ayrı etkilerinin yanı sıra, birbiriyle de etkileşimi söz konusudur. Eğer, bu parametrelerin ilişkileri iyi bilinmez ve büyüklükleri doğru seçilmezse, yapılacak işlemin sonucu da önceden tahmin edilemeyecektir. El yordamına ve göz kararına bakılarak parametre seçimi, bir önceki ve bir sonraki işleme göre aynı olmayacağından, genellikle farklı sonuçlar elde edilecektir. Bu durum ise, çözülmesi gereken bir problem olarak ortaya çıkmaktadır" [4].

İşleme parametrelerinin en önemlileri hiç şüphesiz kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliğidir. Kesici takım düşük kesme hızlarında çalıştırıldığında, işleme süresi artacağından dolayı çok zaman kaybı olurken, aşırı hızda sürtünme ve ısıdan dolayı çabuk aşınacak ve takımın değiştirilip tekrar takılması da zaman kaybına yol açacaktır. Bu şartlarda, kesilen malzemeler için uygun kesme hızının seçimi gerekir. Bununla birlikte, uygun ilerleme miktarı da önemli olup, düşük ilerleme miktarında frezeleme işlemi çok geç bitecektir. İlerleme miktarı yüksek olduğunda takım kırılabilir veya az talaş derinliği verildiğinde işlemi tamamlamak için birden fazla paso gerekecek ve dolayısıyla bu da daha fazla zaman kaybına neden olacaktır. Bu nedenle, kesme hızı, ilerleme miktarı ve talaş derinliği her frezeleme işleminde dikkate alınması gereken üç faktördür [1].

Talaşlı imalatta yüksek kesme hızlarının kullanılması her geçen gün önemini arttırmaktadır. Yüksek kesme hızlarında işlemede üretim süresi kısaltmakta ve bunun

sonucunda da maliyetler düşmektedir. Bu durum, rekabet halindeki firmaları, yüksek kesme hızlarını tercih etmeye, bunun için de gerekli olan takım ve tezgâhı kullanmaya yöneltmektedir.

Gelişen teknoloji ile birlikte yüksek sıcaklıklara dayanıklı kesici takımların üretilmesi sayesinde verimlilik arttırılmış ve daha hassas yüzeyler elde edilmiştir. Özellikle kaplamalı karbür uçlar, karbür tanelerinin boyutu ve kaplama özelliğinden dolayı talaşlı imalatı çok geniş bir alanda kullanılmaktadır. Yapılan bilimsel araştırmalarda genellikle kaplamalı karbür uçlar tercih edilmektedir.

Kesici uç maliyetleri, firmalar açısından önemli bir yer tutmaktadır. Özellikle frezeleme işlemlerinde çok fazla kesici uç kullanıldığından dolayı maliyet daha da artmaktadır. Bu durum, rekabet ortamındaki kesici takım firmalarını, freze takımları üzerinde daha fazla araştırma yapmaya zorlamaktadır. Bunun sonucunda, kesici uç özelliği ve sayısı farklı birçok freze başlığı imal edilmiştir. İmalatçı firmalar yaptıkları işin durumuna göre en uygun freze takımını seçmeleri gerekmektedir. Burada, uçun kalitesi veya uygunluğu kadar kullanılacak uç sayısı da önemlidir. Her zaman çok uçlu kesici kullanmak avantajlı olmamaktadır. Kullanılacak uç sayısının seçiminde, işleme süresi, maliyet, yüzey pürüzlülüğü, tezgâh gücü ve işleme türü (kaba veya ince paso) gibi faktörlerin göz önüne alınması gerekmektedir. Çok uçlu kesicilerde üretilen parça sayısı, tek uçlu kesicilerden daha fazla olmaktadır. Ancak, bu durumda uç maliyetini artırmakta ve daha kötü yüzey kalitesi elde edilmektedir. İşleme sonucu üzerinde titreşimin önemli olduğu durumlarda ve iyi yüzey kalitesi elde etmek için daha az sayıda uç kullanılmalıdır [5]. Ayrıca, uç sayısının artmasıyla kesme kuvvetlerinin artacağından dolayı tezgâh gücünün de dikkate alınması gerekmektedir.

AISI D3 soğuk iş takım çeliği genellikle, soğuk ekstrüzyon ve delme kalıpları, kalıp plakaları, toz metalürjisi takımları, seramik biçimlendirme kalıpları ve soğuk

zimbaların üretiminde kullanılmaktadır. İşlenebilirlik özelliği iyi olan bu malzeme, sertleştirme işlemi sonucunda 60–65 HRC sertliğe ulaşabilmektedir.

Gerçekleştirilen bu çalışmanın amacı, yüzey frezeleme operasyonunda kesici uç sayısı ile birlikte, kesme hızı ve ilerleme miktarının takım ömrü, kaldırılan talaş hacmi ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkilerini araştırmaktır. Bu amaçla, ülkemiz imalat sanayinde geniş bir kullanım alanı bulan AISI D3 soğuk iş takım çeliği CNC dik işleme merkezinde kaplamalı karbür uç kullanılarak işlenmiştir. Takım ömrünü incelemek amacıyla yapılan deneylerde yüksek kesme hızları kullanılmıştır. Bunun nedeni, ideal kesme şartlarında yapılan ön deneyler sonucunda, kesici takımın oldukça yüksek takım ömrüne sahip olması ve iş parçası miktarının sınırlı olmasıdır. Arzu edilen aşınmayı görmek ve bunu daha az malzeme harcayarak gerçekleştirmek için kesme hızları arttırılmıştır. Buna karşın, yüzey pürüzlülük deneyleri, kesici uç firmasının tavsiye ettiği ideal kesme şartlarında yapılmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Talaşlı imalatla özellikle metal parçaların imalat işlemi, talaş kaldırma işleminin etkilendiği faktörlerden dolayı oldukça karmaşıktır. Kesici takımın, iş parçasından talaş kaldırması sırasında birçok olumsuz şartlar oluşmakta iken, bu olumsuz şartları en aza indirerek istenilen kalitede imalat yapabilmek önemlidir. İmalatın en iyi şekilde gerçekleştirilmesi için, talaş kaldırma sırasında kesme parametreleri değiştirilerek, en ideal kesme şartları belirlenmeye çalışılmaktadır. Bu amaçlar doğrultusunda, gerek firmaların AR-GE birimleri ve kesici takım firmaları tarafından ve gerekse akademik alanda birçok araştırma yapılmış ve yapılmaya da devam etmektedir.

Akademik anlamda yapılan çalışmalar, bu çalışmada iki gruba ayrılarak değerlendirilmiştir. Önce takım ömrü ve takım aşınması, daha sonra ise yüzey pürüzlülüğü ile ilgili yapılan çalışmalar incelenmiştir.

2.1. Takım Ömrü ve Takım Aşınması Üzerine Yapılan Çalışmalar

Kesici takım ömrü ile ilgili yapılan bilimsel çalışmalar incelendiğinde, genellikle prizmatik parçaların işlenmesinde, kesme parametrelerinin etkilerinin belirlenmesi ile ilgili araştırmalar ön plana çıkmaktadır. Birçok çalışmada yüksek kesme hızlarının kullanılması dikkat çekmektedir. Buna karşın kesici uç sayısının takım ömrü üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla yapılan çok fazla sayıda deneysel çalışma bulunmamaktadır.

Richetti ve arkadaşları, AISI 1045 ve AISI 8640 çeliklerinin yüzey frezelenmesinde, uç sayısının takım ömrü üzerindeki etkisini incelemişlerdir [6]. Farklı kesme şartlarında yapılan çalışmada, freze başlığına 1, 2, 3 ve 6 sayıda kesici uç takmak suretiyle malzemelerin yüzeyi frezelenmiştir. Takım ömrünü belirlemek için yan kenar aşınması dikkate alınmıştır. Deneyler sonucunda, freze başlığındaki kesici uç sayısının artmasıyla takım ömrünün azaldığı belirlenmiştir. Bu durum kesici uç

sayısının artmasıyla yüksek kesme sıcaklıklarının oluşmasına atfedilmiştir. Buna karşın, aynı işleme sürecinde kaldırılan talaş hacminin kesici uç sayısı ile arttığı rapor edilmiştir.

Benzer bir çalışmada da takım ömrü üzerindeki ısı etki ve mekanik çarpışmanın etkileri Kuljanic tarafından araştırılmıştır [7]. Takımın iş parçasına girişinde oluşturduğu çarpışmanın, iki ucun aynı zamanda kesmeye başlamasından dolayı takım ömrü üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığı belirtilmiştir. Bununla birlikte, kesici uç sayısının artması, iş parçası ve takım sıcaklığının artmasına ve takım ömrünün azalmasına neden olmuştur. Bir önceki çalışmadan farklı olarak ise, uç sayısının azalması ile takım ömrü arasında doğrusal bir ilişkinin olmadığı belirlenmiş ve uç sayısının takım ömrüne etkisinin kesme hızı, diş başına ilerleme ve iş parçası-takım-makine uyumuna bağlı olduğu belirtilmiştir.

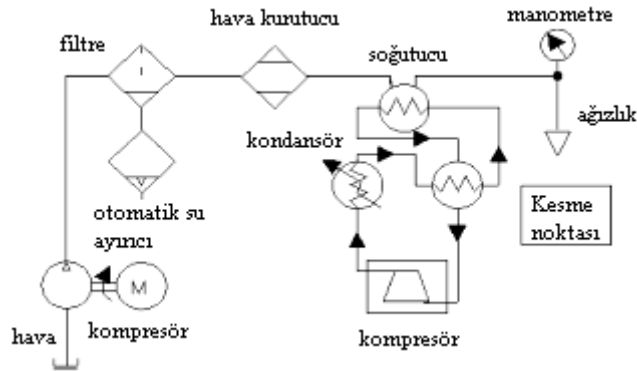
Yüksek kesme hızlarının kullanılmasının işleme süresi ve yüzey kalitesi açısından önemi büyüktür. Bu açıdan birçok araştırmacı tarafından takım ömrü deneyleri yapılmaktadır. Ghani ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, yüksek kesme hızlarında P10 kalitesinde TiN kaplamalı karbür ve P20 kalitesindeki kaplamasız sermet takım kullanılarak AISI H13 takım çeliği freze tezgâhında işlenmiştir [8]. 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.

Ghani ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen çalışmayla benzer özellik gösteren 35 HRC ve 62 HRC sertliğindeki AISI D3 soğuk iş takım çeliğinin, yüksek kesme hızlarında parmak freze ile işlenmesiyle ilgili çalışma, Aslan ve Camuşcu tarafından yapılmıştır [9]. 62 HRC sertliğindeki malzememin CBN takımlarla işlenmesinde mikro çatlakların olduğu ve bu çatlakların ilerleyerek aşırı çentiklenmeye neden olduğu belirtilmiştir. İş parçası sertliğinin azalmasıyla çentiklenmenin ortadan

kalktığı belirtilmiştir. Ayrıca, artan iş parçası malzemesi sertliği ile yüzey pürüzlülük değerlerinin belirgin bir şekilde azaldığı tespit edilmiştir. 62 HRC sertliğindeki malzemede 0,02 µm gibi çok küçük pürüzlülük değerleri sağlanmıştır.

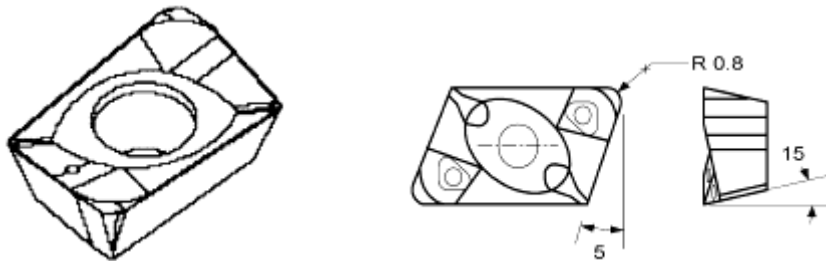
Liu ve arkadaşları, yüksek kesme hızında yüzey frezeleme işleminde kesici takımlarda oluşan aşınmaları incelemiştir [10]. Çalışmalarında, PCBN takım, seramik takım, kaplamalı karbür takım ve ince taneli karbür takım kullanmıştır. Bu takımlarla, dökme demirin, temperli karbon çeliğinin (% 0,45 karbon) ve sertleştirilmiş karbon çeliğinin (% 0,45 karbon) yüzeyini frezeleyerek kesici takımın üst ve yan yüzeylerinde oluşan aşınma mekanizmalarını belirlemeye çalışmıştır. Üst ve yan yüzeydeki takım aşınması, yüksek hızlarda, kesici kenara çok yakın yerde olduğu, yüksek kesme sıcaklıkları ve kesme kuvvetleri ile takımdaki aşınmanın arttığı tespit edilmiştir. Bu sebeple, yüksek kesme hızlarında çalışacak takım malzemesinin belirlenmesinde, yüksek ısı ve aşınma direnci, kimyasal dayanıklılık ve bunun yanında kaplama kalitesine dikkat etmek gerektiği vurgulanmıştır.

İşlemesi zor malzemelerin yüksek hızlarda işlenmesinde kesme ortamlarının işlenebilirlik üzerindeki etkilerini araştıran bir çalışma Kim ve arkadaşları tarafından yapılmıştır [11]. Çalışmada, TiAlN kaplı karbür ve TiN kaplı HSS takım kullanarak, sertleştirilmiş çelik (HRC42- HRC50-HRC60) ve Inconel 718 malzemeler üzerinde frezeleme işlemi yapılmıştır. Frezeleme işlemlerini kuru, su soğutuculu ve basınçlı hava ortamında gerçekleştirmiştir. Basınçlı hava ile soğutma için deney düzeneği hazırlanmıştır (Şekil 2.1). Deneysel çalışmalar sonucunda, kesme ortamında kullanılan basınçlı hava soğutucusunun takım ömrünü diğer ortamlara göre daha da arttırdığı rapor edilmiştir. Ayrıca, HSS takımda 0,1 mm yan kenar aşınması değerinden sonra, aşırı çentik aşınması olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 2.1. Basınçlı hava ile soğutmanın şematik gösterimi [11]

Abou ve arkadaşları, AISI 304 paslanmaz çeliğin yüksek kesme hızında parmak freze ile işlenmesinde yeni geometrilere sahip karbür uçların performansını incelemiştir (Şekil 2.2) [12]. Bu çalışmada, takım aşınmasının artmasına sebep olan muhtemel başarısızlık nedenleri tartışılmış ve kesme hızı ile ilerleme miktarı etkileşimlerinin takım ömrü ve takım aşınması üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Yan yüzeylerde oluşan çentik aşınmasının, takımdaki hâkim aşınma mekanizmasının olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, SEM incelemeleri ve EDAX analizleri sonucunda takım üzerinde mikro çatlakların ve difüzyon aşınma mekanizmasının olduğu belirtilmiştir. Kesme hızının artması ile takım ömrünün azalacağı belirtilmiş ve yüksek kesme hızında ilerleme miktarının değişmesiyle takım ömrünün az miktarda etkileneceği ifade edilmiştir. $V=150$ m/min ve $f=0,075$ mm/z kesme şartlarında en fazla talaş hacminin çıkartıldığı deneyler sonucunda bulunmuştur.



Şekil 2.2. ADKT 1035 PDSRLC geometrisine sahip uç [12]

Kesici takımlar üzerine tek veya çok katmanlı kaplamaların yapılmasıyla, performanslar maksimum seviyeye çıkartılmıştır. Kaplamaların takım ömrüne

etkisini belirlemek amacıyla Gu ve diğerleri tarafından yapılan çalışmada, kaplamasız karbür, TiN, TiAlN ve ZnN kaplamalı uç kullanarak AISI 4140 çelik malzemenin yüzeyi frezelenmiştir [13]. Tek uç kullanılarak yapılan çalışmada, en yüksek aşınma direncine TiAlN kaplamalı kesici uçlar ile ulaşılmıştır. Düşük kesme hızlarında BUE oluşması, yüksek kesme hızlarında ise kesme bölgesindeki sıcaklıktan dolayı aşınmanın arttığı tespit edilmiştir. Kesme hızı ve ilerleme miktarının artmasıyla takım ömrünün kısaldığı ve ayrıca, takım ömrü üzerinde kesme hızının etkisinin ilerleme miktarından daha fazla olduğu belirtilmiştir.

Habalı tarafından yapılan doktora çalışmasında kesici takım kaplama malzemelerinin takım-talaş ara yüzey sıcaklığı üzerindeki etkisi incelenmiştir [14]. Deneyler sonucunda, en düşük sıcaklıkların en üst katman olarak TiN uygulanmış üç katlı kaplamaya sahip takımlarla elde edildiği ve bu durumda TiN kaplamasının düşük sürtünme katsayısına sahip olmasından kaynaklandığı belirtilmiştir. Ayrıca, kesme hızı ve ilerleme miktarının artmasıyla sıcaklığın arttığı ve kesme hızının sıcaklık üzerindeki etkisinin ilerlemeden daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

Jawaid ve arkadaşları, PVD ile TiN ve CVD ile TiCN+Al₂O₃ kaplı iki karbür takımla Ti 6Al 4V titanyum alaşımının yüzeyini frezeleyerek aşınma mekanizmalarını incelemişlerdir [15]. Kesici takımın yan ve üst yüzeylerinde oluşan adhezyon, difüzyon, plastik deformasyon, talaş yığılması (BUE), termal çatlaklar ve sürtünme (attrition) aşınma mekanizmalarını SEM incelemeleri ve EDAX analizleri ile belirlemişlerdir. Deneysel çalışmalar sonucunda, 55 m/min'lık kesme hızı ve 0,1 mm/z ilerleme miktarında 30 dakikalık takım ömrüne ulaşılmıştır. CVD kaplı takımın performansı PVD kaplı takımdan daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, kesme hızı ve ilerleme miktarının arttırılmasıyla takım ömrünün azaldığı rapor edilmiştir.

Jawaid ve arkadaşları tarafından yapılan diğer bir çalışmada ise Inconel 718 alaşımının yüzey frezelenmesinde PVD- TiN kaplı ve kaplamasız karbür takımların aşınma özellikleri ve kesme performansları incelenmiştir [16]. Araştırmacılar tarafından yapılan çalışmada, düşük kesme hızlarında mikro çentiklenmenin

oluştugu, yükseltilmiş hızlarda ise çentiklerin büyüyerek kırılmaya sebep olduğu rapor edilmiştir. Bununla birlikte, düşük kesme hızında (25 m/min) kaplamasız takımın, kaplamalı takımlardan daha iyi performans sergilediği ifade edilmiştir. Bu durum da, kaplamasız takımın daha iyi sürtünme (attrition) aşınma direncine sahip olması ve daha büyük uç yarıçapından dolayı talaş yapışmasına karşı mekanik dayanıklılık sağlamasına atfedilmiştir. Buna karşın, TiN kaplamasının yüksek aşınma direnci ve düşük termal iletkenliğinden dolayı yükseltilmiş hızlarda kaplamalı takımların daha iyi performans sergilediği belirtilmiştir.

Nordin ve arkadaşları, östenitik paslanmaz çeliğinin frezelenmesinde çok katmanlı PVD TiN/ TaN kaplı takımların aşınma mekanizmalarını incelemişlerdir [16]. Çalışmada, SEKN 1204 AZ sinterlenmiş karbür takım kullanarak AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğin yüzeyi frezelenmiştir. Deneyler sonucunda, kesici takımın yan ve üst yüzeylerinde, adhezyon aşınması, abrasiv aşınma, çentik aşınması, mekanik çatlaklar, plastik deformasyon ve krater aşınma mekanizmalarının olduğu gözlenmiştir. Çok katmanlı kaplamalar tek katlı kaplamalardan daha iyi takım ömrü performansı sergilemiştir. Ayrıca, TiN kaplama TaN kaplamadan daha iyi takım ömrü performansı vermiştir. Kaplama kalınlığının takım ömrü üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı da belirtilmiştir.

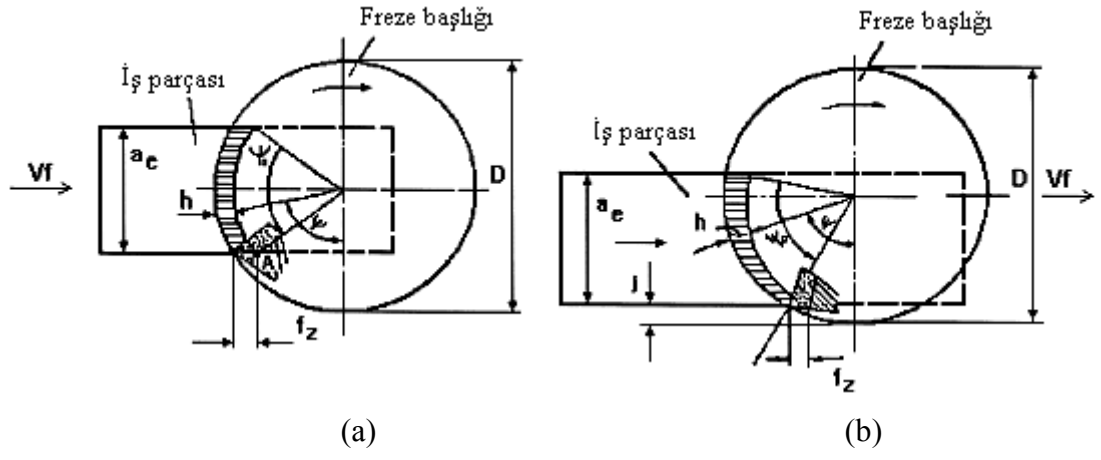
D'Errico ve arkadaşları, frezeleme işleminde sermet takımların takım ömrü üzerindeki performanslarını incelemişlerdir [18]. Çalışmada, AISI- SAE 1045 karbon çeliğinin yüzey frezelenmesinde yedi farklı sermet uç kullanılmıştır. Kesici takımın yan yüzeyinde oluşan yan kenar aşınması incelenmiştir. TiCN içeriği en yüksek ucun takım ömründe en iyi performansı verdiği tespit edilmiştir. İlerleme miktarındaki değişmelerle takım ömrünün yaklaşık % 30 oranında azaldığı belirtilmiştir.

Kumar ve diğerleri tarafından yapılan çalışmada karma ve zirkona takviyeli seramik kesici takımlarla sertleştirilmiş EN 24 (40–45 HRC) iş parçasının işlenebilirliği incelenmiştir [19]. Araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalar sonucunda kesme hızının artmasıyla, kesici kenar aşınmasının arttığı ve yüzey pürüzlülük değerinin ise azaldığı belirtilmiştir. Abrasiv aşınmanın kesici takımın yan yüzeyindeki egemen

aşınma mekanizması olduğu rapor edilmiştir Her iki seramik kesici takım ile da iyi yüzey kalitesi elde edilmiştir.

Diniz ve arkadaşları, yüzey frezeleme işlemlerinde, takım ve iş parçasının birbirine göre olan pozisyonlarının takım ömrü, takım aşınması ve bitirme yüzeyi kalitesine olan etkisini belirlemeye çalışmışlardır [20]. Çalışmada, P25 kalitesinde karbür uç kullanılarak AISI 1045 çeliğin yüzeyi frezelenmiştir. Bu amacı gerçekleştirmek için, iş parçası ve takım farklı bağıl pozisyonlarda kullanılmıştır. Takım ve iş parçasının pozisyonu Şekil 2.3'te gösterilmektedir. J parametreleri; $J_1=4,75$ mm, $J_2 = 11,75$ mm, $J_3 = 18,75$ mm, $J_4 = 25,75$ mm ve $J_5 = 32,75$ mm olarak belirlenmiştir. Aşınan takımlar SEM mikroskobuyla incelenmiştir. Deneyler sonucunda, düşük J değerinde kesmede, takım ömrünün arttığı diğer taraftan iş parçası yüzey pürüzlüğünün bu bağıl pozisyonların değişmesinden etkilenmediği rapor edilmiştir.

Sonuç olarak, takım ömrü üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde çelik malzemelerin işlenmesinde kaplamalı karbür takımlar yaygın olarak kullanılmıştır. Frezeleme deneyleri, genelde tek uç kullanılarak yapılmıştır. Yüksek kesme hızlarının kullanıldığı çalışmalarda, uçların belli bir süreden sonra ani olarak aşındığı rapor edilmiştir. Kesici uç sayısı, kesme hızı ve ilerleme miktarının artmasıyla takım ömrünün kısaldığı belirlenmiştir. Özellikle kesme hızının takım ömrünü önemli şekilde etkilediği vurgulanmıştır. Ayrıca, kaplamalı takımların kaplamasız takımlardan daha iyi performans sergilediği tespit edilmiştir. Takım ömrü ve takım aşınması üzerine yapılan çalışmaların genel değerlendirmesi Çizelge 2.1'de gösterilmektedir.



Şekil 2.3. Yüzey frezeleme (a) Simetrik frezeleme, (b) Asimetrik frezeleme [20]

Çizelge 2.1. Takım ömrü ve takım aşınması üzerine yapılan çalışmaların genel değerlendirmesi

İş parçası	Kesici uç	İşleme biçimi	Uç sayısı	Aşınma mekanizmaları ve tipleri	İnceleme yöntemi	Sonuç	Atıf no
AISI 1045 ve AISI 8640 çelik	P30 kalite sementit karbür uç, P45 ve M35 kaplamalı karbür uç	Yüzey frezeleme	1, 2, 3 ve 6	Kenar aşınması	XY koordinatlı dijital taşınabilir mikroskop	- Freze başlığındaki kesici uç sayısının artmasıyla takım ömrünün azaldığı belirtilmiştir. - Kaldırılan toplam malzeme değerleri, kesicideki uçların sayısı ile arttığı tespit edilmiştir.	6
AISI H13 takım çeliği	P10 TiN kaplamalı karbür uç ile P20 kaplamasız sermet uç	Yüksek hızda yüzey frezeleme		Kenar aşınması, talaş yığılması (BUE), krater aşınması, termal yorulma çatlakları ve difüzyon aşınması	Optik mikroskop, SEM ve EDAX yazılımı	- Her iki takım içinde yüksek kesme hızlarında çentik aşınması olduğu rapor edilmiştir. - P10 için; 280 m/min kesme hızı, 0,16 mm/z ilerleme ve 0,3 mm talaş derinliği ile P20 için; 224 m/min kesme hızı, 0,1mm/z ilerleme, 0,3 mm talaş derinliğinde, en iyi takım ömrüne ulaşılmıştır.	8
AISI D3 soğuk iş takım çeliği	Kübik bor nitrit (CBN) takımlar	Yüksek hızda Parmak freze ile işleme	1	Yan kenar aşınması, çentik aşınması	SEM	62 HRC sertliğindeki malzememin CBN takımlarla işlenmesinde mikro çatlakların olduğu ve bu çatlakların ilerleyerek aşırı çentiklenmeye neden olduğu rapor edilmiştir. İş parçası sertliğin azalmasıyla çentiklenme oluşmadığı belirtilmiştir.	9
Dökme demir, % 0,45 temperli karbon çeliği ve % 0,45 sertleştirilmiş karbon çeliği	PCBN takım, seramik takım, kaplamalı karbür takım	Yüksek hızda yüzey frezeleme	1	Üst yüzey aşınması, yan kenar aşınması, talaş yığılması ve kırılma	SEM	- Üst ve yan yüzeydeki takım aşınması, yüksek hızlarda, kesici kenara çok yakın yerde olduğu belirtilmiştir. - Temel aşınma mekanizmaları, yüksek kesme sıcaklıkları ve kesme kuvvetleriyle arttığı tespit edilmiştir.	10

Çizelge 2.1. (Devam) Takım ömrü ve takım aşınması üzerine yapılan çalışmaların genel değerlendirmesi

İş parçası	Kesici uç	İşleme biçimi	Uç sayısı	Aşınma mekanizmaları ve aşınma tipleri	İnceleme yöntemi	Sonuç	Atıf no
Sertleştirilmiş çelik (HRC42-HRC50-HRC60) ve Inconel 718	TiAlN kaplamalı karbür takım ve TiN kaplamalı HSS takım	Parmak frezeleme		Yan kenar aşınması		Kesme ortamında kullanılan sıkıştırılmış hava soğutucusunun takım ömrünü diğer ortamlara göre daha da arttırdığı rapor edilmiştir	11
AISI 304 paslanmaz çelik	ADKT 1035 PDSRLC (KC725M) karbür uç	Yüksek hızda parmak frezeleme	1	Yan kenar aşınması, çentik aşınması	SEM ve EDAX	- Kesme hızının artması ile takım ömrünün azalacağı belirtilmiştir ve yüksek kesme hızında ilerleme miktarındaki değişimle takım ömrünün az miktarda etkileneceği rapor edilmiştir $V=150$ m/min ve $f=0,075$ mm/z kesme şartlarında en yüksek talaş hacmi kaldırılmıştır.	12
AISI 4140 çeliği	Kaplamasız karbür uç ve TiN, TiAlN ve ZnN kaplamalı karbür uç	Yüzey frezeleme	1	Mekanik yorulma, termal çatlaklar ve abrasiv aşınma	SEM	- En yüksek aşınma direncine TiAlN kaplamalı kesici uç ile ulaşılmıştır. - Takım ömrü üzerinde kesme hızının etkisinin ilerlemeden daha fazla olduğu belirtilmiştir.	13
AISI 1040 çeliği	Kaplamasız karbür takım, Al_2O_3 ve en üst TiN olan 3 katlı karbür takım	Torna lama	1			- En düşük işleme sıcaklıkları en üste TiN kaplı olan üç katlı takımın gerçekleştirdiği belirtilmiştir. - Kesme hızı ve ilerleme miktarının artmasıyla işleme sıcaklığının arttığı ve kesme hızının sıcaklık üzerindeki etkisinin ilerlemeden daha fazla olduğu rapor edilmiştir.	14

Çizelge 2.1. (Devam) Takım ömrü ve takım aşınması üzerine yapılan çalışmaların genel değerlendirmesi

İş parçası	Kesici uç	İşleme biçimi	Uç sayısı	Aşınma mekanizmaları ve aşınma tipleri	İnceleme yöntemi	Sonuç	Atıf no
Ti 6Al 4V titanyum alaşımı	PVD- TiN kaplı karbür ve CVD- TiCN + Al ₂ O ₃ kaplı karbür takım	Yüzey frezeleme	3	adhezyon, difüzyon, plastik deformasyon, talaş yığılması (BUE), termal çatlaklar ve sürtünme (attrition) aşınması	Optik mikroskop, SEM ve EDAX	55 m/min kesme hızı ve 0,1 mm/z ilerlemenin miktarlarında 30 dakikalık takım ömrüne ulaşılmıştır. - CVD kaplamalı takımın performansının PVD kaplamalı takımdan daha iyi olduğu belirtilmiştir. - Kesme hızı ve ilerleme miktarının artmasıyla takım ömrünün azaldığı tespit edilmiştir.	15
Inconel 718	PVD kaplamalı ve kaplamasız karbür uç (SEKN 1204 AFN)	Yüzey frezeleme		Yan kenar aşınması ve BUE	SEM ve EDAX yazılımı	- Düşük kesme hızlarında mikro çentiklenmenin olduğu, yükseltilmiş hızlarda ise çentiklerin büyüyerek kırılmaya sebep olduğu rapor edilmiştir. - Düşük kesme hızlarında kaplamasız takım performansı kaplamalı takımlardan daha iyi iken kaplamalı takımlar yükseltilmiş hızlarda daha iyi performans vermiştir.	16
AISI 316 östenitik paslanmaz çelik	PVD TiN/ TaN kaplamalı karbür uç	Yüzey frezeleme	3	Adhezyon ve abrasif aşınma, çentik aşınması, mekanik çatlaklar, krater aşınması, plastik deformasyon	SEM ve EDS (Enerji Dağıtıcı Spektroskop)	- Çok katmanlı kaplamalar, tek katlı kaplamalardan daha iyi takım ömrü performansı vermiştir. - TiN kaplamanın, TaN kaplamadan daha iyi performans sergilediği tespit edilmiştir.	17

Çizelge 2.1. (Devam) Takım ömrü ve takım aşınması üzerine yapılan çalışmaların genel değerlendirmesi

İş parçası	Kesici uç	İşleme biçimi	Uç sayısı	Aşınma mekanizmaları ve aşınma tipleri	İnceleme yöntemi	Sonuç	Atıf no
AISI- SAE 1045 karbon çeliği	(SPKN 1203 ED-TR (P05–40)) yedi farklı kalitede sermet uç	Yüzey frezeleme		Yan kenar aşınması	SEM	- TiCN içeriği en yüksek ucun takım ömründe en iyi performansı verdiği tespit edilmiştir. - İlerleme miktarındaki değişmelerle takım ömrünün yaklaşık % 30 oranında azaldığı belirtilmiştir.	19
EN 24 (40–45 HRC)	Karma ve zirkona takviyeli seramik kesici takım	Torna lama	1	Abrasiv aşınma, adhesiv aşınması ve difüzyon aşınması	SEM	- Kesme hızının artmasıyla takım aşınmasının arttığı ve yüzey pürüzlülük değerinin azaldığı belirtilmiştir. - Abrasiv aşınmanın kesici takımın yan yüzeyindeki hâkim aşınma mekanizması olduğu rapor edilmiştir.	20
AISI 1045 çelik	SEKR 1204AZ-WN P25 karbür uç	Yüzey frezeleme		Yan kenar aşınması	SEM	Düşük J değerinde kesme, takım ömrü için daha uygun olduğunu ve iş parçası yüzey pürüzlülüğü bu bağlı pozisyonların değişmesinden etkilenmediğini belirtilmiştir.	21

2.2. Yüzey Pürüzlülüğü Üzerine Yapılan Çalışmalar

Yüzey frezeleme operasyonlarında iş paçasının yüzey kalitesi kesme parametreleri, takım aşınma ve titreşim gibi birçok faktörden etkilenmektedir. Yüzey kalitesinin önemli olduğu durumlarda bu faktörlerin iyi analiz edilmesi gerekir. Yüzey pürüzlülüğü ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde, genellikle kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerinin araştırıldığı görülmektedir. Buna karşın, freze kesicisindeki uç sayısının yüzey pürüzlülüğüyle ilişkisini gösteren çalışmalara rastlanmamıştır.

Korkut ve Dönertaş tarafından yapılan çalışmada, yüzey frezeleme işleminde kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve takım-talaş temas uzunluğu üzerine kesme hızı ve ilerleme miktarının etkisi incelenmiştir [21]. Yüzey frezeleme deneylerinde aynı kesme şartlarında AISI 1020 çeliği, AISI 1040 çeliğinden daha düşük yüzey pürüzlülük değerleri vermiştir. Ayrıca, kesme hızının artırılması ile yüzey pürüzlülük değerlerinin azaldığı belirtilmiştir.

Korkut ve arkadaşları tarafından yapılan bir başka çalışmada ise, sinterlenmiş karbür kesici takımla AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin tornalanmasında optimum kesme parametrelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır [22]. Takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü üzerine kesme hızının etkisini incelemiştir. Farklı kesme hızları kullanarak yapılan çalışmada, kesme hızının artması ile yüzey pürüzlülük değerlerinin azaldığı belirtilmiştir. Düşük kesme hızlarında BUE oluştuğu ve yüzey kalitesinin kötüleştiği rapor edilmiştir. Çiftçi tarafından aynı malzeme üzerinde farklı kaplamalı sinterlenmiş karbür takımlarla yapılan çalışmada da benzer sonuçlar elde edilmiştir [23].

Sai ve diğerleri bitirme yüzeyi frezelemede, işlenebilirlik parametrelerinin yüzey oluşumları üzerine etkilerini incelemişlerdir [24]. Çalışmalar, karbon çeliği ve paslanmaz çelik kullanarak farklı kesme şartlarında yapılmıştır. Her iki deney malzemesi içinde, ilerleme miktarının artmasıyla Ra pürüzlülük değeri artmıştır. Kesme hızının artan değerlerinde ise yüzey kalitesi iyileşmiştir. Araştırmacılar bu

durumu artan kesme hızıyla birlikte, takım talaş temas uzunluğunun kısılmasına ve kesme kuvvetlerinin azalmasına, bu yüzden de deformasyonların küçülmesine bağlamışlardır. Araştırmacılar ayrıca; düşük kesme hızlarında BUE oluştuğunu ve yüzey pürüzlülüğünün kötü çıktığını, paslanmaz çelikteki yüzey kalitesinin karbon çeliğinden daha kötü olduğunu ve bunun da malzemeler arasındaki sertlik ve mikro yapının farklı olmasından kaynaklandığını da belirtmişlerdir.

Lima ve arkadaşları, AISI 4340 ve AISI D2 çeliğinin farklı kesme şartlarında tormalanmasını incelemişlerdir [25]. 42 HRC sertlikteki AISI 4340 çeliği kaplamalı sinterlenmiş karbür takımla, 50 HRC sertlikteki AISI 4340 çelik ise PCBN takımla işlenmiştir. Ayrıca, AISI D2 soğuk iş takım çeliği alüminyum içerikli seramik kesici takımla işlenmiştir. Deneyler sonucunda yüzey kalitesinin, kesme hızının artması ile iyileşirken ilerleme miktarının artmasıyla kötüleşmiştir. Talaş derinliğinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde çok az bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. En iyi yüzey pürüzlülük kalitesine daha geniş burun radüsüne sahip PCBN kesici takımlarla ulaşılmıştır.

Benga ve Abrao, sertleştirilmiş 100Cr6 rulman çeliğini seramik ve PCBN takımlar ile tormalayarak takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğünü iyileştirmeye çalışmışlardır [26]. Yapılan çalışmalar sonucunda, PCBN takımların seramik takımlardan daha uzun takım ömrüne sahip olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, kesme hızının artması ile takım ömrü azalmıştır. Yüzey pürüzlülüğü açısından değerlendirildiğinde $V=116-130$ m/min kesme hızında minimum Ra değerleri elde edilmiştir. Bununla birlikte, takımların tamamı, benzer pürüzlülük değerleri sağlamış ve Ra değerleri yaklaşık $0,25\ \mu\text{m}$ civarında olmuştur.

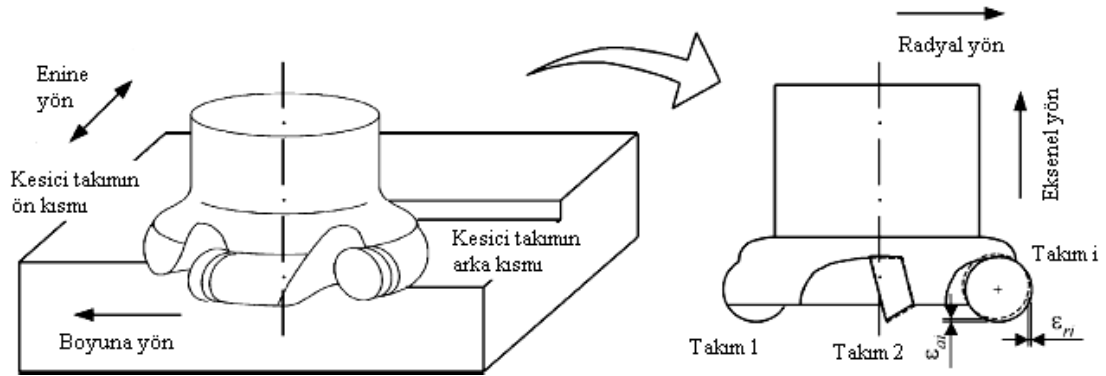
Can, AISI 5140 çeliğinin sermet, PVD ile TiAlN-CVD ile TiN kaplanmış kesici uçlarla tormalanmasında kesme değişkenleri, kaplama cinsi ve takım aşınmasının yüzey pürüzlülüğüne etkileri deneysel olarak incelemiştir [27]. Deneyler sonucunda, yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en önemli parametrelerin ilerleme miktarı, burun kavis ve kesme hızı olduğu rapor edilmiştir. Ayrıca, TiAlN kaplanmış kesicilerin, sermetlerden sonra en iyi yüzey kalitesi verdiği belirtilmiştir.

Davim ve Figueira, istatistiksel yöntem kullanarak yaptıkları çalışmalarda seramik takımlarla soğuk iş takım çeliğini (D2) tornalayarak işlenebilirliğini incelemişlerdir [28]. Varyans analizi (ANOVA) ve ortogonal tasarım tekniğiyle sonuçları değerlendirmiştir. Sonuç olarak; kesme hızının artması ile takım aşınmasının arttığı belirlenmiştir. Bunun yanı sıra, kesme hızının artması ile yüzey pürüzlülük değerlerinin iyileştiği ve artan ilerleme miktarıyla ise kötüleştiği rapor edilmiştir.

Choudhury ve Baradie, yüksek dayanımlı çeliğin kaplamasız karbür takımlarla tornalanmasında yüzey pürüzlülüğünün önceden tahmini için model oluşturmuştur [29]. Çalışmalarında kesme hızı, ilerleme miktarı ve talaş derinliğinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri incelenmiştir. Yüzey pürüzlülüğünde ilerleme miktarının etkisinin kesme hızı ve talaş derinliğinin etkisinden daha belirgin olduğu rapor edilmiştir.

Ay, CNC freze tezgâhında frezeleme esnasında oluşan kesme kuvvetleri ve titreşimlerin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini deneysel olarak incelemiştir [30]. Kesme hızı ve ilerleme miktarındaki değişmelerin, kesme kuvvetlerini ve titreşimi artırdığı belirtilmiştir. Titreşimdeki artışın ise, iş parçası yüzey kalitesini kötüleştirdiği rapor edilmiştir.

Franco ve arkadaşları, yuvarlak uçlu kesici takımlarla yüzey frezelemede, radyal ve eksenel kaçıklık gibi takım hatalarının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini araştırmıştır [31]. Deneylerde, 12 mm çapında 4 adet kesici uç ile 0,5 mm talaş derinliği, 120 m/min kesme hızı ve 0,4–1,4 mm/z ilerleme miktarı kullanmıştır. Yüzey pürüzlülüğünün önceden tahmini için sayısal model oluşturulmuştur. Rasgele seçilen radyal (ϵ_{ri}) ve eksenel kaçıklık (ϵ_{ai}) değerlerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisini teorik olarak değerlendirmiş ve elde edilen sonuçları deneysel yöntemlerle karşılaştırmıştır. Şekil 2.4’de yüzey frezeleme işlemlerinde kesici takımdaki radyal (ϵ_{ri}) ve eksenel kaçıklar (ϵ_{ai}) gösterilmiştir. Çalışma sonucunda, radyal ve eksenel kaçıklık değerinin artmasıyla yüzey kalitesinin kötüleştiği tespit edilmiştir. Garanti yüzey kalitesi istenildiği durumlarda, bu takım hatalarına dikkat edilmesi gerektiği vurgulanmıştır.



Şekil 2.4. Yuvarlak uçlu kesici takımlarla yüzey frezeleme operasyonlarında radyal (ϵ_{ri}) ve aksel kaçıklar (ϵ_{ai}) [31]

Gökkaya ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, kaplamasız sementit karbür ve kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi incelenmiştir [32]. Yapılan çalışmalar sonucunda, kesme hızının ve ilerleme miktarının azaltılmasıyla yüzey kalitesinin iyileştiği belirtilmiştir. Kesme hızını artmasıyla yüzey kalitesinin kötüleşmesini, kaplamasız kesici takımların yüksek kesme hızlarında kullanılmasıyla kesme bölgesinde yüksek sürtünme katsayısına bağlı olarak oluşan yüksek sıcaklıkların kesici takım üzerinde oluşturduğu yan kenar ve çentik aşınmalarına bağlamıştır.

İş parçalarının ideal yüzey kalitelerini farklı kesme şartları altında belirlemeyi amaçlayan deneysel çalışmalar incelendiğinde, ilerleme miktarı ve kesici takım uç yarıçapının yüzey pürüzlülüğünü önemli şekilde etkilediği görülmektedir. Buna karşın, kesme hızındaki değişmelerin yüzey pürüzlülüğünü farklı şekilde etkilediği görülmüştür. Düşük kesme hızlarında BUE oluşmasından dolayı kötü yüzey kalitesi elde edilmiştir. Talaş derinliğinin yüzey kalitesine etkisi ise çok azdır. Buna karşılık, literatürde uç sayısının yüzey kalitesine etkisini gösteren çalışmalara rastlanmamıştır. Bundan dolayı bu çalışmada freze kesicisindeki uç sayısının, yüzey pürüzlülüğüyle olan etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Yüzey pürüzlülüğü üzerine yapılan çalışmaların genel değerlendirmesi Çizelge 2.2’de gösterilmektedir.

Çizelge 2.2. Yüzey pürüzlülüğü üzerine yapılan çalışmaların genel değerlendirmesi

İş parçası	Kesici uç	İşleme biçimi	Uç sayısı	Sonuç	Atıf No
AISI 1020 ve AISI 1040 çelik	Sinterlenmiş karbür takım	Yüzey frezeleme	1	- Yüzey frezeleme deneylerinde aynı kesme şartlarında AISI 1020 çeliği, AISI 1040 çeliğinden daha düşük yüzey pürüzlülük değerleri vermiştir. - Kesme hızlarının artırılması ile daha düşük yüzey pürüzlülük değerleri elde edilmiştir.	21
AISI 304 östenitik paslanmaz çelik	Sinterlenmiş karbür takım	Tornalama	1	- Kesme hızının artması ile yüzey pürüzlülük değerlerinin azaldığı belirtilmiştir. - Düşük kesme hızlarında BUE olduğu ve yüzey kalitesinin kötüleştiği rapor edilmiştir.	22
AISI 304 ve AISI 316 paslanmaz çelik	TiC/TiCN/TiN kaplı ve TiCN/TiC/Al ₂ O ₃ kaplı karbür takım	Tornalama	1	Artan kesme hızı ile yüzey pürüzlülük değerleri belirli bir kesme hızı değerine kadar azalmış ancak kesme hızının bu değerden sonraki artışlarıyla arttığı tespit edilmiştir.	23
Karbon çeliği ve paslanmaz çelik	Karbür takım	Frezeleme		- Her iki deney malzemesi içinde ilerleme miktarının artmasıyla Ra pürüzlülük değeri azalmıştır. - Kesme hızının artan değerlerinde yüzey kalitesi iyileşmiştir. - Paslanmaz çelikteki yüzey kalitesinin karbon çeliğinden daha kötü olduğunu ve bunun da malzemeler arasındaki sertlik ve mikro yapının farklı olmasından kaynaklandığını belirtmiştir.	24

Çizelge 2.2. (Devam) Yüzey pürüzlülüğü üzerine yapılan çalışmaların genel değerlendirmesi

İş parçası	Kesici uç	İşleme biçimi	Uç sayısı	Sonuç	Atıf No
AISI 4340 yüksek dayanımlı alaşımlı çelik (42 HRC ve 50 HRC) ve AISI D2 soğuk iş çeliği	Kaplamalı sinterlenmiş karbür takım, PCBN takım ve alüminyum içerikli seramik kesici takım	Tornalama	1	- Yüzey pürüzlülüğü kesme hızının artması ile iyileşirken ilerleme miktarının artmasıyla kötüleşmiştir. - Talaş derinliğinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde çok az bir etkiye sahip olduğu belirtilmiştir	25
100Cr6 rulman çeliği	Seramik ve PCBN takım	Tornalama	1	$V=116-130$ m/min kesme hızında minimum Ra değerleri elde edilmiştir. - Takımların tamamı benzer pürüzlülük değerleri sağlamış ve Ra değerleri yaklaşık $0,25 \mu\text{m}$ civarında olmuştur	26
AISI 5140 çeliği	PVD ile TiAlN-CVD ile TiN kaplanmış karbür takımlar	Tornalama	1	- Yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en önemli parametrelerin ilerleme miktarı, burun kavis ve kesme hızı olduğu rapor edilmiştir. - TiAlN kaplanmış kesicilerin, sermetlerden sonra en iyi yüzey kalitesi verdiği belirtilmiştir.	27
Soğuk iş takım çeliğini (D2)	Seramik takım	Tornalama	1	Kesme hızının artması ile yüzey pürüzlülük değerlerinin iyileştiği ve artan ilerleme miktarıyla ise kötüleştiği rapor edilmiştir.	28
EN 24T çelik (290 BHN)	Kaplamasız karbür takım	Tornalama	1	Yüzey pürüzlülüğünde ilerleme miktarının etkisi kesme hızı ve talaş derinliğinin etkisinden daha belirgin olduğu rapor edilmiştir.	29

Çizelge 2.2. (Devam)Yüzey pürüzlülüğü üzerine yapılan çalışmaların genel değerlendirmesi

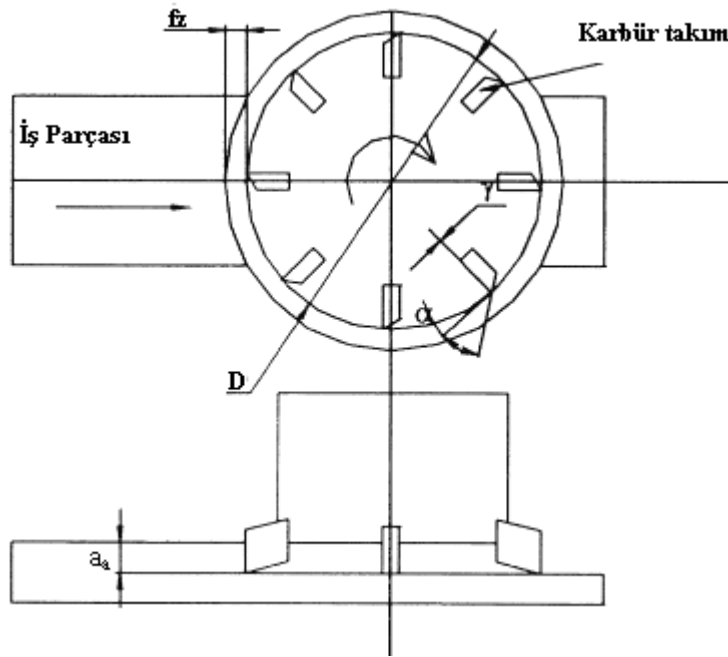
İş parçası	Kesici uç	İşleme biçimi	Uç sayısı	Sonuç	Atıf No
Makine yapım çeliği	Kaplamasız karbür takım	Frezeleme	4	- Kesici uçtaki radyal ve aksenal kaçıklık değerinin artmasıyla yüzey kalitesinin kötüleştiği tespit edilmiştir. - Garanti yüzey pürüzlülüğü istenildiği durumlarda, bu takım hatalarına dikkat edilmesi gerektiği vurgulanmıştır.	31
AISI 1030 çelik	Kaplamasız karbür takım	Tornalama	1	İlerleme miktarı ve kesme hızının azalmasıyla yüzey kalitesinin iyileştiği belirtilmiştir.	32

3. KURAMSAL TEMELLER

3.1. Frezeleme

Frezeleme, kesici takımın kendi ekseni etrafında dönmesi ve parçanın ilerleme hareketi yapması ile gerçekleşen bir işlemdir. Frezeleme, makine, otomotiv ve uçak endüstrisinde büyük bir öneme sahiptir. Frezeleme ile düzlem, eğik, dairesel ve çeşitli profildeki yüzeylerle, vidalar, dişli çarklar ve kanallar istenilen tamlik derecesinde seri olarak yapılabilir. Freze tezgâhlarında kullanılan başlıklara birden fazla tak-kullan-at kesici takım kullanıldığından verimleri yüksektir ve iş yüzeyleri kaliteli çıkmaktadır [1, 2].

Yüzey frezeleme, frezeleme işlemlerinde en çok kullanıma sahip olanıdır. Yüzey frezelemede takım ekseni işlenen malzemeye dik olup, kesme işlemi kesici uçların ucu ve yan kenarı ile yapılır ve iki ardışık eğri ile kuşatılmış bir yay şeklinde teşekkül eder (Şekil 3.1). Bu bakımdan yaklaşım açısı, talaş kaldırma işlemini önemli ölçüde etkiler. Deforme olmamış talaş uzunluğu, takımın parçaya göre konumuna bağlı olarak değişir. Yüzey frezeleme işleminde kesici takımın boyutu önemli bir faktördür. Eğer işlenen yüzeyin genişliği kesici takımın çapından küçük ise frezeleme ya simetrik ya da asimetrik olarak yapılır. Simetrik frezelemede takım ekseni işlenen yüzeyin orta çizgisi ile çakışırken, asimetrik frezelemede çakışma yoktur. Zıt yönlü frezeleme; iş parçası ilerleme yönüyle kesici takımın kesme yönlerinin farklı yönler olmasıdır. Aynı yönlü frezeleme ise; iş parçası ilerleme yönüyle kesici takım kesme yönlerinin aynı yönlerde olmasıdır [30].



Şekil 3.1. Yüzey frezeleme işlemi [24]

3.2. Frezelemede Talaş Kaldırmayı Etkileyen Faktörler

Talaş kaldırma işleminde, kesici takım iş parçası üzerinde belirli kuvvetlerle temas ettiğinde ve kuvvet yönüne doğru hareket ettirildiği zaman takım ucunun temas ettiği malzeme katmanında, önce elastik daha sonrada plastik şekil değişiklikleri oluşarak malzeme tabakasında akmlar başlar. Gerilmeler malzemenin kopma sınırını geçtiği anda “talaş” olarak adlandırılan belirli bir yüzey tabakası, iş parçası boyunca parçadan ayrılır. Bu parçanın ayrılış biçimi, parça malzemesinin mekanik özelliklerine ve kesme şartlarına bağlı olarak değişik bir şekilde gerçekleşir ve farklı talaş tipleri meydana gelir. Bu nedenle, talaş kaldırma işlemine etki eden faktörlerin bilinmesi ve birbirine etkilerinin dikkate alınması gereklidir. Talaş kaldırmayı etkileyen başlıca faktörler;

- Kesici takım ömrü, T_c (s)
- Kesme hızı, V_c (m/min)
- Talaş derinliği, a_a (mm)
- İlerleme hızı, F (mm/min)

- Kesme açıları
- Titreşim durumu, Vi
- Soğutma sıvısı, Ss
- Takım/iş parçası malzeme çifti
- Takım burun yarıçapı, r (mm) dir [34].

3.3. Frezelemede Talaş Kaldırma Parametreleri

3.3.1. Kesme hızı

Bir freze takımının, çevresindeki kesen bir dişin (noktanın) bir dakikada metre cinsinden keserek aldığı yol kesme hızıdır. Kesme hızı aşağıda verilen formül ve birimlerle ifade edilir.

$$V_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (3.1)$$

V_c = Kesme hızı, m/min

n = Devir sayısı, rpm/min

D = Freze takımının çapı, mm

Kesme hızı değerleri, genellikle kesici takım firmalarının kataloglarından seçilmektedir. Uygun kesme hızının seçilmesi takım ömrü ve işleme zamanı açısından önemlidir. Kesici takım düşük kesme hızlarında kullanıldığında işleme süresi artacağından dolayı zaman kaybı olmakta, aşırı hızda ise sürtünme ve ısıdan dolayı takım çabuk aşınmakta ve değiştirilmesi de zaman kaybına yol açmaktadır. Bu şartlarda işlenen malzemeler için uygun kesme hızının seçimi gerekir. Farklı metallerin sertliği, yapısı ve işlenebilirliği değiştiğinden, değişik kesici takım ve iş malzemesi için farklı kesme hızları tercih edilmelidir. Belli bir malzemeyi işlemek için uygun kesme hızının belirlenmesinde:

- İş parçası malzemesi,
- Kesici takım malzemesi,
- Takım çapı,
- Gerekli bitirme yüzeyi,
- Talaş derinliği,
- Tezgâh ve bağlama elemanlarının rijitliği,

gibi faktörler dikkate alınmaktadır [1].

3.3.2. İlerleme hızı

Kesme hızı ve ilerleme hızı birbirine çok yakın şekilde bağlıdır. İlerleme hızı; kesmek üzere döndürülen freze takımının altından, iş parçasının bir dakikada milimetre cinsinden aldığı yoldur. İlerleme hızı aşağıda verilen bağıntı ile hesaplanır.

$$F = fz \times z \times n \quad (3.2)$$

F= İlerleme hızı, mm/min

fz= Diş başına ilerleme, mm/z

z= Frezenin kesici diş sayısı, adet

n= Devir sayısı, rpm/min

Diş başına ilerleme (fz, mm/z) frezeleme işleminde önemli bir büyüklüktür. Freze başlığı çok uçlu bir takımdır, dolayısıyla her ucun yeterli bir talaş kaldırabilmesi için uygun bir ilerleme değerine gereksinimi vardır. Diş başına ilerleme bir kesici kenarın parçaya girişi ile bir sonraki kesici kenarın parçaya girişi arasında geçen sürede tablanın ilerlediği mesafe olarak tanımlanır. Bu nedenle bu büyüklük takımdaki mevcut uç sayısı ve ilerleme hızına bağlı olarak değişir [5].

İlerleme miktarının uygun seçilmemesi, en azından yüzey kalitesini, kesiciyi ve imalat sayısı ile maliyetini etkileyecektir. İlerleme miktarı düşük seçildiğinde

frezeleme işlemi çok geç bitecektir. İlerleme miktarı çok yüksek seçildiğinde ise takım kırılabilir [1].

3.3.3. Talaş derinliği

Talaş derinliği, takımın iş parçası içine dikey olarak aldığı yoldur. Genellikle, a_a ile gösterilir. Talaş derinliğinin uygun seçilmemesi işleme zamanını ve maliyeti etkilemektedir. Yeterli talaş derinliğinin verilmemesi durumunda, işlemi tamamlamak için birden fazla paso gerekecek ve dolayısıyla bu da daha fazla zaman kaybına neden olacaktır [1].

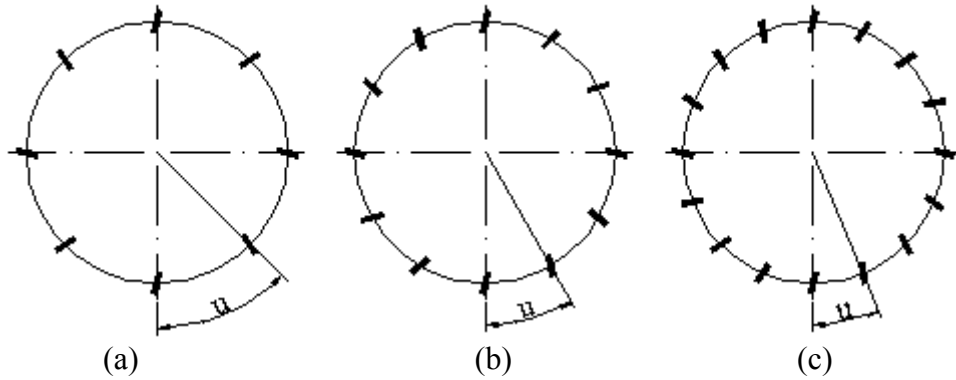
3.4. Frezede Kesici Uç Sayısının Belirlenmesi

Çok kenarlı bir takım olan freze başlığında, kesici uç sayısı (z) değişkendir ve işlem tipine göre kesici uç sayısının belirlenmesi için kullanılan belirli faktörler vardır. İş parçası malzemesi ve boyutları, yüzey kalitesi, işlem için gerekli güç, daha çok iş parçası üretimi ve tezgâha bağlı faktörlerdir. Takımın sağlaması gereken koşullar ise, kesici uç başına yeterli ilerlemenin sağlanması, en az iki kesici kenarın aynı anda kesmeye katılması ve takımın talaş kaldırma kapasitesinin yüksek olmasıdır.

Bir freze için adım (u -yerleştirme mesafesi) kesici kenar üzerindeki bir nokta ile bir sonraki kesici kenar üzerindeki aynı nokta arasındaki mesafedir. Freze başlıkları seyrek, sık ve çok sık yerleştirmeli frezeler olarak sınıflandırılabilirler (Şekil 3.2).

Seyrek yerleştirme freze etrafında daha az kesici uç ve daha büyük talaş cepleri demektir. Bu frezeler genellikle çeliklerin kaba ve ince işlemleri için ve titreşimin, yapılacak işlemin sonucu üzerinde bir olumsuzluk oluşturduğu durumlarda kullanılır.

Sık yerleştirme freze çevresinde daha fazla kesici uç ve orta büyüklükte talaş cepleri demektir. Bu frezeler ile yüksek talaş debileri elde edilir. Normalde dökme demirler ve çeliklerin orta işlemleri için kullanılırlar.



Şekil 3.2. Uç sayısına göre freze başlığı çeşitleri (a) Seyrek yerleştirmeli, (b) Sık yerleştirmeli, (c) Çok sık yerleştirmeli [5]

Çok sık yerleştirme çok küçük talaş ceplerinin bulunduğu yerleştirmedir. Bu yerleştirme çok yüksek tabla ilerlemelerine izin verir. Bu frezeler dökme demir yüzeylerinin darbeli işlemleri, dökme demirlerin kaba işlemleri ve çeliklerde küçük talaş derinlikleri için uygundur. Bunun yanı sıra titanyum gibi kesme hızının düşük tutulmasını gerektiren malzemeler için de kullanılır [5].

3.5. Frezelemede İşleme Süresi

Frezelemede işleme süresi, işin maliyetini etkileyen unsurlardan biridir. Takım çapının büyüklüğünden, ilerleme hızının doğru seçilmemesinden ve bilinçsiz verilecek talaş derinliğinden artmaktadır. Bunlarla yapılacak zaman kaybı toplam maliyeti etkiler [2].

$$Th = \frac{L}{F} \quad (3.3)$$

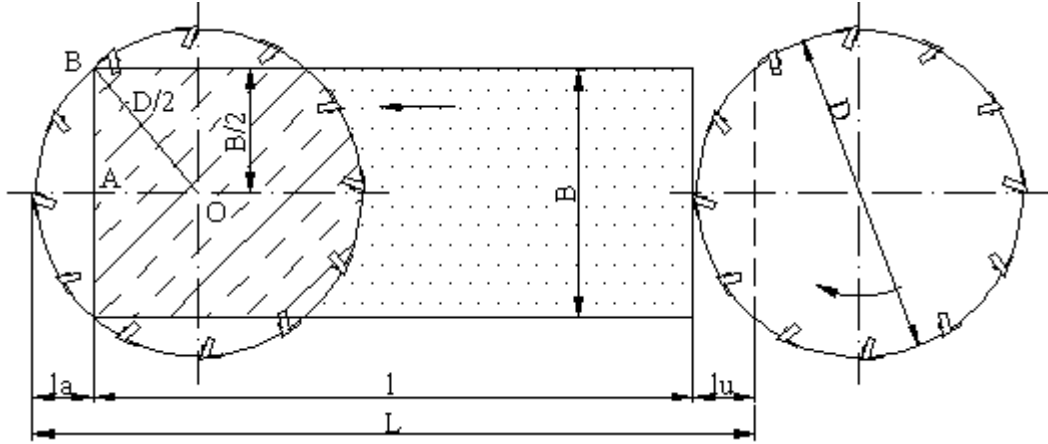
Th= İşleme süresi, dak

L= İşin frezelenmesi için tablanın hareket boyu, mm

F= İlerleme hızı, mm/min

Şekil 3.3'te gösterilen alın frezeleme işlemlerinde tabla hareket boyu (L) görülmektedir. Burada işlenecek parça boyuna (l) takımın iş parçasına giriş ve çıkış

uzaklıkları (l_u , l_a) ilave edilir ve yukarıda verilen formülde yerine yazılarak işleme süresi bulunur.



Şekil 3.3. Alın frezelemede tablo hareket boyu [33]

$$Th = \frac{l + l_a + l_u}{fz \times z \times n} \quad (3.4)$$

l : İş parçasının boyu, mm

l_a : Çıkış uzaklığı, mm

l_u : Giriş uzaklığı, mm

fz : Diş başına ilerleme miktarı, mm/z

z : Diş sayısı, adet

n : Devir sayısı, rpm/min

Giriş uzaklığı, Şekil 3.3'te verilen OAB dik üçgeninden;

$$l_u = \frac{D - \sqrt{D^2 - B^2}}{2} \quad (3.4)$$

olarak yazılabilir. Burada;

D : Kesici takım çapı, mm

B : İş parçası genişliği, mm' dir.

Giriş uzaklığı da açılmış haliyle tekrar yazılırsa işleme süresi;

$$Th = \frac{l + la + \frac{D - \sqrt{D^2 - B^2}}{2}}{fz \times z \times n} \quad (3.5)$$

şeklinde ifade edilir [33].

3.6. Yüksek Hızda İşleme (YHİ)

YHİ, genel olarak 10 000 – 100 000 rpm/min gibi yüksek iş mili hızlarında yüksek ilerleme hızı kullanılarak yapılan frezeleme işlemi olarak tanımlanmaktadır. Bu işlem ilk olarak alüminyum gibi hafif alaşımların işlenmesinde kullanılmıştır. Makine takımları, kesici takımlar ve CAD/CAM sistemlerindeki gelişmeler sonucunda, günümüzde kalıpcılık endüstrisindeki parça üretiminde kullanılır duruma gelmiştir.

YHİ' nin temel amacı, yüksek hızlı ve kaliteli işleme ile kalıp üretim sürecinin kısaltılması ve bu sayede maliyetlerin düşürülmesidir. YHİ'nin avantajları dört ana başlık halinde toplanabilir.

i) Malzeme çeşitlerine bağlı olarak işleme süresi kısalmır. Düşük talaş derinliği, yüksek ilerleme hızı, gelişmiş takım tutucu ve kesici takım kullanmak kaydıyla, dökme demir, ön sertleştirme yapılmış çelik, metal olmayan alaşımlar ve sert metaller (sertleştirilmiş çelik, titanyum, Inconel) vb. geniş bir malzeme çeşidini YHİ teknolojisi ile frezelemek mümkündür.

ii) Kalıpların imalat süresi kısalmır. Kaba ve hassas işlemenin tek bir CNC tezgâhında yapılması, geleneksel işleme adımlarını ortadan kaldıracaktır. YHİ yöntemi ile tek bir CNC tezgâhı kullanılarak sertleştirilmiş malzeme üzerinde, yüksek kaliteli işleme yüzeyi elde edilebilir ve bu sayede toplam kalıp üretim süresi kısaltılmış olur.

YHİ’de yüksek kaliteli bitirme yüzeyi elde edilebildiği için, işleme sonrası parlatma büyük miktarda azalır.

iii) Hazırlık süresi ve takım sayısı azalır. YHİ yönteminde çoğu işlem aynı takım ile gerçekleştirildiği için daha az takım gerekmekte, takım hazırlık ve referanslama için geçen zaman azalmaktadır. Bu durum toplam süreçte zaman ve maliyet açısından büyük avantaj getirmektedir.

iv) Geleneksel işleme ile karşılaştırıldığında işleme maliyeti düşüktür [35].

3.7. Takım Ömrü

Takım ömrü, pratik çalışmalarda istenilen boyutta ve yüzey kalitesinde iş parçalarını üretmek için takımın körlenme zamanı yani takımın daha fazla kesme özelliğini sürdürememesi olarak adlandırılabilir. Ancak, her bir takım için takım ömrü kesme şartlarına bağlı olarak farklı olacaktır. Ekonomik bir takım ömrü, uygun kesme şartlarında ve kesici takım ile sağlanabilmektedir. Fakat, uygun değerlerin seçilmemesi durumunda takım ömrü kısılacaktır. Takımın körlenmesi sonucu bilinmesi veya değiştirilmesi maliyetleri yüksek olduğundan, çok kısa takım ömrüne sahip olan takımlar ekonomik olmayacaktır. Başka bir ifadeyle, uzun takım ömrü elde etmek için, çok düşük kesme hızı ve ilerleme hızının kullanılması, üretim hacmini düşüreceğinden dolayı ekonomik olmayacaktır. Uygun takım ömrünün belirlenmesi için, kesici takımda meydana gelecek aşınma mekanizmaları ve tiplerinin iyi analiz edilmesi gerekmektedir. Uluslararası standartlara göre aşınma ile takımın bozulması, takım ömrünün belirlenmesinde belirli kriterler kullanılmaktadır. Birden fazla aşınma türünün ölçülebildiği yerde, her tip kaydedilmeli bunlardan herhangi birisi aşınma kriteri limitine ulaştığı zaman takım ömrüne ulaşılmış kabul edilir [3, 28, 40].

3.8. Takım Aşınması

Aşınma, kesici takımın malzeme kaybindan ileri gelen ve ilk şekline göre oluşan farklılıktır. Takım aşınması, kesici kenar üzerine uygulanan yük faktörlerinin bir kombinasyonunun ürünüdür. Kesici kenarın ömrü, kenar geometrisini değiştirmeye çalışan bu faktörler sayesinde belirlenir. Aşınmaya sebep olan esas yük faktörleri; mekanik, ısı, kimyasal ve sürtünme faktörleridir [3].

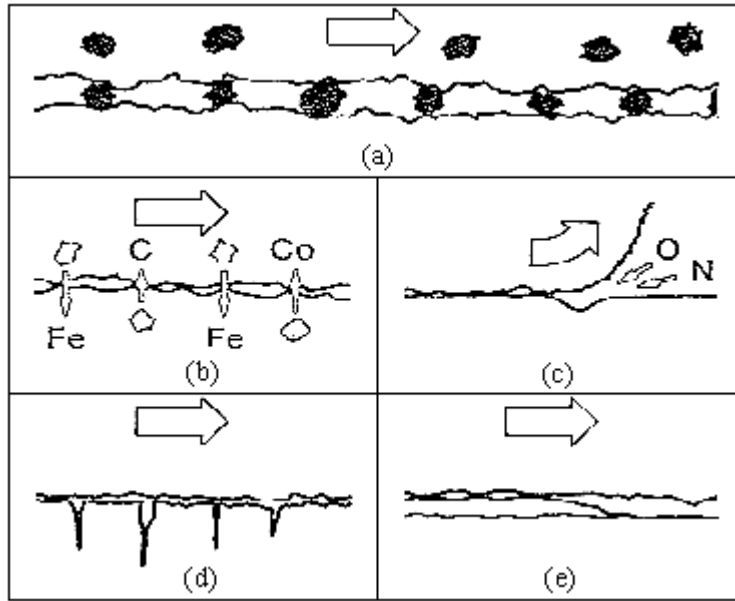
Talaş oluşumu sırasında talaş çok yüksek bir basınçla takım yüzeyine basmakta, talaşın akma sırasında takım yüzeylerinde büyük sürtünmeler meydana gelmektedir (sürtünme katsayısı 0,5–1 arasındadır). Gerek sürtünmelerden, gerekse malzemenin plastik şekil değiştirmesinden ve talaş oluşumundan dolayı yüksek ısı oluşmaktadır. Talaş kaldırma sırasında meydana gelen sürtünmeler ve sıcaklık ise takımın aşınmaya karşı mukavemetini azalttığı aşınmayı hızlandıran bir etkidir. Sürtünme, parçadan çıkan talaş ile talaşın takım üzerinde kaydığı yüzey (talaş yüzeyi) arasında ve parçanın işlenmiş yüzeyi ile takımın bu yüzeye bakan yüzeyleri (serbest yüzey ve yanak) arasında meydana gelmektedir. Dolayısıyla aşınma; talaş yüzeyinde, yanakta ve serbest yüzeyde veya her üç yüzeyde de meydana gelebilir [14].

3.9. Takım Aşınma Mekanizmaları

Talaş kaldırma sırasında kesici kenar üzerinde etkili olan yük faktörlerinin sonucu olarak, bazı temel aşınma mekanizmaları meydana gelir [3]. Bunlar:

- a) Abrasiv aşınma
- b) Difüzyon ile aşınma
- c) Oksidasyon aşınması
- d) Yorulma ile aşınma
- e) Adhesiv aşınma

şeklinde özetlenebilir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Metallerin işlenmesi sırasında oluşan temel aşınma mekanizmaları, (a)Abrasive, (b)Difüzyon, (c)Oksidasyon, (d)Yorulma, (e)Adhesiv [3]

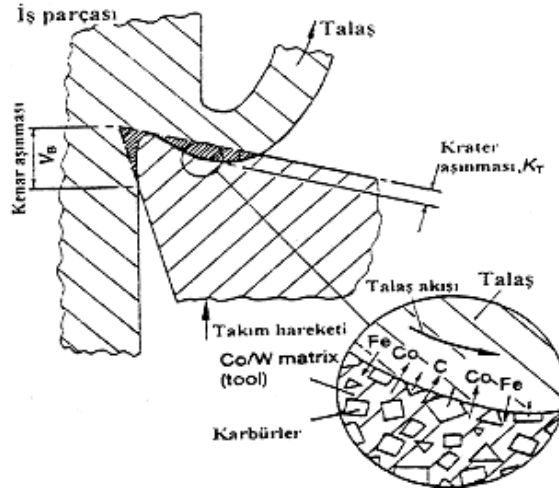
3.9.1. Abrasiv aşınma

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

3.9.2. Difüzyon ile aşınma

Difüzyon aşınmasında, talaş kaldırma işlemi esnasında oluşan kimyasal yükler daha etkilidir. Takım malzemesinin kimyasal özellikleri ve takım malzemesinin iş parçası malzemesiyle olan birleşme eğilimi, difüzyon aşınma mekanizmasının oluşmasını belirleyecektir. Tungsten karbür ve çelik birbirine karşı difüzyon aşınma mekanizmasının oluşmasına sebep olan birleşme eğilimine sahiptirler. Bu aşınma sonucunda takımın talaş yüzeyinde krater oluşması söz konusudur. Mekanizma daha çok sıcaklığa bağlıdır ve bu sebeple yüksek kesme hızlarında daha büyüktür.

Difüzyon aşınması, karbonun talaşa difüzyonu ve takım içine çelikten demir transferi şeklinde meydana gelmektedir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Karbür takımlarda krater oluşumu ve difüzyon mekanizması [36]

3.9.3. Oksidasyon aşınması

Pek çok malzeme için oksitlenme oldukça farklı olmakla beraber, metal malzemelerin çoğu için yüksek sıcaklık ve havanın varlığı oksidasyon demektir. Bazı kesici takımlar oksidasyon sebebiyle aşınmaya daha meyillidir. Kesici takımlarda oksitlenme, özellikle kesici kenarla parçanın ara yüzeyinde, talaş genişliğinin bittiği yerde (talaş derinliğinde), hava talaş kaldırma sürecine katılma imkânı elde eder. Oksidasyon bu bölgede, kesici kenarda tipik çentiklerin oluşmasına sebep olur. Ancak bu aşınma günümüz işleme şartlarında nispeten yaygın olmayan bir aşınma çeşididir [3, 37].

3.9.4. Yorulma ile aşınma

Yorulma aşınması genellikle termo-mekanik bir kombinasyondur. Sıcaklık dalgalanmaları ve kesme kuvvetlerinin değişmesi, kesici kenarda çatlamalara ve kırılmalara sebep olur. Titreşimli ve seri darbeleri talaş kaldırmada, sıcaklık etkisi altında, kritik bir periyodik yüklemenin oluşması ile takım malzemesi termal olarak

yorulur. Yorulma sonucunda çatlaklar ilerleyerek mikroskobik boyutta küçük parçacıkların kopmasına, bunun sonucu olarak da yorulma ile aşınmanın meydana gelmesine sebep olmaktadır.

3.9.5. Adhesiv aşınma

Bu aşınma mekanizması, takımın talaş yüzeyinde çok düşük işleme sıcaklıklarında oluşur. Uzun talaş ve kısa talaş veren iş parçalarının hepsinde de söz konusu olabilir. Bu mekanizma genellikle, kesici kenar ile talaş arasında, kenarda BUE oluşmasına sebep olur. Takım yüzeyinde oluşan yığılma talaş, koparak uzaklaşır ve tekrar birikmeye başlayabilir veya kesici kenardan küçük parçacıkların kırılıp uzaklaşmasına, kırılmaya sebep olabilir.

3.10. Takım Aşınma Tipleri

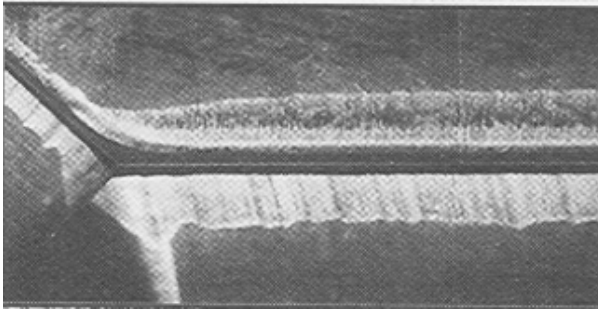
Takım aşınma mekanizmalarının biri veya bir kaçının bir araya gelmesi sonucu takımın, aşağıda verilen takım aşınma tipleri oluşur. Çizelge 3.1’de aşınma mekanizmalarından kaynaklanan aşınma tipleri verilmiştir.

Çizelge 3.1. Aşınma mekanizmalarından kaynaklanan aşınma tipleri [3]

Aşınma tipi	Aşınma mekanizmaları
Yan yüzey (yanak) aşınması	Abrasiv aşınma mekanizması
Krater aşınması	Abrasiv ve difüzyon aşınma mekanizması
Plastik deformasyon	Yorulma aşınma mekanizması
Çentik aşınması	Oksidasyon ve yapışma mekanizması
Termal çatlaklar	Termal yorulma mekanizması
Mekanik yorulma çatlakları	Mekanik yorulma mekanizması
Çentikleme	Yorulma mekanizması (termal ve mekanik)
Kırılma (kesici ucun kırılması)	Plastik deformasyon
Yığılma-sıvanma (BUE)	Adhezyon aşınma mekanizması

3.10.1. Yan yüzey aşınması

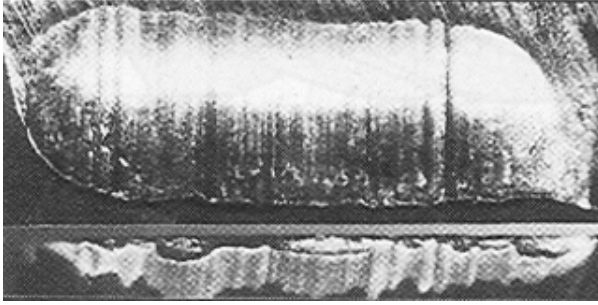
Kesici kenarın yan yüzeylerinde genellikle, abrasiv aşınma mekanizmasından kaynaklanan aşınma tipidir (Resim 3.1). Talaş oluşumu sırasında ana kesici kenar, yardımcı kesici kenar ve uç radyüsü iş parçası ile temastadır. Bu temas nedeniyle oluşan yan yüzey aşınması en yaygın ve beklenen aşınma tipidir. Aşırı yan yüzey aşınması sonucu daha kötü yüzey dokusu ve hassasiyetinden sapma söz konusu olur ve kesici kenar şekil değiştirdiğinden sürtünme artar [3].



Resim 3.1. Kesici uçtaki yan kenar aşınması [38]

3.10.2. Krater aşınması

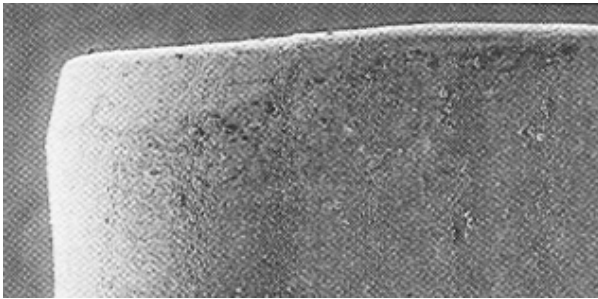
Bu aşınma tipi, talaş yüzeyinde abrasiv ve difüzyon aşınma mekanizmaları sebebiyle oluşur. Krater aşınması talaş yüzeyinin kesici kenara paralel aşınarak çukurlaşmasıdır ve en sık rastlanan yüzey aşınma tipidir (Resim 3.2). Sertlik, sıcak sertlik ve malzemeler arasındaki minimum kimyasal yakınlık krater aşınması eğilimini de minimize eder.



Resim 3.2. Kesici uçtaki krater aşınması [38]

3.10.3. Plastik deformasyon

Bu aşınma tipi, kesici kenar üzerindeki yüksek basınç ve yüksek sıcaklık kombinasyonunun bir sonucu olarak ortaya çıkar. Takım malzemesini plastik deformasyona karşı koyabilmesi için yüksek sıcaklık sertliğine sahip olmalıdır. Kesici kenarın deformasyonu daha yüksek sıcaklıkların oluşmasına, geometrinin ve talaş akışının değişmesine neden olacaktır (Resim 3.3)



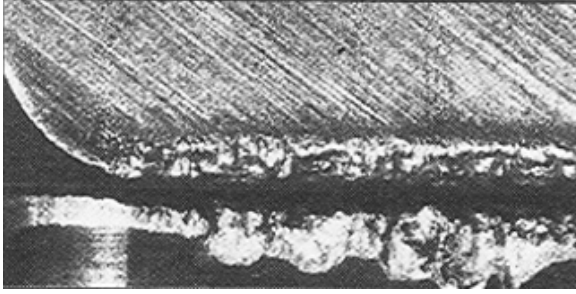
Resim 3.3. Kesici uçtaki plastik deformasyon [38]

3.10.4. Çentik aşınması

Yardımcı kesici kenarda çentik aşınması tipik bir adhesiv aşınması olmakla beraber oksidasyon aşınma mekanizmasıyla büyüyebilir. Yan kesme kenarında çentik oluşması, mekanik yüklerin bir sonucudur ve genellikle sert malzemelerin işlenmesi sırasında oluşur. Aşırı çentik aşınması, bitirme talaşındaki yüzey dokusunu etkiler ve kesici kenarın dayanımını zayıflatır (Resim 3.4). Çentik aşınması takımdan önceden

3.10.7. Çıtlama (Çentiklenme)

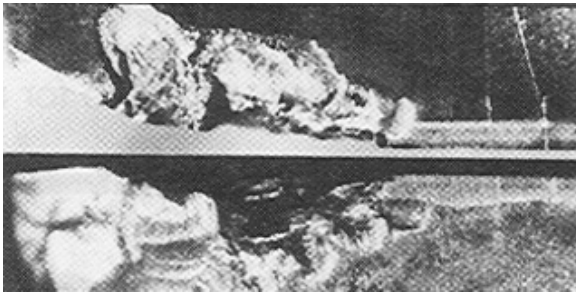
Kesici kenarda meydana gelen çentikler, aşınmadan ziyade kesici kenar hattındaki küçük boyutlu kırılmalardır. Çoğunlukla, kesikli (darbeli) çalışma bu aşınma tipine neden olur (Resim 3.6).



Resim 3.6. Kesici uçta çentiklenme [38]

3.10.8. Kırılma

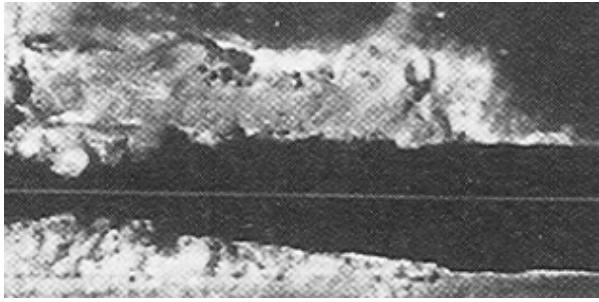
Kırılma, kesici kenarın görevinin tamamen sona ermesidir. Plastik deformasyon sonucu takımın kırılması en tehlikelisi olup, mümkün olduğunca bundan kaçınılmalıdır. Kenar kırılması genellikle diğer aşınma tiplerinin en son noktasıdır (Resim 3.7).



Resim 3.7. Kesici uçta kırılma [38]

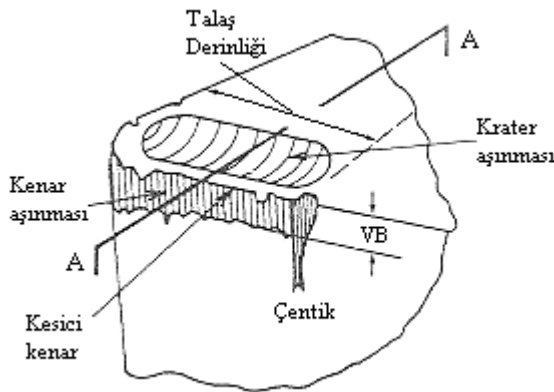
3.10.9. Yığılma- sıvanma (BUE)

BUE oluşması, genellikle sıcaklık ve onunla ilişkili bir durum olan kesme hızının etkisindedir. BUE kesici kenar geometrisinde olumsuz değişikliğe sebep olur ve aynı zamanda takım malzemesi BUE biçiminde kaynaklanmış malzemeyle birlikte koparak uzaklaşabilir (Resim 3.8). Kesici takım malzemesi ile iş parçası malzemesi arasındaki yapı benzerliği de BUE oluşumunda önemli rol oynar [3].



Resim 3.8. Kesici uçta BUE oluşması [38]

Şekil 3.6’da aşınma mekanizmaları sonucu oluşan takım aşınma tiplerinin kesici takım üzerindeki konumları gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Bazı takım aşınma tiplerinin kesici takımdaki yeri [39]

3.11. Takım Ömrü Standardı

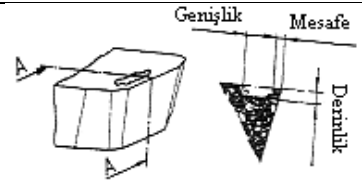
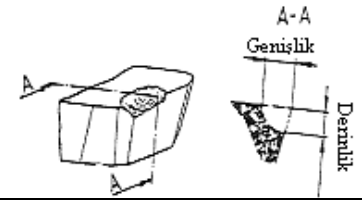
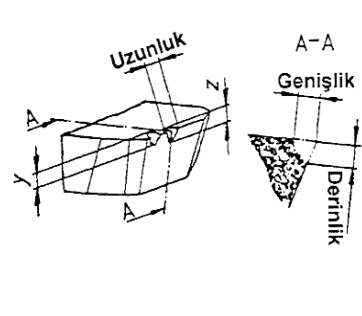
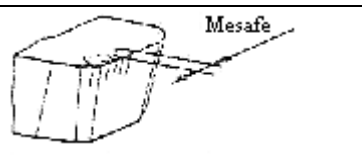
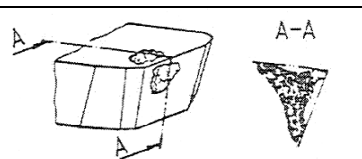
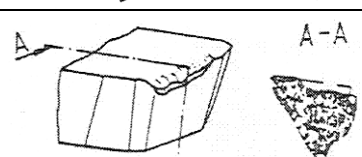
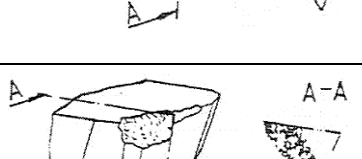
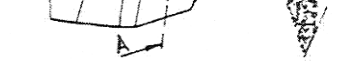
Frezelemede takım ömrü deneyleri, ISO 8688–1 standardında verilen takım aşınma kriterlerine göre yapılmaktadır [40]. Çizelge 3.2’de, deney esnasındaki her ölçme aşamasında gözlemlenen bozulma durumunu tarif etmek amacıyla bir kodlama sistemi için tavsiyeler ve şekilli örnekler verilmektedir. Takım ömrünü belirlemek ve farklı deney parametrelerinin etkisini karşılaştırmak için, kesici kısmın tanımlanmış bozulma tiplerinden birinin seçilmesi gereklidir. Geleneksel çelik ve dökme demir kullanıcılarının büyük çoğunluğunun deney kurallarını sağlaması amacıyla her bozulma kriteri için üç sınırlayıcı değerden oluşan bir seri belirtilmiştir.

Normal (N): Bu başlık altındaki değerler, standartlara uygun kesme şartlarında, kesici takım ve iş malzemesine göre belirlenmiştir. Seçilen değerlerin güvenilirliği, deney masraflarını ve normal bozulma yoğunluğunu makul oranlarda kapsar. Normal olarak kesici kısımlarında tam bozulma olmadan bu sayısal değerlerden birine ulaşılır.

Geniş (L): Bu başlık altındaki değerler belirli deney şartlarında takımın kapasitesi hakkında daha fazla bilgi verir. Bu değerlerin kullanımı, kesici parçaların tam potansiyeli ve son bozulması değerlendirilecek ve daha yüksek malzeme tüketim maliyetleri engelleyici değil ise tavsiye edilir.

Dar (S): Bu başlık altındaki değerler belirli deney şartlarında takımın kapasitesi hakkında daha az bilgi verir. Bu en küçük değerlerin kullanımına sadece, malzeme tüketim maliyetlerinin çok yüksek olduğu yüksek aşınma dirençli kesici takımlar veya çok pahalı iş malzemeleri gibi durumlarda izin verilir [40].

Çizelge 3.2. ISO 8688-1'e göre takım ömrü belirleme kriterleri [40].

Kod	Takım Aşınma Tipleri		Kriter, mm			Gösterimli örnek	
			Dar	Normal	Geniş		
VB 1 2 3	Yanak aşınması Düzenli Düzenli olmayan Bölgesel		0,2 0,9 0,8	0,35 1,2 1	0,5 1,5 1,2		
KT 1 2	Yüzey aşınması						
	Krater aşınması:	Derinlik	0,05	0,1	0,15		
		Genişlik	...				
		Mesafe	...				
		Basamak oluşumu:	Derinlik	0,25	0,3	0,35	
			Derinlik/genişlik	...			
CH 1 2 3 A B C	Çentiklenme (kırılma) Düzenli Düzenli olmayan Bölgesel		Tekabül eden uzunluk değerleriyle birlikte y ve z için				
	Uzunluk, mm						
	Mikro-Çentik <0,3		0,2	0,25	0,3		
	Makro-Çentik 0,3'den 1'e		0,25	0,4	0,5		
	Kırılma >1						
CR 1 2 3	Çatlaklar Kenara dik çatlaklar Kenara paralel çatlaklar Düzensiz yön		En geniş çatlakların sayısı ve bunların arasındaki ortalama uzaklık kaydedilmelidir				
FL	Pullanma		Olağan üstü durumlarda kriter olarak kullanılmalabilir.				
PD	Plastik deformasyon						
							
CF	Tam bozulma						

3.12. Kaldırılan Talaş Hacmi

Kaldırılan talaş hacmi, işlenmiş iş parçasından kaldırılan malzeme miktarı olup mm^3/min veya cm^3/min cinsinden ölçülür. Talaş kaldırma miktarı aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır [41].

$$V = \frac{L \times F \times a_a}{1000} = \frac{a_a \times fz \times Vc \times z}{\pi \times D} \quad (3.6)$$

V = Kaldırılan talaş hacmi, cm^3/min

L = Kesme genişliği, mm

Vc = Kesme hızı, m/min

F = İlerleme hızı, mm/min

fz = Diş başına ilerleme, mm/z

a_a = Talaş derinliği, mm

z = Diş sayısı, adet

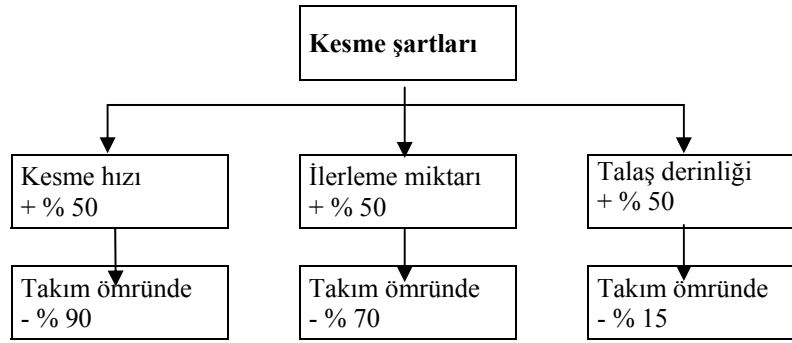
D = Freze takımının çapı, mm

Kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliğinden herhangi biri değiştirildiğinde kaldırılan talaş hacmi de değişir. Örneğin, kesme hızı veya talaş derinliği % 25 arttırılırsa kaldırılan talaş hacmi de % 25 artacaktır [34].

Şekil 3.7’de kesme şartlarındaki değişimin takım ömrü üzerindeki etkisi gösterilmektedir. Burada, kesme parametrelerinin % 50 oranında artırılması sonucu takım ömürlerinde meydana gelen azalmalar gösterilmektedir.

- Talaş derinliğinin % 50 oranında arttırılması halinde takım ömrü % 15 oranında azalmaktadır.
- İlerleme miktarının % 50 oranında arttırılması halinde takım ömrü % 70 oranında azalmaktadır.
- Kesme hızının % 50 oranında arttırılması da takım ömrünü % 90 oranında azaltmaktadır.

- Kesme hızında meydana gelen değişikliklerin takım ömrü üzerine hem talaş derinliği hem de ilerleme hızından daha büyük etkiye sahip olduğu görülmektedir [34].



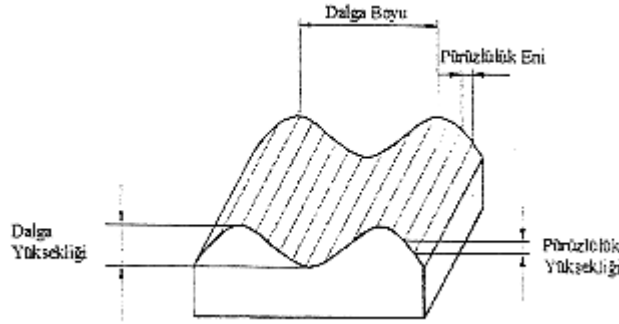
Şekil 3.7. Kesme işlemine etki eden faktörler [34]

3.13. İmalatta Yüzey Pürüzlülüğü

Talaş kaldırma işleminde, tezgâha girişlerin ve tezgâha dahil diğer önemli çıkışların da dikkate alınması gerekir. Bunlar arasında kesici takım malzemeleri, işlenecek iş parçası, tezgahın kinematığı, stabil olması ve ekonomikliği sayılabilir. Bunlara ilaveten, gerekli hassasiyet ve yüzey pürüzlülüğü son amacı belirlediğinden en önemli çıkış parametresidir. Son yüzeylerin çok önemli olduğu yerde özellikle makine imalatında, bitirme işlemi tamlığının her zaman dikkatle tasarlanması gereklidir [36].

3.14. Yüzey Pürüzlülüğü

Talaş kaldırma ile işlenen yüzeylerde, dalga ve pürüzlülük olmak üzere iki türlü yüzey sapması meydana gelir (Şekil 3.8). Dalgalık, yüzeyin geometrik şeklini karakterize ederken, pürüzlülük yüzey kalitesini tayin eder. Standart yüzey pürüzlülüğü değerlendirme kriterleri, yüzeye dik olan bir kesitte belirli bir numune uzunluğu boyunca, belirli bir referans profiline ve profil ortalama çizgisine göre tayin edilir. Profil ortalama çizgisinin yeri, bu çizginin üstünde ve altında kalan alanların toplamı birbirine eşit olarak belirlenir [42].



Şekil 3.8. Yüzey kalitesini tayin eden faktörler [30]

Yüzey pürüzlülüğü ölçümlerinde genellikle ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) dikkate alınır. Ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) gereksinimi yaklaşık olarak $1,6 \mu m$ ' yi geçtiği durumlarda çoğu zaman imalatçılar yüzey pürüzlülüğünü ölçmekten çok görsel kontrolü seçerler. Yüzey pürüzlülüğünün çok önemli olduğu durumlarda yüzey pürüzlülüğü kalite kontrolü gerekir. Bunun için uluslararası yüzey pürüzlülük standardı belirlenmiştir. Ülkemizde TS 2040 nolu yayımla yüzey kaliteleri bir standarda bağlanmıştır. Daha sonra bunu TS 2495, TS 971, TS 2578, TS 6956 ve TS 930 standartları izlemiştir [27].

Yüzey kalitesini etkileyen birçok faktör vardır. Parçanın işlenmesi sırasında takım hatalarına ve kesme sırasında meydana gelen titreşimlere bağlı olarak iş parçasında geometriksel hatalar meydana gelir. Kesici takım hataları; takımın hatalı olarak yerleştirilmesi, kesici takımın kesme esnasında kesme kuvveti etkisiyle şekil değiştirmesi ve takım aşınması olarak karşımıza çıkar [30].

3.15. Yüzey Pürüzlülüğünün Ölçümü ve Gösterimi

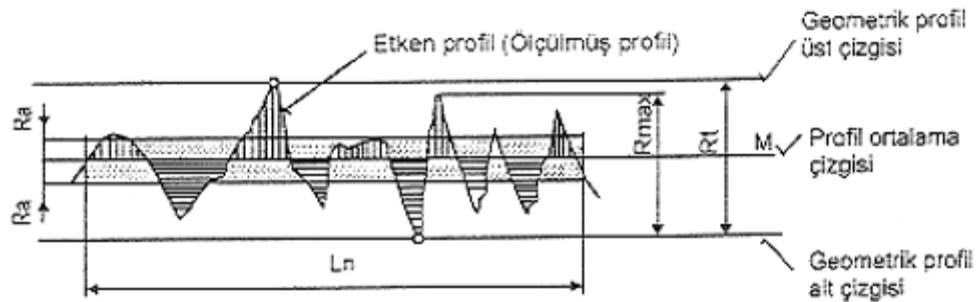
Bitirme yüzeyinin yapısı ve gösterimi ANSI standardında ve ISO 1302'de belirtildiği gibi sembollerle gösterilir. Pürüzlülük, profil ortalama çizgisinden mikron (μm) olarak ifade edilen aritmetik ortalama sapma olarak tanımlanır.

3.15.1. Ortalama yüzey pürüzlülüğü, Ra

Belirli bir ölçüm uzunluğundaki (l_n) ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a), merkez çizgisinden ölçüm uzunluğuna kadar olan mesafede ölçülen yükseklik değişimlerinin mutlak değerlerinin aritmetik ortalamasıdır (Şekil 3.9). Kalite kontrolünde dünya çapında kabul görmüş bir yüzey pürüzlülük parametresidir. Bu parametrenin tanımlanması ve ölçülmesi kolaydır. Yükseklik dağılımları hakkında genel bir tanımlama getirdiği için dalga boyu ve profildeki hassas değişimler hakkında yeterli bilgi vermez. R_a yüzey pürüzlülüğünün matematiksel tanımlaması aşağıdaki eşitlikler ile ifade edilmektedir.

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

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



Şekil 3.9. Ortalama yüzey pürüzlülüğü, R_a [43]

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

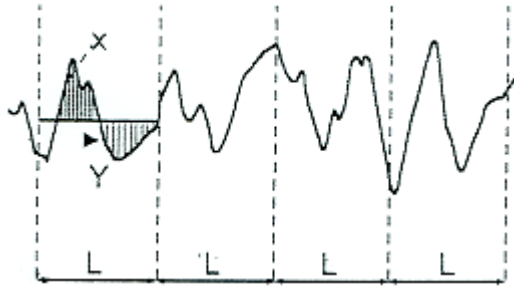
3.15.2. Profilin karelerinin ortalamasının karekökü, R_q

R_q , profil ortalama çizgisi ile oluşturduğu yükseklik değişimlerinin (Y_i) karelerinin ortalamasının karekökü olarak tanımlanmaktadır (Şekil 3.10). Bu parametre ortalama yüzey pürüzlülüğü R_a 'dan daha hassas bilgi vermektedir. R_q yüzey pürüzlülüğünün matematiksel ifadesi;

$$R_q = \left(\frac{1}{N} \sum Y_i^2 \right)^{1/2} \quad (3.9)$$

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{L} \int_0^L x^2 |x| dx} \quad (3.10)$$

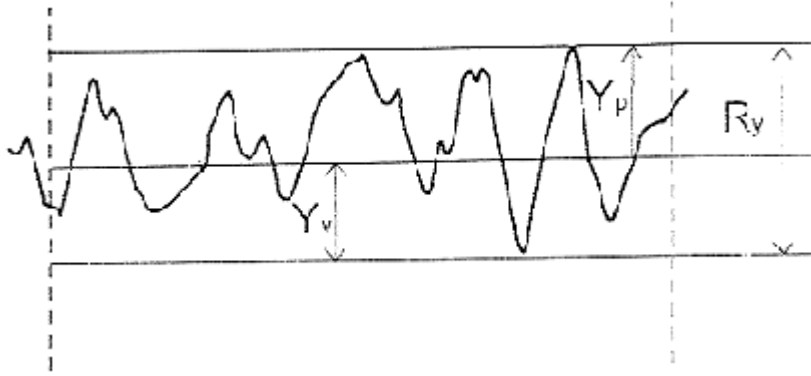
eşitlikleri ile ifade edilebilir.



Şekil 3.10. Profilin karelerinin ortalamasının karekökü, R_q

3.15.3. Profildeki iki noktanın yüksekliği, R_y

R_y , Şekil 3.11'da belirtildiği gibi ortalama çizgisine göre, üstte kalan en yüksek tepenin yüksekliği olan Y_p ile alta kalan en derin vadinin derinliği olan Y_v 'nin toplamıdır.



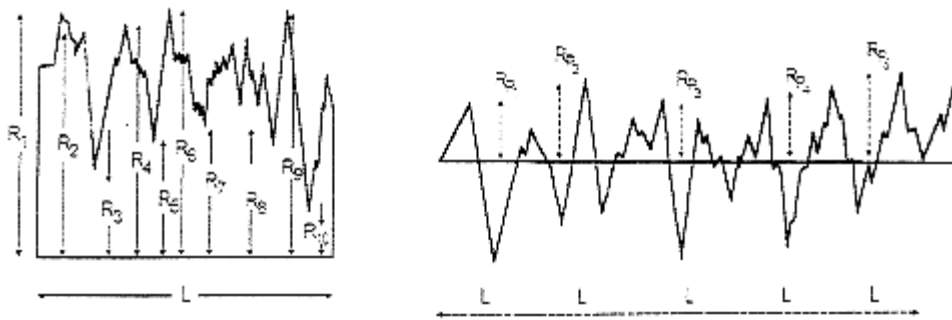
Şekil 3.11. Profildeki iki noktanın yüksekliği, R_y

R_y yüzey pürüzlülüğünün matematiksel tanımlaması aşağıdaki eşitlik ile ifade edilir.

$$R_y = Y_p + Y_v \quad (3.11)$$

3.15.4. Profilin maksimum yüksekliği, R_z ve maksimum tepe yüksekliği, R_p

R_z ve R_p , Şekil 3.12’de ifade edildiği gibi profil tepe yüksekliği ve derinliklerinin her örnekleme uzunluğu için değerlerinin toplamının, toplam örnekleme uzunluğu miktarına bölünerek hesaplanır [43].



Şekil 3.12. Profilin tepe ve maksimum yükseklikleri

R_z yüzey pürüzlülüğünün matematiksel ifadesi;

$$R_z = \frac{(R_1 + R_2 + R_4 + R_6 + R_9) - (R_3 + R_5 + R_7 + R_8 + R_{10})}{L} \quad (3.12)$$

$$R_p = \frac{(R_{p1} + R_{p2} + R_{p3} + R_{p4} + R_{p5})}{5} = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^{i=5} R_{pi} \quad (3.13)$$

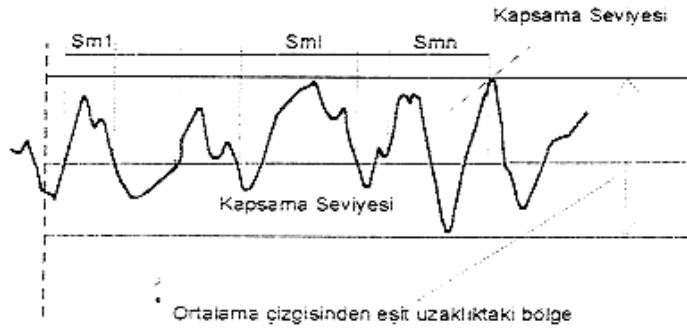
eşitlikleri ile ifade edilebilir.

3.15.5. Profilin toplam yüksekliği, Rmax

Rmax, ölçüm uzunluğu boyunca en yüksek tepe noktasının yüksekliği ile en dip noktasının yüksekliğinin toplamı olarak ifade edilmektedir.

3.15.6. Profil elemanlarının genişliğinin ortalaması, Rsm

Tepe profili ve buna komşu olan vadi profillerine “profil elemanları” denir. Örnekleme uzunluğunda yer alan profil elemanlarının genişliği Sm ile ifade edilmektedir (Şekil 3.13).



Şekil 3.13. Profil elemanlarının genişliğinin ortalaması, Rsm

3.16. Yüzey Pürüzlülüğünde Kullanılan Standartlar

JIS B0601–1982, JIS B0601–1994, AISI, DIN ve ISO gibi oldukça yaygın ulusal ve uluslararası standartlarda, örnekleme sayısı, ölçüm boyu ve toplam kurs boyu aralıkları tarif edilmiştir. ISO standardına göre değerlendirmeler, Çizelge 3.3, 3.4 ve 3.5’de belirtilmiştir [27].

Çizelge 3.3. Rsm için standart örnekleme ve değerlendirme uzunlukları [27]

Rsm (μm)	Örnekleme uzunluğu, l (mm)	Ölçme uzunluğu, ln (mm)
$0,013 < R_{sm} < 0,04$	0,08	0,4
$0,04 < R_{sm} < 0,13$	0,25	1,25
$0,13 < R_{sm} < 0,4$	0,8	4
$0,4 < R_{sm} < 1,3$	2,5	12,5
$1,3 < R_{sm} < 4$	8	40

Çizelge 3.4. Ra ve Rq için standart örnekleme ve değerlendirme uzunlukları [27]

Ra-Rq (μm)	Örnekleme uzunluğu, l (mm)	Ölçme uzunluğu, ln (mm)
$0,006 < R_a < 0,02$	0,08	0,4
$0,02 < R_a < 0,1$	0,25	1,25
$0,1 < R_a < 2$	0,8	4
$2 < R_a < 10$	2,5	12,5
$10 < R_a < 80$	8	40

Çizelge 3.5. Rz, Rt ve Rp için standart örnekleme ve değerlendirme uzunlukları [27]

Rz, Rt, Rp (μm)	Örnekleme uzunluğu, l (mm)	Ölçme uzunluğu, ln (mm)
$0,025 < R_z < 0,1$	0,08	0,4
$0,1 < R_z < 0,5$	0,25	1,25
$0,5 < R_z < 10$	0,8	4
$10 < R_z < 50$	2,5	12,5
$50 < R_z < 200$	8	40

3.17. Sinterlenmiş Karbür Uçlar

Sinterlenmiş karbür uçlar, sert karbür parçacıklarının bir bağlayıcı ile birlikte birleştirilmesiyle elde edilir. Sinterlenmiş karbür, bir toz metalürjisi ürünüdür. Karbür yapımında tungsten karbür (WC), titanyum karbür (TiC), tantalum karbür (TaC) ve niobyum karbür (NbC) kullanılır. Bağlayıcı madde olarak kullanılan malzeme ise çoğunlukla kobalttır (Co). Çizelge 3.6’da bu karbürlerle ilgili özellikler verilmiştir [3, 34].

Sinterlenmiş karbür uçların özellikleri önemli ölçüde değişkendir. Bazıları diğerlerinden daha sert olabilirken bazıları ise daha toktur. Bunun sebebi karbür parçacıklarının boyutu ve tipi, bağlayıcı miktarı ve tipi, üretim teknikleri ve kalitenin farklılığından kaynaklanmaktadır.

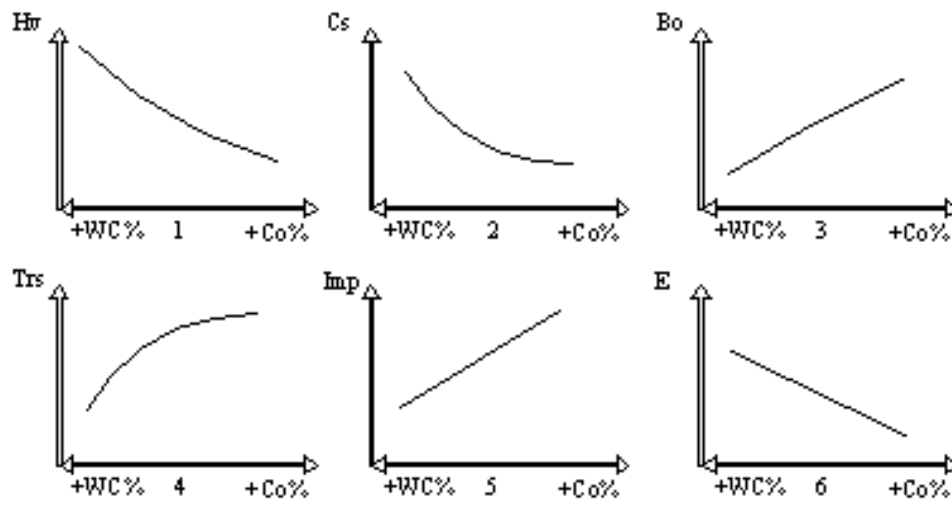
Çizelge 3.6. Bazı karbürlerin özellikleri [34]

Karbür çeşitleri	Ergime derecesi (°C)	Sertlik (Hv30)
TiC	3200	3200
V ₄ C ₃	2800	2500
NbC	3500	2400
TaC	3900	1800
WC	2850	2100

Şekil 3.14’teki diyagramlar, sinterlenmiş karbür uçlarda sert parçacıkların yüzdesinin artmasıyla aşınma direncini arttıran, sertlik (Hv) ve basma dayanımının (Cs) daha büyük olduğunu göstermektedir. Daha yüksek oranda bağlayıcı katkısı, sinterlenmiş karbür uca daha tok bir yapı kazandırmaktadır. Kırılmaya karşı direnç kabiliyeti olarak nitelendirilen tokluk eğilme direnci ile sembolize edilirse, daha yüksek miktarda bağlayıcı ihtiva eden sert metal uçlarda sertliğin tersine tokluk özelliği iyileşmektedir. Bununla birlikte, kobalt yüzdesi arttığında burulma (Trs) ve darbe dayanımı (Imp) artarken elastikiyet modülü (E) küçülür. Sonuç olarak kobalt miktarının artması daha yüksek tokluğa sebep olurken, küçük taneli sert parçacıklar daha sert bir yapı oluştururlar.

Tane büyüklüğü de sert metal uçların özelliklerinde etkilidir. Küçük tane boyutu daha yüksek sertlik, büyük tane boyutu ise daha yüksek tokluk demektir [3].

Sinterlenmiş karbür uçların performanslarını iyileştirmek amacıyla belli kalınlıklarda kaplamalar yapılmaktadır. TiC, TiN, TiCN ve Al_2O_3 temel kaplama maddeleridir. Bu kaplamalar kesici takım üzerine kimyasal buhar çökertme (CVD) ve fiziksel buhar çökertme (PVD) yöntemiyle kaplanır.



Şekil 3.14. Sert tanecik (WC) ve bağlayıcı metal (Co) yüzdesindeki değişmeye bağlı olarak sert metal uçların bazı özelliklerindeki değişimler [3]

Kaplanmış karbür uçlar daha uzun takım ömrü, daha fazla üretim artışı, daha kolay talaş akışı sağlamaktadır. Kaplama; kesme kuvvetini, oluşan ısıyı ve aşınmayı büyük oranda azaltarak geçici bir yağlayıcı görevi yapmaktadır. Bu, özellikle daha kaliteli yüzey elde edilmek istendiğinde kesme esnasında daha yüksek hızların kullanılmasına imkân sağlar. Kaplamanın yağlayıcı ve talaş yapışmasını önleme özelliği, talaş kaldırmada oluşan gerilim ve ısı miktarını büyük oranda azaltır, dolayısıyla takım ömrünü hayli artırmaktadır. Kaplamalı karbür uçların kullanımıyla kaplamasız sinterlenmiş karbürlere göre hem çelik hem de dökme demirin işlenmesinde, daha yüksek kesme hızıyla daha az aşınma miktarı sağlanmaktadır [34]. Kaplamalı takımlar kesintili işleme sırasında çatlamalara ve soyulmalara sebep olduğundan her zaman kullanılmaz. Ancak kaplamaları ana malzemeye

yapıştırırmadaki gelişmeler bunların frezeleme işleminde kullanılmasını uygun hale getirmiştir.

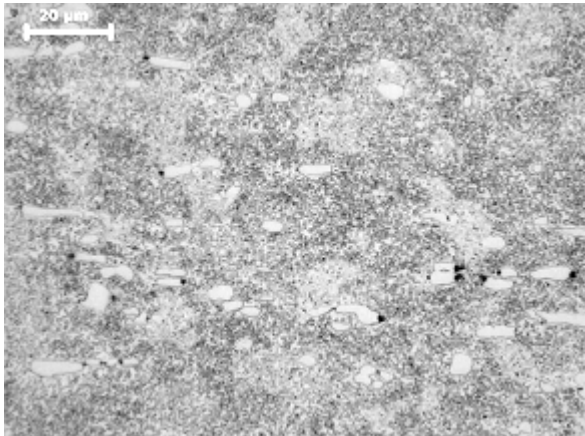
Sinterlenmiş karbürlerde genellikle krater aşınması, abrasiv aşınma, yapışma ve talaş sıvanma aşınması, plastik deformasyon, difüzyon aşınması, termal yorulma ve talaş derinliğinde çentik oluşması gibi aşınma mekanizmaları oluşmaktadır [36].

4. MALZEME VE YÖNTEM

4.1. Malzeme

4.1.1. Deney malzemesi

Bu çalışmada, AISI D3 soğuk iş takım çeliği iş parçası malzemesi olarak seçilmiştir. İmalat sanayinde yaygın olarak kullanılan bu çelik genellikle, soğuk ekstrüzyon ve delme kalıpları, kalıp plakaları, toz metalürjisi takımları, seramik biçimlendirme kalıpları ve soğuk zımbaların üretiminde kullanılmaktadır. İş parçası malzemesi dikdörtgen şekilli olup 100x48x300 mm boyutlarındadır. Malzeme boyutları ISO 8688-1'e göre seçilmiştir. İş parçası sertliği 20,7 HRC dir. Üretici firma tarafından sertliğini düşürmek ve işlenebilirliğini artırmak için küreselleştirme işlemi yapılmıştır. Resim 4.1'de deney malzemesinin mikroyapısı gösterilmektedir. Mikroyapıda da küreselleştirme işleminin sonucu olarak malzeme içindeki karbonların birbirine yakınlaşmış olduğu görülmektedir. Bunun yanı sıra deney malzemesi küresel sementit fazdan oluşmaktadır. İş parçasının kimyasal bileşimi Çizelge 4.1'de verilmiştir. Spektral analiz işlemi üç kez yapılmış ve ortalama değerler hesaplatılmıştır.



Resim 4.1. AISI D3 soğuk iş takım çeliğinin mikro yapısı

Çizelge 4.1. AISI D3 soğuk iş takım çeliğinin kimyasal bileşimi (Ağırlıkça %)

ELEMENT	%	ELEMENT	%	ELEMENT	%
Karbon (C)	1,93869	Bakır (Cu)	0,07941	Kurşun (Pb)	-0,02908
Silisyum (Si)	0,37092	Volfram (W)	0,06222	Antimon (Sn)	0,02542
Fosfor (P)	0,04745	Titanyum (Ti)	0,00525	Niyobyum (Nb)	0,006
Mangan (Mn)	0,2235	Arsenik (As)	0,0284	Bizmut (Bi)	-0,00352
Krom (Cr)	10,65597	Kalay (Sn)	0,01423	Magnezyum (Mg)	0,01113
Molibden (Mo)	0,26935	Kobalt (Co)	0,04265	Çinko (Zn)	0,02461
Vanadyum (V)	0,13518	Alüminyum (Al)	0,02832	Demir (Fe)	85,8259

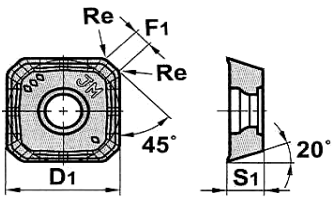
4.1.2. Deney numunelerinin hazırlanması

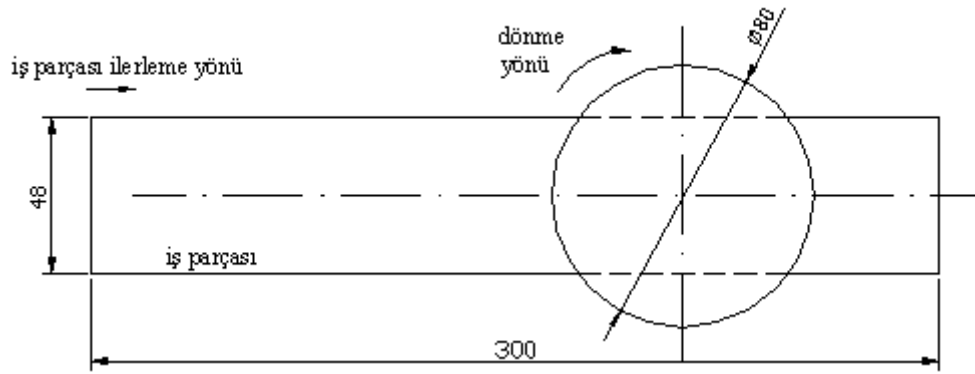
Deney numunelerinin kabuk yüzeyleri frezelenerek ISO standardına göre tavsiye edilen ölçülere getirilmiştir. Ön hazırlama işlemi yapılan deney numunesi CNC dik işleme merkezine universal mengene ile bağlamıştır. Deney numunesi üzerinden az bir talaş kaldırılarak bağlamadan kaynaklanacak eğrilik düzeltilmiştir ve deney numunesi hazır hale getirilmiştir.

4.1.3. Kesici takım ve freze başlığı

Frezeleme deneylerinde Mitsubishi firması tarafından üretilen kaplamalı karbür uçlar kullanılmıştır (Çizelge 4.2). ISO tanımlamasına göre SEMT13T3AGSN takım geometrisinde ve JM talaş kırıcı formuna sahiptir. Mitsubishi firması tarafından adlandırılan VP15TF kaplama kalitesi kullanılmıştır. VP15TF kaplama kalitesi (Al, Ti)N katmandan oluşmaktadır. Deneylerde 80 mm çapında (ASX445-080A06R) freze başlığı kullanılmıştır. Kesici takım ve iş parçasının işleme pozisyonu Şekil 4.1’de gösterilmektedir. Simetrik kesme pozisyonundaki takım ve iş parçası, birbirlerine göre zıt yönde hareket etmektedir.

Çizelge 4.2. Kesici takım ve uç geometrisi [38]

KESİCİ TAKIM TEKNİK ÖZELLİKLERİ					KESİCİ UCUN TEKNİK ÖZELLİKLERİ			
Katerin Kodu		ASX445-080A06R			Kesici Ucu Kodu		SEMT13T3AGSN-JM	
								
D	d	L	Z	a _a	D ₁	S ₁	F ₁	Re
80	27	50	6	6	13,4	3,97	1,9	1,5



Şekil 4.1. İşleme esnasında iş parçası ve takımın pozisyonu

4.1.4. Takım tezgâhı

Talaş kaldırma deneyleri Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Talaşlı Üretim Anabilim Dalında bulunan Johnford VMC-550 marka CNC dik işleme merkezinde yapılmıştır (Resim 4.2). Kullanılan takım tezgâhının bazı özellikleri şunlardır: Tezgâh gücü 10 KW, maksimum devir sayısı 8000 rpm/min, X eksen 600 mm, Y eksen 500 mm, Z eksen 600 mm, ölçü hassasiyeti 0,001 mm ve işletim sistemi fanuc'tur.



Resim 4.2. Johnford VMC-550 CNC dik işleme merkezi

4.2. Yöntem

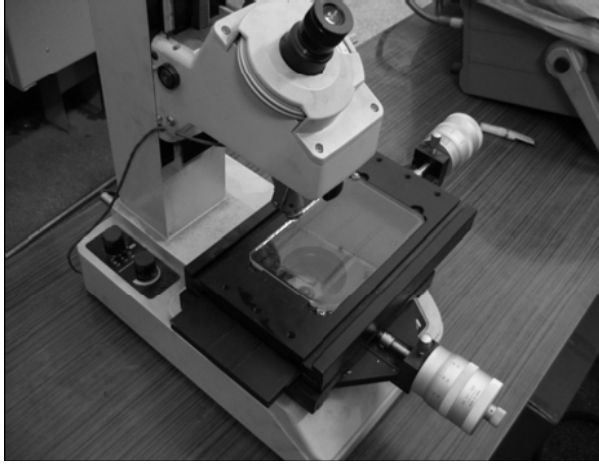
4.2.1. Takım ömrü deneyleri

Takım ömrü deneyleri için kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesici uç sayısı deney değişkeni olarak belirlenmiştir. Takım ömrü standardına ve kesici takım firmasının tavsiye ettiği kesme şartlarına göre ön deneyler yapılmıştır. Deneyler sonunda ideal kesme şartlarında kesici takım aşınmamış ve fazla miktarda iş parçası harcanmıştır. Bu durum nedeniyle kesme parametrelerinin değerleri artırılmış ve gerçek deneyler yüksek kesme hızlarında yapılmıştır. Bununla birlikte, kesici uç sayısı olarak 4 farklı sayıda (1, 2, 3 ve 6) uç seçilmiştir. Kesici uçlar, 80 mm çapında 6 uç kapasiteli freze başlığına eşit aralıklarla takılmıştır. Yapılan ön deneyler sonucunda kesici uç sayısının takım ömrü üzerindeki etkisinin az olması ve kesici takım ile iş parçası maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle, gerçek takım ömrü deneylerinde 2 sayıda uç kullanılmamıştır. Takım ömrü deneylerinde kullanılan kesme parametreleri Çizelge 4.3'de verilmiştir. Her bir kesme parametresinin etkisini görmek için toplam 27 deney yapılmıştır. Bununla birlikte takım ömrü deneyleri kuru kesme şartlarında ve 1 mm talaş derinliğinde yapılmıştır.

Çizelge 4.3. Takım ömrü deneyleri için belirlenen kesme parametreleri ve değerleri

Kontrol Faktörleri	Sembol	Değerler
Kesme Hızı, m/min	Vc	416, 500, 600
İlerleme Miktarı, mm/z	fz	0,08, 0,1, 0,125
Kesici Uç Sayısı, adet	Z	1, 3, 6

Takım ömrü deneyleri öncesi CNC tezgâhının bakımı yapılmıştır. İş parçasını bağlamak için universal mengene tezgâh tablasına bağlanmıştır. Önceden hazırlanan deney numunesi mengeneye bağlanmış ve referans noktası belirlenmiştir. İş parçasının mengeneye her bağlanmasında kompratörle kontrol edilmiş ve referans noktası belirlenmiştir. Her deney öncesi, yazılan CNC programında deney şartlarına göre uygun düzeltmeler yapılmıştır. Her deneyde yeni uçlar kullanılmıştır. Belirli kesme sürelerinden sonra uçlar 0,001 hassasiyetli ve X, Y ve Z yönünde ölçüm yapabilen Resim 4.3’de gösterilen verniyer bölüntülü mikroskopla kontrol edilmiş ve ortalama yan kenar aşınma değerleri ölçülmüştür. Yapılan ön deneylerde yüksek kesme hızlarında kesici uçlarda yanak aşınmasının olduğu gözlenmiş ve takım ömürlerinin belirlenmesinde ISO 8688-1 göz önünde bulundurularak yan kenar aşınması (VB) 1 mm olarak belirlenmiştir. Uçlardaki yan kenar aşınması belli aralıklarla ölçülüp kaydedilmiştir. Çok uçlu kesici takımlarla yapılan deneylerde uçlardan herhangi biri referans kabul edilmiş ve ölçümler bu uça göre yapılmıştır. Ayrıca, freze başlığındaki diğer uçlarda hem görsel hem de mikroskopla kontrol edilerek aşınma değerleri karşılaştırılmıştır. Genellikle, her bir uç benzer aşınma eğilimi sergilerken, baz aldığımız uç 1 mm yan kenar aşınma kriterine ulaştığında diğer uçlarındaki aşınmanın da yaklaşık olarak bu değere (0,95~1,01) ulaştığı görülmüştür. Uçlardan herhangi birinin diğerlerine göre daha kısa sürede aşınması durumunda, bu uçun yerine yeni bir uç takılarak deneylere devam edilmiş ve bu durum EK 1’deki deney yaprağına kaydedilmiştir. Deneysel sonuçların güvenilirliği için her deney üç kez tekrarlanmıştır.



Resim 4.3. Yan kenar aşınmasının ölçülmesinde kullanılan verniyer bölüntülü optik mikroskop

Aynı zamanda, her kesme işleminden sonra kaldırılan talaş hacmi hesaplanmıştır (Eş. 3.6). Elde edilen değerler Ek 1’de gösterilen deney yaprağına kaydedilmiştir. Bununla birlikte her iki kesme aralığında işleme süresi kronometre tutularak belirlenmiştir. Ayrıca, işleme süresi Eş. 3.5’deki formülle hesaplanarak bulunmuş ve her iki değer karşılaştırılmıştır. Hesaplanan değerler ile kronometre değerleri aynı çıkmıştır. EK 1’de verilen deney yaprağına yan kenar aşınma değeri, kaldırılan talaş hacmi ve işleme süreleri kaydedilmiştir. Bununla birlikte, deneyler aşamasında oluşan problemler de deney yaprağına yazılmıştır. Her deney sonunda kullanılan kesici ucun ilgili kısmı kodlanmış ve oksitlenmemesi için poşet içerisinde saklanmıştır. Elde edilen sonuçlar Microsoft Excel 7.0 programı kullanılarak grafikleri oluşturulmuştur.

4.2.2. Yüzey pürüzlülük deneyleri

Yüzey pürüzlülük deneyleri için kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesici uç sayısı deney değişkenleri olarak belirlenmiştir. Yüzey pürüzlülük deneyleri kesici takım firmasının önerdiği kesme şartlarında yapılmıştır. Çizelge 4.4’de yüzey pürüzlülük deneylerinde kullanılan kesme parametrelerinin değerleri verilmiştir. Her bir kesme parametresinin etkisini belirlemek için toplam 36 deney yapılmıştır. Bununla birlikte

yüzey pürüzlülük deneyleri kuru kesme şartlarında ve 1 mm talaş derinliğinde yapılmıştır. Deneysel sonuçların doğruluğu için her deney üç kez tekrarlanmıştır.

Çizelge 4.4. Yüzey pürüzlülük deneyleri için belirlenen kesme parametreleri ve değerleri

Kontrol Faktörleri	Sembol	Değerler
Kesme Hızı, m/min	Vc	80, 120, 180
İlerleme Miktarı, mm/z	fz	0,08, 0,12, 0,18
Kesici Uç Sayısı, adet	Z	1, 2, 3, 6

Yüzey pürüzlülük deneyleri yapılacak iş parçası mengeneye bağlanmıştır. İş parçası referans noktası bulunmuş ve CNC programı bu referans noktasına göre yazılmıştır. CNC programı, bir iş parçası boyunca 9 adet deney yapılacak şekilde yazılmıştır. Her iş parçası için freze başlığındaki uç sayısı değiştirilmiştir. Deneyler farklı kesme şartlarında ve yeni bir uç kullanılarak yapılmıştır. Yeni iş parçası içinde tekrar referans noktası bulunmuş ve CNC programı değiştirilmiştir. Yüzey pürüzlülük deneyi yapılan iş parçasının görünümü Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2. Yüzey pürüzlülük deneyi yapılan iş parçası

Yüzey pürüzlülük değerlerinin ölçülmesinde ortalama yüzey pürüzlülük değeri olan Ra dikkate alınmıştır. Bunun için profil değişimini Ra, Rz ve Rmax cinsinden okuyabilen ve Resim 4.4’de görülen MAHR-Perthometer-M1 taşınabilir yüzey pürüzlülük cihazı kullanılmıştır. Yüzey pürüzlülük cihazının özellikleri Çizelge 4.5’de verilmiştir. Örnekleme uzunluğu (l) 0,8 mm alınmıştır. Ölçme uzunluğu

örnekleme uzunluğunun en az 5 katı olacağından 8 mm ve örnekleme sayısı 4 olarak seçilmiştir.



Resim 4.4. MAHR- Perthometer M1 taşınabilir yüzey pürüzlülük cihazı

Çizelge 4.5. Yüzey pürüzlülük cihazının özellikleri

MODEL	Perthometer M1 (Mahr)
Ölçme Hızı	150µm/s
Ölçme Kuvveti	0,7 mN
Uç malzemesi	Elmas
Numune Uzunluğu	0,8 mm
Değerlendirme Uzunluğu	5,6 mm

Ölçme işlemine geçmeden önce yüzey pürüzlülük cihazı kalibre edilmiştir. İş parçası üzerinde yüzey pürüzlük cihazının iğnesinin paralel olarak hareket etmesi için yükseklik ayarı yapılmıştır. Her yüzey için farklı yerlerden toplam dört ölçüm yapılmıştır. Elde edilen Ra değerleri Ek 2’de gösterilen deney yaprağına not edilmiş ve ortalaması alınmıştır.

4.2.3. Takım aşınmalarının incelenmesi

Kesici takımındaki aşınmalar SEM mikroskopla incelenmiştir. Aşınmış takım uçlarının SEM çalışmalarımda JEOL JSM-6300 model tarama elektron mikroskop kullanılmıştır.

5. DENEYSEL BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

Bu bölümde, kesici uç sayısı, kesme hızı ve ilerleme miktarı değişimlerinin takım ömrü, kaldırılan talaş hacmi ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri araştırılmış ve takım aşınmasının muhtemel başarısızlık nedenleri tartışılmıştır. Deneysel çalışmalar, her bir parametrenin etkisini ayrı ayrı incelemek amacıyla düzenlenmiştir. Elde edilen sonuçlar ise Microsoft Excel 7.0 ve JMP 5.0.1 programında değerlendirilerek grafiklere dökülmüştür. Deneysel sonuçlar üç bölüm halinde incelenmiştir. Bunlar;

- Kesme şartlarının takım ömrü üzerindeki etkisi
 - Kesme şartlarının kaldırılan talaş hacmi üzerindeki etkisi
 - Yüzey pürüzlülük değerlendirmeleri,
- şeklindedir.

5.1. Kesme Şartlarının Takım Ömrü Üzerindeki Etkisi

Kesme şartlarının takım ömrü üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla, AISI D3 soğuk iş takım çeliği kaplamalı karbür takımlarla frezelenmiştir. Yüksek kesme hızlarının kullanıldığı çalışmada, takım ömrünü belirlemek için $VB=1$ mm yan kenar aşınma kriteri esas alınmıştır. Deneyler, 416 m/min, 500 m/min ve 600 m/min kesme hızı ve 0,08 mm/z, 0,1 mm/z ve 0,125 mm/z ilerleme miktarı ile 1, 3 ve 6 sayıda kesici uç kullanılarak yapılmıştır. Kesici uç sayısı, kesme hızı ve ilerleme miktarının takım ömrü üzerindeki etkileri alt başlıklar halinde sunulmuştur.

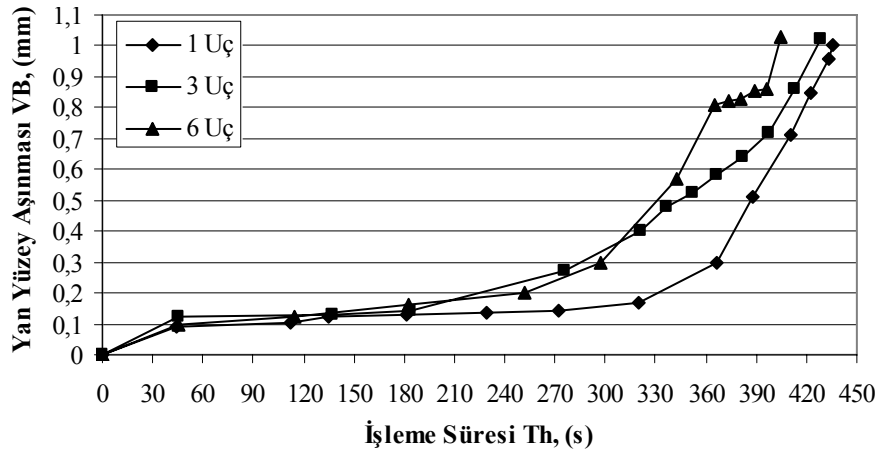
5.1.1. Kesici uç sayısının takım ömrü üzerindeki etkisi

Bu bölümde, farklı kesme hızı ve ilerleme miktarlarında, freze başlığındaki kesici uç sayısı değişiminin takım ömrü üzerindeki etkisi incelenmiştir. Deneylerde kullanılan üç farklı sayıdaki (1, 3 ve 6) kesici uçlar, freze başlığına eşit aralıklarla takılmıştır. Kesici uç sayısının etkisini belirlemek amacıyla yapılan deneylerde, diş başına ilerleme miktarı ve kesme hızı sabit tutulmuştur. Diş başına ilerleme miktarı ve

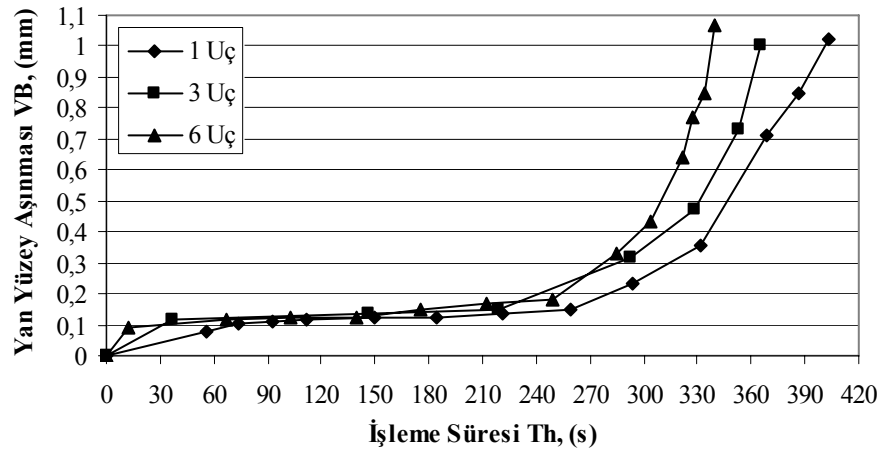
kesme hızının sabit tutulmasıyla, her bir kesici uçun aynı talaş hacmini kaldırması sağlanmıştır. Ancak, kesici uç sayısının değişmesiyle freze tablası farklı hızlarda ilerlemiştir. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen veriler, işleme süresi/yan yüzey aşınması grafiği olarak değerlendirilmiştir.

Şekil 5.1’de verilen grafikler incelendiğinde, $VB=1$ mm yan kenar aşınma kriteri baz alındığında kesici uç sayısının artmasıyla işleme süresinin kısaldığı görülmektedir. Bu durum, uç sayısındaki artışla birlikte kesme sıcaklığı ve titreşimin değişmesinden kaynaklanmıştır. Talaş kaldırma işlemi sırasında harcanan enerji, takım/iş parçası ve takım/talaş ara yüzeyi arasındaki sürtünmeden dolayı, kesici takım üzerinde yüksek ısı meydana gelmesine neden olur. Oluşan ısının büyük bir kısmı talaş ile dışarı atılır. Bir kısmı ise parça içine nüfuz ederken, diğer bir kısmı da kesici takıma geçerek bunun ısınmasına sebep olur [34]. Keza, frezeleme işlemi kesikli talaş kaldırma işlemi olduğu için, takım ve iş parçasına yayılan ısı, takımın iş parçasından çıkıp tekrar girme anına kadar azalma gösterir. Freze başlığındaki kesici uç sayısının az ya da fazla olması veya iki uç arasındaki mesafe bu süreci belirlemektedir. Çok uçlu kesici takımla işlemede bu süreç daha kısa olacaktır ve iş parçası daha az soğuyacaktır. Ayrıca, çok uçlu kesici takımla işlemede, birden fazla kesici ucun kesme işlemine katılması sonucu, sürtünme artmakta ve daha yüksek kesme sıcaklıkları meydana gelmektedir. Daha yüksek kesme sıcaklıklarında ise ısıl etki sonucu oluşan aşınma mekanizmalarının hızlanmasıyla daha kısa takım ömrü elde edilir. Liu ve diğerleri tarafından yapılan çalışmada, yüksek kesme sıcaklıkları ile kesici takımdaki aşınmanın arttığı vurgulanmıştır [10].

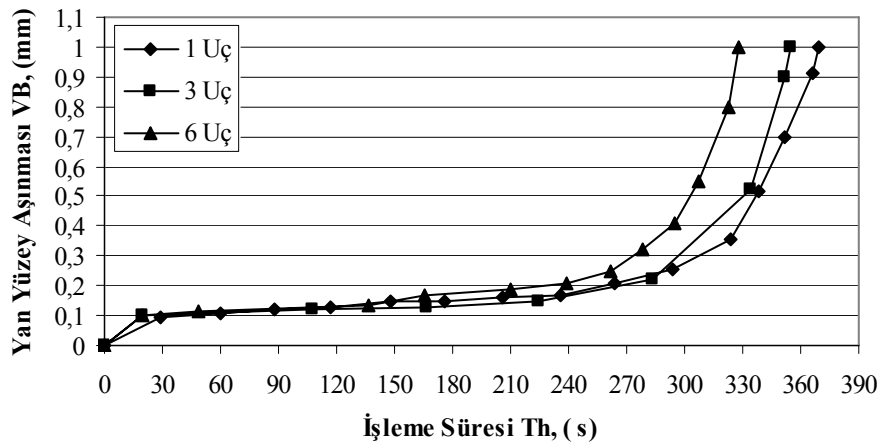
Kesici uç sayısının artmasıyla takım ömrünün azalmasının diğer bir nedeni ise titreşimdir. Frezeleme işleminde her bir kesici ucun iş parçasına girişinde şiddetli mekanik çarpışmalar oluşmaktadır. Bu çarpışmalar kesici takımdaki aşınmayı hızlandırmakla birlikte, iş parçasında yüksek frekansta titreşime sebebiyet vermektedir. Kesici uç sayısının artmasıyla çarpışma sayısının artacağından dolayı daha yüksek frekansta titreşim meydana gelir. İş parçası ve kesici takım arasında sürekli titreşimin oluşması, kesici takımın ömrünü azaltmaktadır [34]. Her iki durumda da, 6 uçlu kesici takım ile en düşük takım ömrü elde edilmiştir.



(a)



(b)



(c)

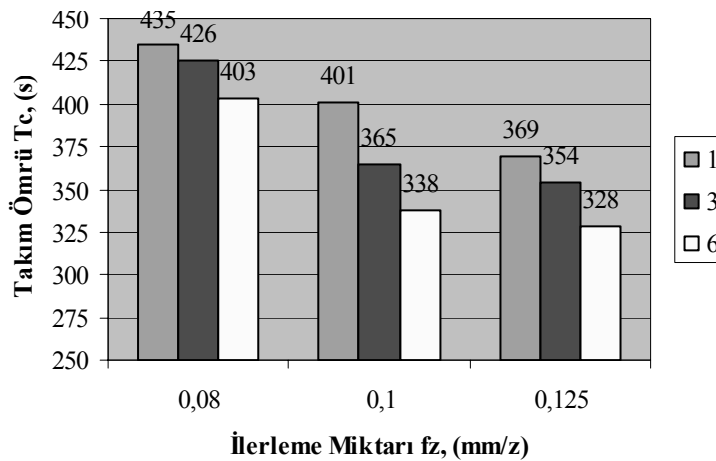
Şekil 5.1. $V_c=416$ m/min farklı ilerleme miktarı ve değişik sayıdaki uçlarla frezelemede, işleme süresine bağlı olarak yan yüzey aşınmasının değişimi (a) $f_z=0,08$ mm/z, (b) $f_z=0,1$ mm/z, (c) $f_z=0,125$ mm/z

Richetti ve arkadaşları tarafından yapılan çalışma, bu sonuçları destekler niteliktedir [6]. Araştırmacılar, AISI 1045 ve AISI 8640 çeliklerinin işlenmesinde, kesici uç sayısının artmasıyla işleme süresinin kısaldığını belirtmişlerdir. Araştırmada bu durum, kesici uç sayısının artmasıyla yüksek kesme sıcaklıklarının oluşmasına bağlanmıştır. Bu çalışmayla benzer sonuçların elde edilmesine karşın, gerçekleştirilen tez çalışmasında kesici uç sayısının takım ömrü üzerindeki etkisinin literatürde yer alan bu çalışmaya göre daha az olduğu gözlenmiştir. Bu durumun, kullanılan iş parçası malzemesi, kesici takımın geometrisi ve kalitesinin farklı olmasının yanı sıra yüksek kesme hızlarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Çünkü; yüksek kesme hızlarında, kesici takım yüksek devirlerde döndüğü için takımın iş parçasından çıkış ve giriş anındaki süresi çok kısa olmuştur. Bu nedenle, kesici uç sayısı ile sıcaklığın değişmesi önemli oranda gerçekleşmemiştir.

Şekil 5.1'deki grafiklerdeki kesici takımda oluşan aşınma süreci incelendiğinde, kaplamalı karbür ucun başlangıçta hızlı bir şekilde aşındığı ve kısa sürede $VB=0,1$ mm yan kenar aşınma değerine ulaştığı görülmüştür. Bu esnada, yeni kesici uçların üzerinde bulunan sivri tepeler veya pürüzlülükler hızlı bir şekilde aşınmıştır. Bu değerden sonra, aşınma $VB=0,2$ mm kriterine kadar çok yavaş şekilde devam etmiştir. Aşınmadaki yavaşlama, kesici uç kaplamasının yüksek kesme hızında oluşan ısıya karşı direnç göstermesinden kaynaklanmıştır. $VB=0,2$ mm ~ 0,25 mm değerleri arasında ise kesici takım kaplaması direncini kaybetmiş ve aşınma hızlanmıştır. Bu değerden sonra kaplama katmanının erimesi ve aşınmanın takım ana malzemesine ulaşmasıyla, kesme sıcaklıkları daha da artmıştır ve kısa süre içerisinde $VB=1$ mm yan kenar aşınma kriterine ulaşılmıştır. Yüksek kesme hızlarında oluşan kesme sıcaklıkları ve mekanik yüklerin etkisiyle kesici takım çok kısa sürede ömrünü tamamlamıştır.

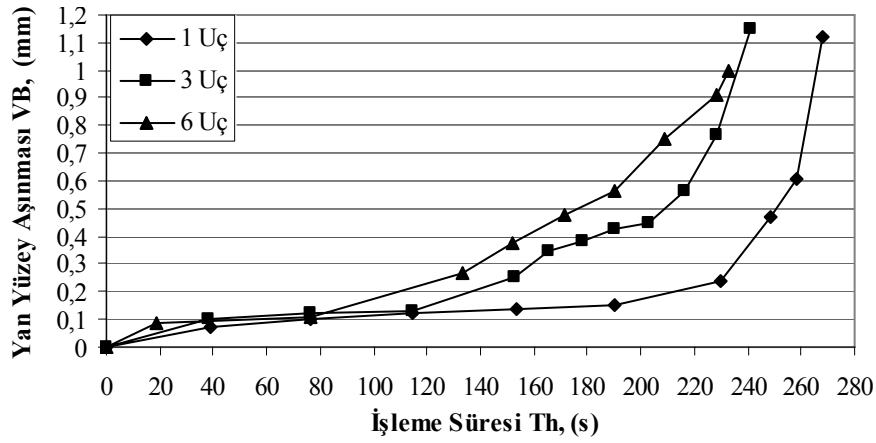
Şekil 5.1a'da, altı uçlu kesici takımla yapılan deneyde, 360 s ile 390 s arasındaki işleme süresinde yan yüzey aşınmasının yavaşladığı görülmektedir. Çünkü; bu esnada takımda oluşan bölgesel yan yüzey aşınmasının yan kenar boyunca yayılmış ve artış hızının azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca, kesici uçtaki boşluk açısının fazla olmasının da etkili olduğu düşünülmektedir.

Şekil 5.2’de, 416 m/min kesme hızında ilerleme miktarına bağlı olarak kesici uç sayısının takım ömrü üzerindeki etkisi gösterilmiştir. 0,08 mm/z ilerleme miktarında, kesici uç sayısının 1’den 6’ya çıkarılmasıyla, takım ömrü yaklaşık % 8 oranında azalmıştır. 0,1 mm/z ilerleme miktarında bu oran yaklaşık % 18 civarındayken 0,125 mm/z ilerleme miktarında ise % 12 civarındadır. Burada, farklı ilerleme miktarlarında, kesici uç sayısının takım ömrü üzerinde etkili olduğu fakat bu etkinin ilerleme miktarının etkisine bağlı olarak düzenli artmadığı görülmektedir. Kuljanic [7] tarafından yapılan çalışmada da, kesici uç sayısının azalması ile takım ömrü arasında düzenli bir ilişkinin olmadığı belirtilmiş ve uç sayısının takım ömrüne etkisinin kesme hızı, diş başına ilerleme ve iş parçası-takım-makine uyumuna bağlı olduğu rapor edilmiştir.

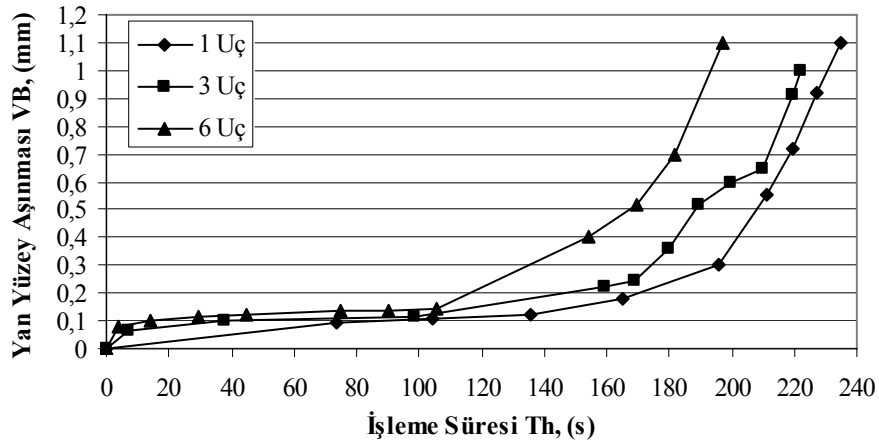


Şekil 5.2. 416 m/min kesme hızında, ilerleme miktarına bağlı olarak uç sayısının takım ömrü üzerindeki etkisi

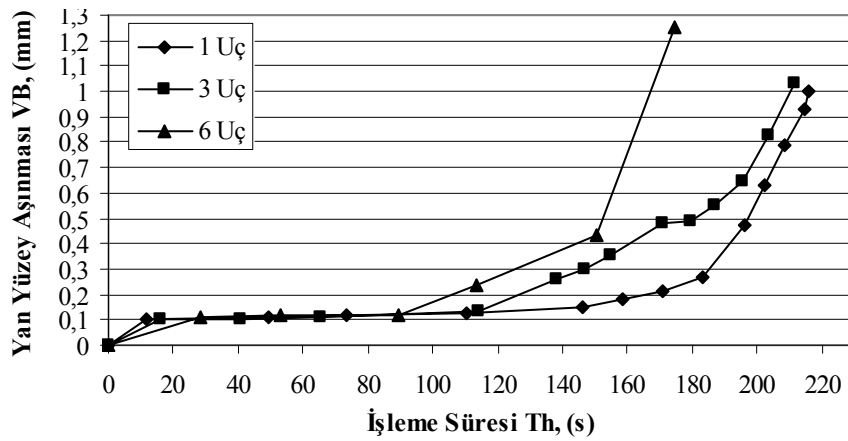
500 m/min kesme hızı ve farklı ilerleme miktarında farklı sayıdaki uçların işleme süresine bağlı olarak yan yüzey aşınmasının değişimi Şekil 5.3’de gösterilmektedir. Şekil 5.3’deki grafiklerde de 416 m/min kesme hızında elde edilen sonuçları destekleyecek biçimde, kesici uç sayısının artmasıyla işleme süresinin kısaldığı görülmektedir.



(a)



(b)



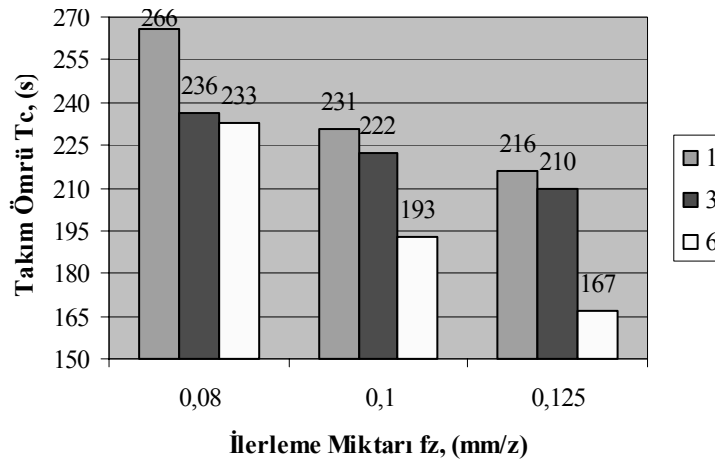
(c)

Şekil 5.3. $V_c=500$ m/min, farklı ilerleme miktarında ve değişik sayıdaki uçlarla frezelemede, işleme süresine bağlı olarak yan yüzey aşınmasının değişimi (a) $f_z=0,08$ mm/z, (b) $f_z=0,1$ mm/z, (c) $f_z=0,125$ mm/z

Şekil 5.3'deki grafiklerde kesici uçta oluşan aşınma süreci de, Şekil 5.1'deki grafiklerle benzerlik göstermektedir. Ancak, 416 m/min kesme hızında yapılan deneylerde kesici takımındaki aşınma yaklaşık 0,2 mm yan kenar aşınma değerine kadar yavaş ve düzgün bir şekilde devam ederken, 500 m/min kesme hızında ise bu aşınma süreci 0,15 mm yan kenar aşınma değerine kadar devam etmiştir. Bu durum, artan kesme hızıyla birlikte talaş kaldırma sıcaklıklarının yükselmesi sonucu, kesici takım kaplamasının direncini daha kısa sürede kaybetmesinden kaynaklanmaktadır. Bu aşınma değerinden sonra ise her iki kesme hızında yapılan deneylerde de, kısa sürede takımın aşınarak ömrünü tamamladığı görülmüştür.

Şekil 5.1a'da 6 uçlu kesici ile yapılan deneyde olduğu gibi, belirli işleme sürelerinde (180 s ~ 200 s arasında) kesici takımındaki aşınmanın yavaşladığı görülmektedir. Bu durum, özellikle 3 uçlu kesici ile yapılan deneylerde ve hızlı aşınmanın olduğu yerlerde gerçekleşmiştir.

500 m/min kesme hızında, ilerleme miktarına bağlı olarak kesici uç sayısının takım ömrü üzerindeki etkisi, Şekil 5.4'de gösterilmektedir. Bu grafik incelendiğinde, 0,08 mm/z ilerleme miktarında, kesici uç sayısının 1'den 6'ya çıkarılmasıyla takım ömründe yaklaşık % 14 oranında azalma olmuştur. 0,1 mm/z ilerleme miktarında bu oran yaklaşık % 19 civarındayken 0,125 mm/z ilerleme miktarında ise % 29 civarındadır. Bu oranlar dikkate alındığında, kesici uç sayısının takım ömrüne etkisi 416 m/min kesme hızında yapılan deneylere oranla daha fazladır. Bu sonuç kesici uç sayısı ile takım ömrünün değişiminde, kesme hızının da etkili olduğunu göstermektedir. Keza, bu sonuç Kulajanic tarafından yapılan çalışmayı da doğrulamaktadır [7].

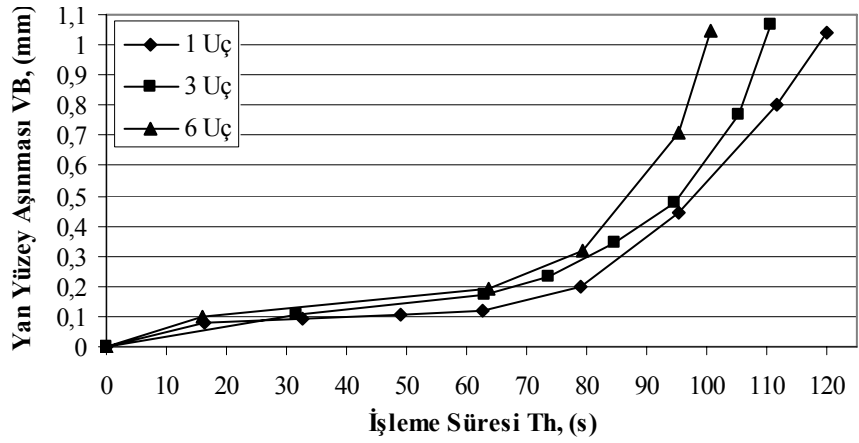


Şekil 5.4. 500 m/min kesme hızında, ilerleme miktarına bağlı olarak kesici uç sayısının takım ömrü üzerindeki etkisi

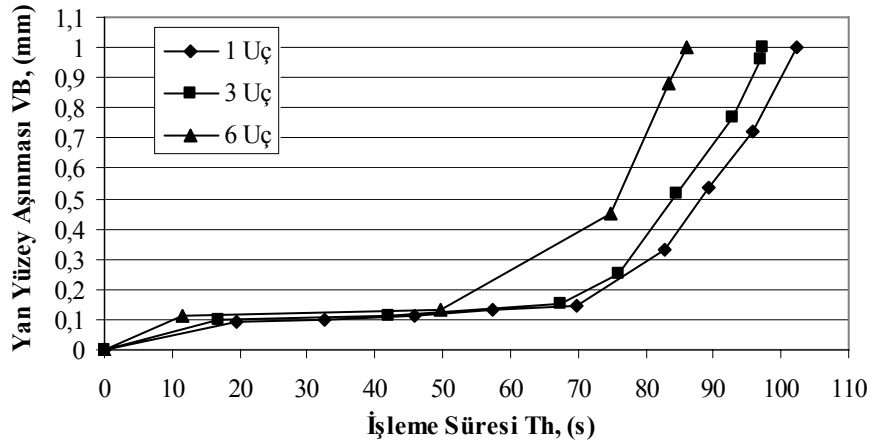
600 m/min kesme hızı, farklı ilerleme miktarı ve uç sayısında işleme süresine bağlı olarak yan yüzey aşınmasının değişimi Şekil 5.5’de gösterilmektedir. En yüksek kesme hızıyla yapılan deneylerde de kesici takım benzer aşınma süreci sergilemiştir. Fakat, kesici takım kaplaması aşınmaya karşı direncini daha kısa sürede yitirmekte ve takım daha kısa sürede aşınmaktadır.

416 m/min ve 500 m/min kesme hızlarında işlemede oluşan takımdaki aşınmanın belirli sürelerdeki yavaşlaması, bu grafikte görülmemektedir. Bunun muhtemel sebebi ise, yüksek kesme hızında kesici takımın aşınmaya karşı direncinin daha da azalmasıdır.

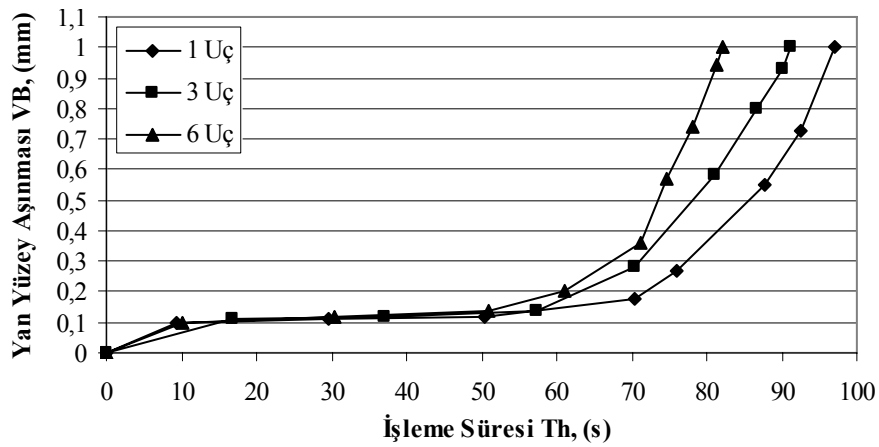
600 m/min kesme hızında, ilerleme miktarına bağlı olarak kesici uç sayısının işleme süresi üzerindeki etkisi Şekil 5.6’da gösterilmektedir. Şekil 5.6’daki grafik incelendiğinde, 0,08 mm/z ilerleme miktarında, kesici uç sayısının 1’den 6’ya çıkarılmasıyla, takım ömrü yaklaşık % 18 oranında azalma olmuştur. 0,1 mm/z ilerleme miktarında bu oran yaklaşık % 19 civarındayken 0,125 mm/z ilerleme miktarında ise % 18 civarındadır. Sonuç olarak, 600 m/min kesme hızında yapılan deneylerde uç sayısının takım ömrü üzerindeki etkisine ilerleme miktarı değişiminin bir katkısı olmamıştır. Çünkü; yüksek kesme hızlarında kesici takım çok kısa sürelerde ömrünü yitirmektedir.



(a)

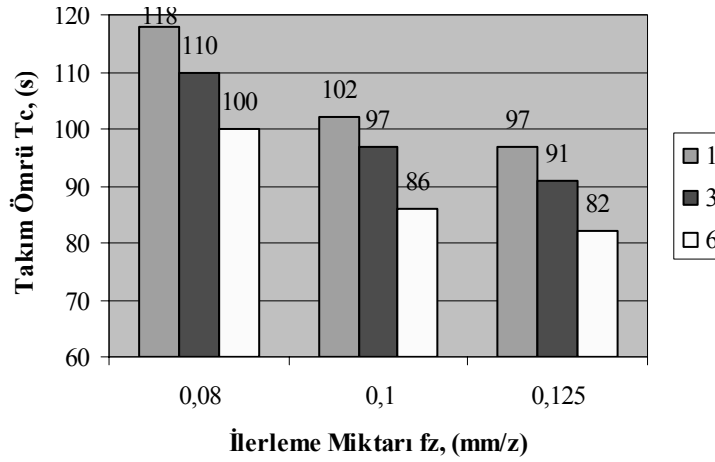


(b)



(c)

Şekil 5.5. $V_c=600$ m/min, farklı ilerleme miktarında ve değişik sayıdaki uçlarla frezelemede, işleme süresine bağlı olarak yan yüzey aşınmasının değişimi (a) $f_z=0.08$ mm/z, (b) $f_z=0.1$ mm/z, (c) $f_z=0.125$ mm/z

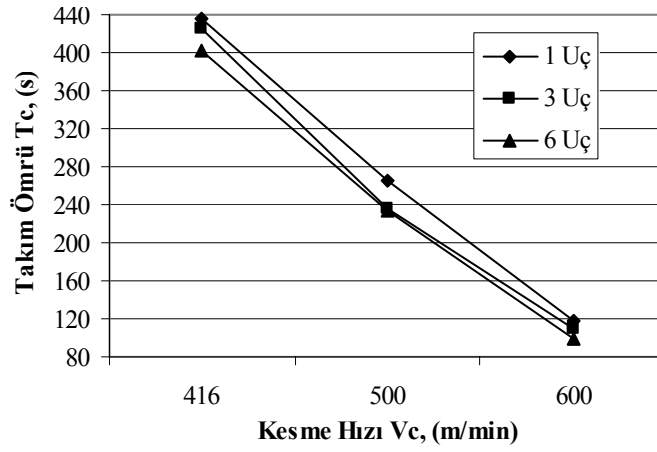


Şekil 5.6. 600 m/min kesme hızında, ilerleme miktarına bağlı olarak kesici uç sayısının işleme süresi üzerindeki etkisi

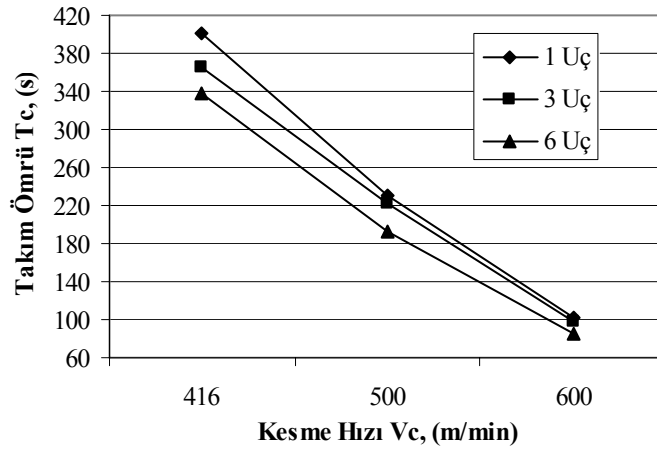
5.1.2. Kesme hızının takım ömrü üzerindeki etkisi

Bu bölümde, kesme hızının takım ömrü üzerindeki etkisi incelenmiştir. Şekil 5.7'deki kesme hızı-takım ömrü grafiklerine bakıldığında, kesme hızının takım ömrünü belirgin bir şekilde etkilediği görülmektedir. Bu durum, kesme hızının artmasıyla daha yüksek kesme sıcaklıklarının oluşmasından kaynaklanmaktadır. Habalı tarafından yapılan tez çalışmasında, artan kesme hızının takım talaş ara yüzey sıcaklığını artırdığı rapor edilmiştir [14]. Daha yüksek sıcaklıkların oluşması sonucunda ise, ısı etkisi sonucu oluşan aşınma mekanizmalarının hızlanmasıyla daha düşük takım ömrü elde edilmektedir.

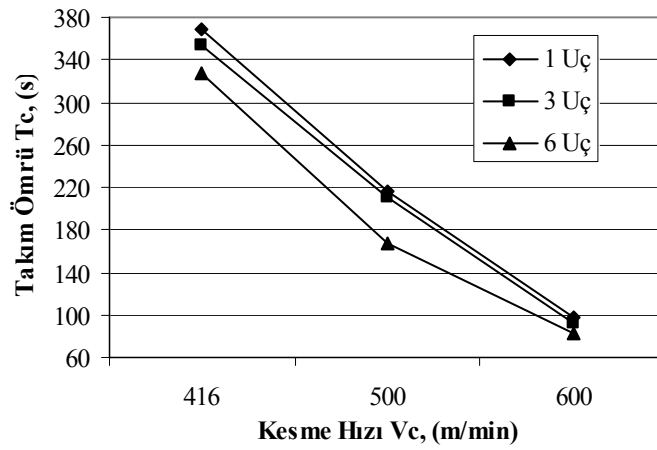
Şekil 5.8'deki kesme hızı takım ömrü grafiğinde verilen değerler, üç farklı kesme hızında yapılan deneylerden elde edilen sonuçların aritmetik ortalamasıdır. Grafik incelendiğinde, kesme hızının 416 m/min'dan 500 m/min'ya çıkarılmasıyla takım ömrü yaklaşık % 73 civarında azalmışken kesme hızının 500 m/min'dan 600 m/min'ya çıkarılmasıyla bu azalma yaklaşık % 123 civarında gerçekleşmiştir. Bu durum, kesme hızının takım ömründe büyük bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca, artan kesme hızıyla takım ömrünün daha da azaldığı görülmektedir. Bu sonuç, kesme hızının takım ömrü üzerindeki bilinen etkisini de doğrulamaktadır [10, 12, 13, 15].



(a)

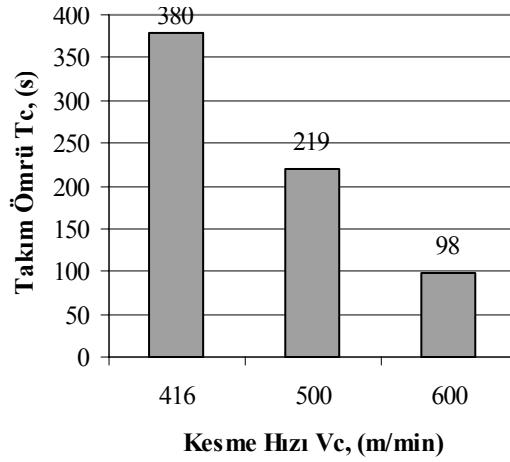


(b)



(c)

Şekil 5.7. Farklı uç sayısı ve ilerleme miktarında kesme hızına bağlı olarak takım ömrünün değişimi (a) $f_z=0,08$ mm/z, (b) $f_z=0,1$ mm/z, (c) $f_z=0,125$ mm/z

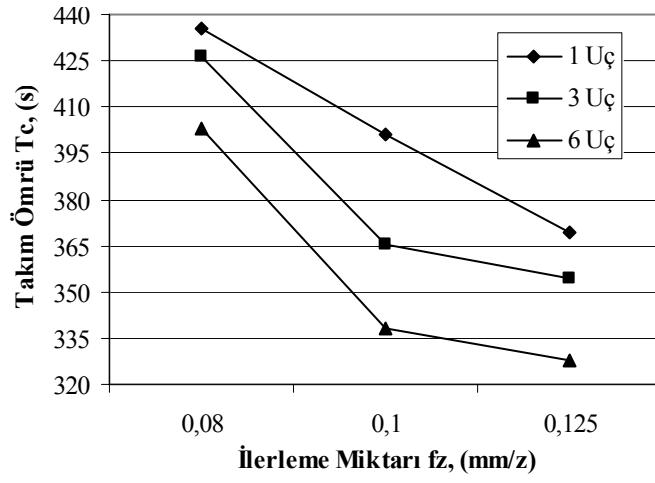


Şekil 5.8. Kesme hızına bağlı olarak takım ömrünün değişimi

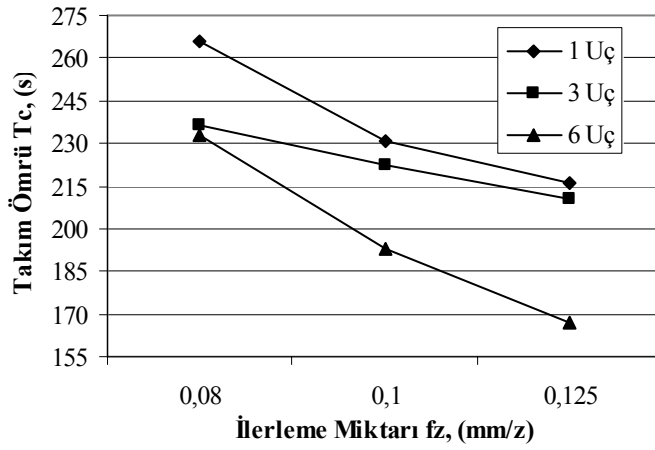
5.1.3. İlerleme miktarının takım ömrü üzerindeki etkisi

İlerleme miktarının takım ömrü üzerindeki etkisini incelemek amacıyla yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar, Şekil 5.9'daki grafiklerde vermiştir. Grafikler incelendiğinde ilerleme miktarının artmasıyla takım ömrünün kısaldığı görülmektedir. İlerleme miktarının da kesme hızı kadar olmasa da, takım talaş ara yüzey sıcaklığını arttırdığı araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda gösterilmiştir [14]. Daha yüksek kesme sıcaklıklarının kesici takımdaki aşınmayı hızlandırması sonucu, daha kısa takım ömrü elde edilmiştir. Literatürde yapılan çalışmalarda da, takım ömrünün ilerleme miktarının artmasıyla azaldığı rapor edilmiştir [12, 13, 15].

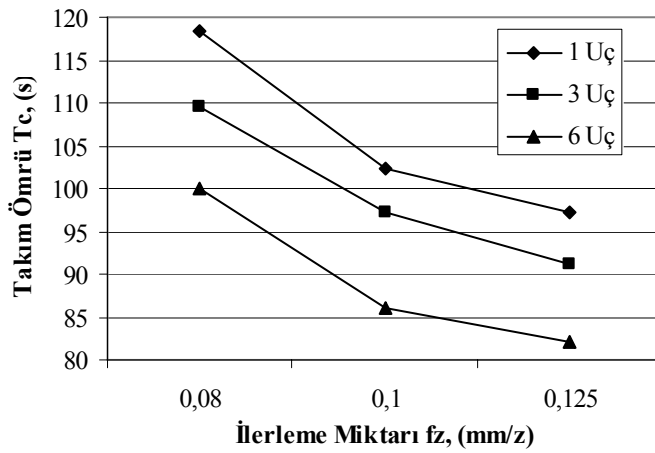
Şekil 5.9'daki grafiklerde, ilerleme miktarının 0,08 mm/z'ten 0,1 mm/z'e çıkartılmasıyla takım ömrü hızlı bir şekilde azalmakta iken, ilerleme miktarının 0,125 mm/z'e çıkartılmasıyla takım ömründe daha yavaş bir azalma meydana gelmiştir. Abou ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, AISI 304 paslanmaz çeliğin yüksek kesme hızlarında işlenmesinde de benzer sonuçlar elde edilmiştir [12]. Çalışmada, düşük ilerleme miktarında takım ömrünün artması; talaş yükünün azalması ve ilerleyen işleme süresiyle birlikte kesme bölgesinde soğutma için harcanan zamanın artmasına atfedilmiştir.



(a)



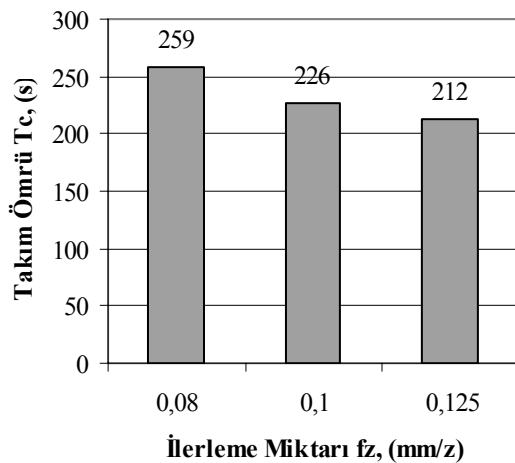
(b)



(c)

Şekil 5.9. Farklı uç sayısı ve kesme hızında ilerleme miktarına bağlı olarak takım ömrünün değişimi (a) $V_c=416$ m/min, (b) $V_c=500$ m/min, (c) $V_c=600$ m/min

D'Errico ve diğerleri tarafından yapılan çalışmada da AISI- SAE 1045 karbon çeliğinin frezelemesinde sermet takımların takım ömrü üzerindeki performansları incelenmiştir. Bu çalışmada, 188 m/min, 230 m/min ve 250 m/min kesme hızlarında, ilerleme miktarındaki yaklaşık % 30 civarındaki artışlara karşılık takım ömründe yaklaşık % 30 ~ % 35 civarında azalma olduğu rapor edilmiştir. Gerçekleştirdiğimiz tez çalışmasında ise ilerleme miktarının % 25 oranında artırılması sonucu takım ömründe yaklaşık % 5 ~ % 15 arasında azalma meydana gelmiştir (Şekil 5.10). Bu değerler arasındaki fark, yüksek kesme hızlarında ilerleme miktarındaki değişimin takım ömrünü daha az etkilemesinden kaynaklanmaktadır. Çünkü; yüksek kesme hızlarında, malzemenin plastik deformasyonu için ihtiyaç duyulan enerji yeterli bir seviyeye ulaşmakta ve ilerleme miktarının artması sonucu oluşan ısı enerjisine daha az ihtiyaç duyulmaktadır [14]. AISI 304 paslanmaz çeliğin karbür uçlarla yüksek hızda parmak freze ile frezelenmesinde ve Ti 6Al 4V titanyum alaşımının kaplamalı karbür uçlarla frezelenmesinde de yüksek kesme hızlarında ilerleme miktarının takım ömrü üzerine etkisi benzerlik göstermiştir [12, 15].



Şekil 5.10. İlerleme miktarının takım ömrü üzerindeki etkisi

5.2. Kesme Şartlarının Kaldırılan Talaş Hacmi Üzerindeki Etkisi

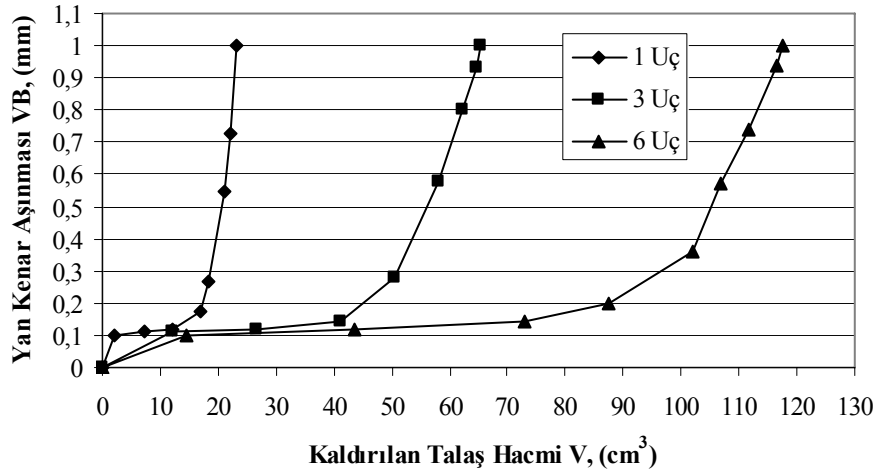
Talaş kaldırma işlemlerinde performansı belirleyen en önemli unsurlardan biri, birim zamanda kaldırılan talaş hacmi veya verimliliğidir. Her zaman en yüksek takım ömrü değerlerinde maksimum talaş hacmi elde edilememektedir. Kaldırılan talaş hacmi

kesme şartlarından farklı şekilde etkilenmektedir. Bu bölümde, yüksek kesme hızlarında frezelemede kesici uç sayısı, kesme hızı ve ilerleme miktarının kaldırılan talaş hacmi üzerindeki etkisi belirlenmiştir. Kaldırılan talaş hacmi değerleri kesici takımın işleme süresince kaldırmış olduğu toplam malzeme değerleridir. Kaldırılan talaş hacimleri Eş.3.5’de verilen formülle hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar grafiksel olarak değerlendirilmiştir. Kesici uç sayısı, kesme hızı ve ilerleme miktarının kaldırılan talaş hacmi üzerindeki etkileri alt başlıklar halinde sunulmuştur.

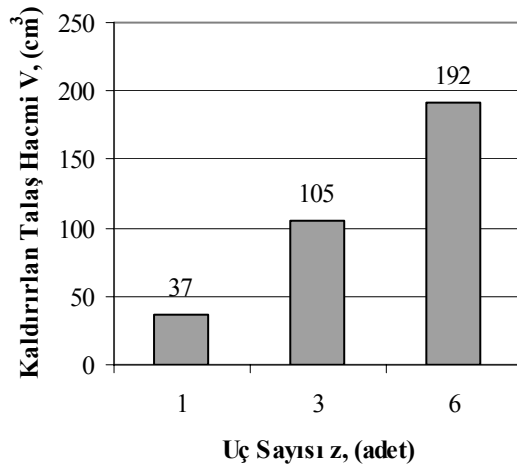
5.2.1. Kesici uç sayısının kaldırılan talaş hacmi üzerindeki etkisi

Kesici uç sayısının kaldırılan talaş hacmi üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla, diğer parametreler (V_c , f_z) sabit tutularak yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar grafiksel olarak değerlendirilmiştir. Şekil 5.11’deki grafikte, $V_c=600$ m/min ve $f_z=0,125$ mm/z olarak belirlenen kesme şartlarında kaldırılan talaş hacmine bağlı olarak yan yüzey aşınmasının değişimi gösterilmektedir. Grafik incelendiğinde, kaldırılan talaş hacminin freze kesicisindeki uç sayısı ile önemli şekilde arttığı görülmektedir. Çok uçlu kesici ile işlemede daha az takım ömrü elde edilmesine rağmen, kaldırılan talaş hacmi artmıştır. Bu durum, ilerleme hızından kaynaklanmaktadır. Sabit diş başına ilerleme miktarında uç sayısının artmasıyla ilerleme hızının arttığı bilinmektedir ($F = f_z \times z \times n$). Aynı diş başına ilerleme miktarında, kesici uç sayısının takım ömrü üzerindeki etkisi ilerleme hızından dolayı, kaldırılan talaş hacmindeki etkisinden daha az olmuştur. Bu durum literatürdeki çalışmalarla paralellik göstermektedir [6, 7].

Şekil 5.12’de kesici uç sayısının kaldırılan talaş hacmi üzerindeki etkisi gösterilmiştir. Grafikte verilen değerler, 1, 3 ve 6 sayıda kesici uç kullanılarak farklı kesme şartlarında kaldırılan talaş hacimlerinin aritmetik ortalaması alınarak elde edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, freze kesicisindeki uç sayısının 1’den 6’ya çıkarılmasıyla kaldırılan talaş hacminde yaklaşık 5,15 kat artma gerçekleşmiştir. Bu oran, uç sayısının kaldırılan talaş hacmini önemli şekilde etkilediğini göstermektedir.



Şekil 5.11. $V_c=600$ m/min ve $f_z=0,125$ mm/z olarak belirlenen kesme şartlarında kaldırılan talaş hacmine bağlı olarak yan yüzey aşınmasının değişimi

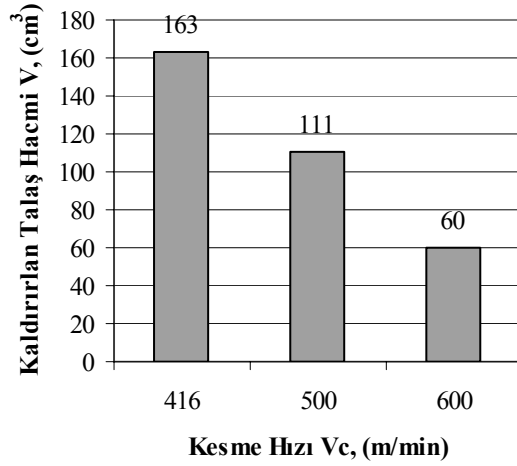


Şekil 5.12. Kesici uç sayısının kaldırılan talaş hacmi üzerindeki etkisi

5.2.2. Kesme hızının kaldırılan talaş hacmi üzerindeki etkisi

Kesme hızının kaldırılan talaş hacmi üzerindeki etkisi Şekil 5.13'deki grafiklerde verilmiştir. Grafikteki değerler 416 m/min, 500 m/min ve 600 m/min kesme hızlarında yapılan bütün deneylerin aritmetik ortalaması alınarak elde edilmiştir. Grafikler incelendiğinde, kesme hızının artmasıyla kaldırılan talaş hacmi azalmıştır. Bu durum, artan kesme hızının takım ömrünü önemli şekilde azaltmasından kaynaklanmaktadır. Daha az takım ömründe kaldırılan talaş hacmi de daha az olur.

Araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda, kesme hızının kaldırılan talaş hacmi üzerindeki etkisi yaptığımız çalışmayla benzerlik göstermektedir [6, 12, 15].

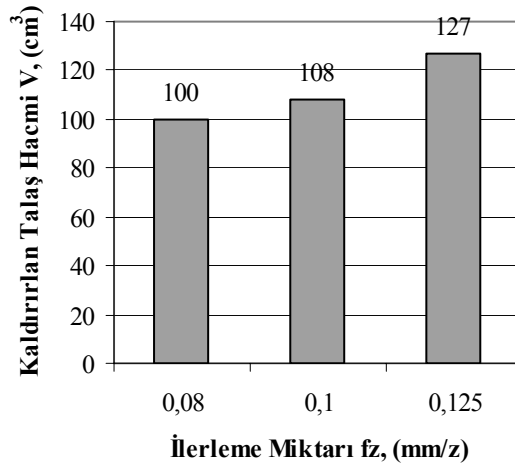


Şekil 5.13. Kesme hızına bağlı olarak kaldırılan talaş hacminin değişimi

5.2.3. İlerleme miktarının kaldırılan talaş hacmi üzerindeki etkisi

Yapılan literatür araştırmalarında ilerleme miktarıyla kaldırılan talaş hacminin farklı şekilde etkilendiği görülmüştür. Çünkü; ilerleme miktarının takım ömrü üzerindeki etkisi işleme şartlarına göre değişmektedir. Özellikle, düşük kesme hızlarında yapılan çalışmalarda, ilerleme miktarındaki artışın takım ömrünü önemli şekilde azalttığından dolayı, kaldırılan talaş hacmin de bir azalma olduğu görülmüştür. Jawaid ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, Ti 6Al 4V titanyum alaşımının kaplamalı karbür uçlarla frezelenmesinde elde edilen sonuçlar bu durumu açıklar niteliktedir [15]. Yaptıkları çalışma neticesinde, 55 m/min kesme hızı ve 0,15 mm/z ilerleme miktarında ulaştığı 15 dakikalık takım ömrüne karşılık 343 cm³ talaş hacmi kaldırmışken, aynı hızda ve 0,1 mm/z ilerleme miktarında ise 30 dakikalık takım ömrüne ulaşılmış ve 457 cm³ talaş hacmi kaldırılmıştır. Çalışmada, ilerleme miktarının artmasıyla takım ömrü ve kaldırılan talaş hacminin azaldığı rapor edilmiştir. Yüksek kesme hızlarında gerçekleştirdiğimiz tez çalışmasında ise bu çalışmaya göre zıt bir durum söz konusudur. Yapılan deneyler neticesinde, ilerleme miktarının artmasıyla kaldırılan talaş hacmi artmıştır (Şekil 5.14). Çünkü; yüksek kesme hızlarında ilerleme miktarının % 25 oranında artmasına karşılık takım

ömründe yaklaşık % 5 ~ % 15 arasında, önemsiz bir azalma olmuştur. İlerleme miktarıyla takım ömrünün azalmasına karşılık, kaldırılan talaş hacminin artması ilerleme hızından kaynaklanmıştır. Richetti ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada ise, her iki durumu destekler nitelikte sonuçlar elde edilmiştir [6].



Şekil 5.14. İlerleme miktarına bağlı olarak kaldırılan talaş hacminin değişimi

5.2.4. Takım ömrü ve kaldırılan talaş hacminin genel değerlendirmesi

Freze başlığına 1, 3 ve 6 sayıda uç takılarak 416 m/min, 500 m/min ve 600 m/min kesme hızları ile 0,08 mm/z, 0,1 mm/z ve 0,125 mm/z ilerleme miktarlarında yapılan deneylerden ulaşılan takım ömürleri ve kaldırılan talaş hacimleri Çizelge 5.1’de verilmiştir. Çizelgedeki kaldırılan talaş hacim değerleri, kesici takımın işleme süresi boyunca kaldırmış olduğu toplam talaş hacimleridir.

Çizelge 5.1 incelendiğinde en yüksek takım ömrüne (435 s) 416 m/min kesme hızı ve 0,08 mm/z ilerleme miktarında tek uç kullanılarak yapılan deneyde ulaşılrken, en düşük takım ömrüne (82 s) ise 600 m/min kesme hızı ve 0,125 mm/z ilerleme miktarında altı adet uç kullanılarak ulaşılmıştır. Buradan da anlaşıldığı gibi kesme hızı, ilerleme miktarı ve uç sayısının en düşük olduğu değerlerde takım ömrü en fazla iken, en yüksek değerlerinde ise en azdır. Kaldırılan talaş hacmi açısından ise, en yüksek değere (325,4 cm³), 416 m/min kesme hızı ve 0,125 mm/z ilerleme miktarında altı uç kullanılarak; en düşük değere (18,1 cm³) ise 600 m/min kesme

hızı, 0,08 mm/z ilerleme miktarı ve tek uç ile ulaşılmıştır. Yani, kesici uç sayısı ve ilerleme miktarının en yüksek değerleri ile kesme hızının en düşük değerinde maksimum talaş hacmi elde edilmiştir. Bu, kesme hızının takım ömrü üzerindeki etkisinin, ilerleme miktarı ve uç sayısına göre çok daha fazla olmasından kaynaklanmaktadır.

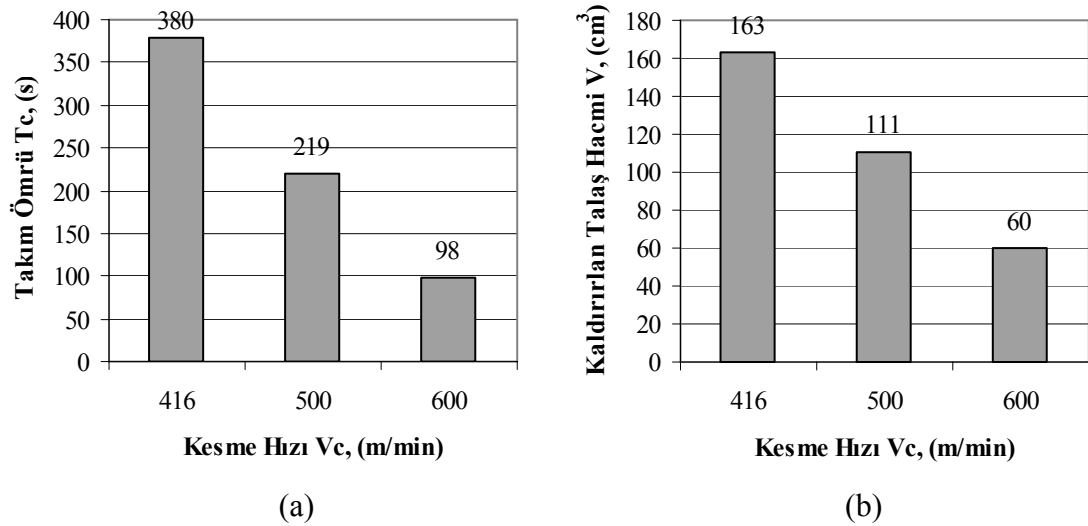
Çizelge 5.1. Farklı kesme şartlarında ulaşılan takım ömrü ve kaldırılan talaş hacimleri

Kesme şartları		1 uçlu kesici		3 uçlu kesici		6 uçlu kesici	
Vc(m/min)	fz(mm/z)	Tc (s)	V (cm ³)	Tc (s)	V (cm ³)	Tc (s)	V (cm ³)
416	0,08	435	46	426	135,5	403	255,8
	0,1	401	53,2	365	145,2	338	268,5
	0,125	369	61,1	354	176	328	325,4
500	0,08	266	33,8	236	90,3	233	178
	0,1	231	36,7	222	106	193	186,4
	0,125	216	43	210	125,4	167	202,7
600	0,08	118	18,1	110	50,1	100	91,6
	0,1	102	19,6	97	55,7	86	98,5
	0,125	97	23,2	91	65,3	82	117,6

Birim zamanda kaldırılan talaş hacmi (cm³/min), kesme hızı, ilerleme miktarı, kesici uç sayısı ve talaş derinliğinin artmasıyla aynı oranda artma göstermektedir [34]. Buna karşın, takım ömrü süresince kaldırılan talaş hacmi, deney sonuçlarından da görüleceği gibi, kesici uç sayısı ve kesme şartlarındaki değişmelerle aynı oranda etkilenmemiştir. Bu durum, her değişkenin takım ömrünü farklı şekilde etkilemesinden kaynaklanmıştır. Özellikle kesme hızındaki artışın takım ömrünü önemli şekilde azalttığından dolayı, diğer parametrelere nazaran kaldırılan talaş hacmini azalttığı görülmüştür (Şekil 5.15).

Kesme hızına bağlı olarak işleme zamanının ve kaldırılan talaş hacminin değişimi Şekil 5.15’de gösterilmektedir. Grafiklerde verilen değerler, her bir kesme hızında yapılan deneylerden elde edilen sonuçların aritmetik ortalaması alınarak belirlenmiştir ($T_{380}=(435+401+369+426+365+354+403+338+328)/9$). Kesme hızının 416 m/min’den 500 m/min’ ya (% 20 artış) çıkarılmasıyla takım ömründe yaklaşık %

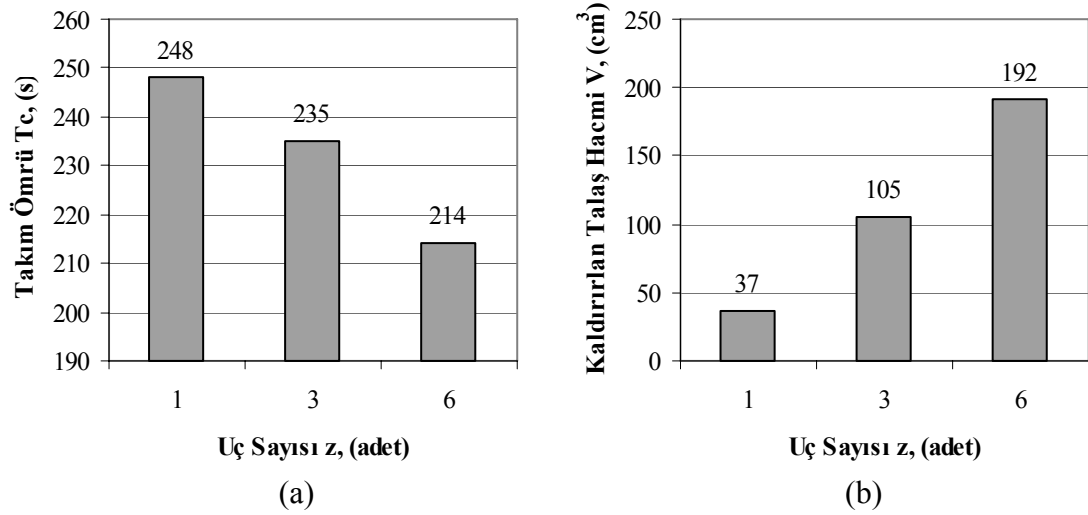
73 oranında azalma olurken kaldırılan talaş hacminde yaklaşık % 47 oranında azalma meydana gelmiştir. Buna ek olarak, kesme hızı 500 m/min'dan 600 m/min'ya (% 20 artış) çıkarılmasıyla takım ömrü yaklaşık % 123 oranında azalırken, kaldırılan talaş hacmi yaklaşık % 86 oranında azalmıştır. Bu değerlerden anlaşılacağı gibi, birim zamanda kaldırılan talaş hacminin kesme hızıyla artmasına rağmen, kesme hızının takım ömrü üzerindeki etkisinden dolayı kaldırılan talaş hacminin azaldığı görülmüştür. Sonuç olarak, kesme hızının artması, takım ömrünü ve kaldırılan talaş hacmini azaltırken, bu etki, kaldırılan talaş hacmine kıyasla takım ömründe daha önemli boyuttadır. Bu sonuç literatürle paralellik arz etmektedir [6, 12, 15].



Şekil 5.15. Kesme hızında bağlı olarak işleme zamanının ve kaldırılan talaş hacminin değişimi (a) Kesme hızı-takım ömrü grafiği, (b) Kesme hızı-kaldırılan talaş hacmi grafiği

Yaklaşık 328 s takım ömründe maksimum talaş hacmi ($325,4 \text{ cm}^3$) kaldırılmıştır (Çizelge 5.1). En yüksek takım ömrü değerinde (435 s) ise, kaldırılan talaş hacmi maksimum talaş hacminden 7 kat daha az gerçekleşmiştir. Bu farkın oluşmasının en büyük nedeni, freze başlığındaki kesici uç sayısının kaldırılan talaş hacmi üzerindeki etkisidir. Aynı diş başına ilerleme miktarı ve kesme hızında kesici uç sayısının 6 kat artırılmasıyla kaldırılan talaş hacminde 5,15 kat artma sağlanmıştır. Bu durum, diş başına ilerlemenin sabit olmasına karşın, uç sayısının ilerleme hızını arttırmasından kaynaklanmıştır (Eş.3.2). Bununla birlikte, kesici uç sayısının 6 kat artmasıyla

kaldırılan talaş hacminde 6 kat yerine 5,15 kat artma gerçekleşmiştir. Kaldırılan talaş hacmindeki yaklaşık % 16 civarındaki bu azalma, kesici uç sayısının takım ömrünü azaltmasının sonucudur (Şekil 5.16).

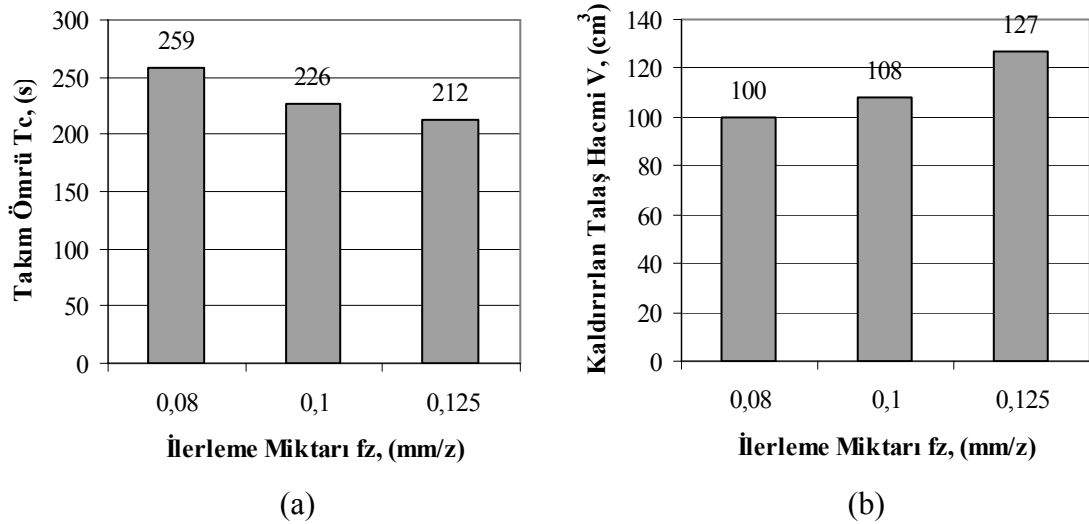


Şekil 5.16. Kesici uç sayısına bağlı olarak takım ömrü ve kaldırılan talaş hacminin değişimi (a) Uç sayısı-takım ömrü grafiği, (b) Uç sayısı-kaldırılan talaş hacmi grafiği

İlerleme miktarına bağlı olarak takım ömrü ve kaldırılan talaş hacminin değişimi Şekil 5.17’de gösterilmektedir. İlerleme miktarı kesme hızına nazaran takım ömrü ve kaldırılan talaş hacmini daha az etkilemiştir. İlerleme miktarı 0,08 mm/z’ten 0,1 mm/z’e çıkarılmasıyla takım ömründe % 14 azalma olmuşken buna karşılık kaldırılan talaş hacminde % 7,6 oranında artma meydana gelmiştir. Bununla birlikte, ilerleme miktarının 0,1 mm/z’ten 0,125 mm/z’e yükseltilmesiyle takım ömründe % 6,3 azalma olurken kaldırılan talaş hacmi % 18 oranında artmıştır. Bu durum, ilerleme miktarının artmasıyla takım ömrün kısaldığını, kaldırılan talaş hacminin ise arttığını göstermektedir.

Bütün bunların sonucunda, genel olarak kesici uç sayısı, kesme hızı ve ilerleme miktarının artmasıyla takım ömrü azalmışken, kesici uç sayısı ve ilerleme miktarının artması ve kesme hızının azalması kaldırılan talaş hacmini arttırmıştır. Ayrıca, takım

ömrü için en önemli değişken kesme hızı iken, kaldırılan talaş hacmi ise kesici uç sayısından daha fazla etkilenmiştir.



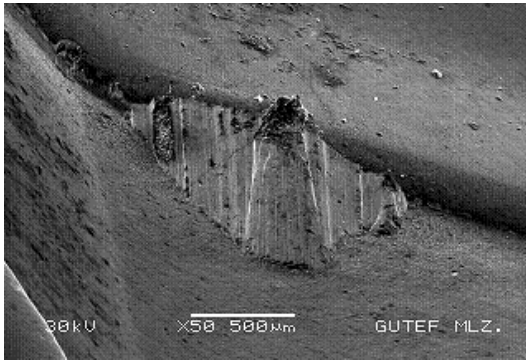
Şekil 5.17. İlerleme miktarına bağlı olarak takım ömrü ve kaldırılan talaş hacminin değişimi (a) İlerleme miktarı-takım ömrü grafiği, (b) İlerleme miktarı - kaldırılan talaş hacmi grafiği

5.3. Takım Aşınmalarının İncelenmesi

AISI D3 soğuk iş takım çeliğinin yüksek kesme hızlarında kaplamalı karbür takımlarla işlenmesinde, kesici uç sayısı, kesme hızı ve ilerleme miktarının farklı kombinasyonlarında yapılan takım ömrü deneylerinde, kesici takımda gerçekleşen aşınmalar SEM mikroskobuyla incelenmiştir. SEM cihazına yerleştirilen aşınmış uça 45° açı verilerek suretiyle her üç yüzeyinde incelenmesi sağlanmıştır.

Şekil 5.18.a'da 500 m/min ve 0,1 mm/z kesme şartlarında tek uçla yapılan deneylerde kullanılan takımın aşınma desenleri gösterilmektedir. Şekil incelendiğinde, kesici takımın yan yüzeyinde yan yüzey aşınmasının olduğu görülmektedir. Takımdaki yan yüzey aşınması abrasiv aşınma mekanizmasından kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte, aşınma bölgesinde ergimiş iş parçası malzemelerinin yapıışmış olduğu görülmektedir. Kumar ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, karma ve zirkona takviyeli seramik kesici takımlarla

sertleştirilmiş EN 24 (40–45 HRC) iş parçasının işlenmesinde abrasiv aşınmanın kesici takımın yan yüzeyindeki etkin aşınma mekanizması olduğu ifade edilmiştir [19]. Seramik takımların abrasiv aşınma direncinin tokluk ve sertlik özelliklerine bağlı olduğu rapor edilmiştir. Benzer sonuçlar Şekil 5.18.b ve Şekil 5.18.c’de verilen kesme şartlarında da gözlenmektedir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 5.18. Kaplamalı karbür takımdaki aşınma desenleri (a) $V_c=500$ m/min, $f_z=0,1$ mm/z, $z=1$ adet, (b) $V_c=416$ m/min, $f_z=0,1$ mm/z, $z=3$ adet, (c) $V_c=600$ m/min, $f_z=0,128$ mm/z, $z=6$ adet

5.4. Yüzey Pürüzlülük Değerlendirmeleri

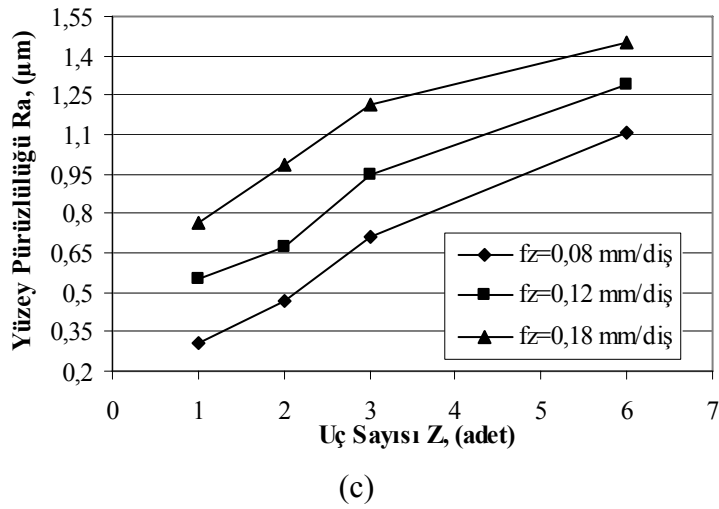
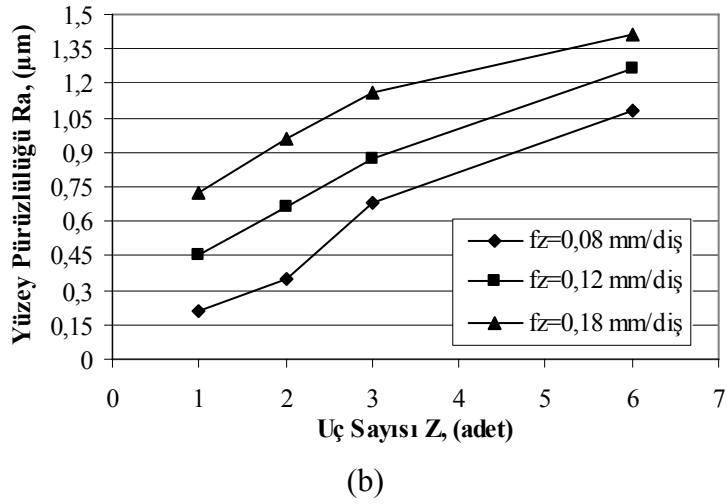
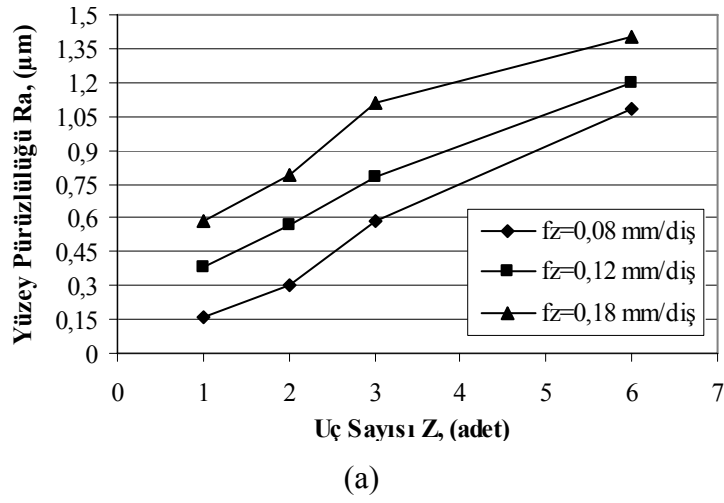
Bu bölümde, AISI D3 soğuk iş takım çeliğinin kaplamalı karbür takımlarla frezelenmesinde, kesici uç sayısı, kesme hızı ve ilerleme miktarının iş parçası yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi incelenmiştir. Yüzey pürüzlülüğü çalışmalarında kullanılan kesme şartları takım ömrüne oranla daha düşüktür. Deneysel çalışmalar, 80 m/min, 120 m/min ve 180 m/min kesme hızı ve 0,08 mm/z, 0,12 mm/z ve 0,18

mm/z ilerleme miktarı ile 1, 2, 3 ve 6 sayıda uç kullanılarak yapılmıştır. Yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesinde ortalama yüzey pürüzlülüğü Ra esas alınmıştır. Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar, JMP 5.0.1 ve Microsoft Excel 7.0 programları kullanılarak değerlendirilmiş ve grafiklere dönüştürülmüştür. Kesici uç sayısı, kesme hızı ve ilerleme miktarının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi ayrı bölümler halinde sunulmuştur.

5.4.1. Kesici uç sayısının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi

Bu bölümde, kesici uç sayısının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi incelenmiştir. Farklı kesme şartlarında yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar Şekil 5.19'daki grafiklerde gösterilmektedir. Grafikler incelendiğinde, bütün kesme şartlarında, kesici uç sayısının artmasıyla yüzey pürüzlülük değerleri artmıştır. Bu durum, kesici takım ile iş parçası arasındaki titreşim, kesme işleminde çıkan talaşın iş parçasına sürtmesi ve kesici uçların freze başlığındaki yuvalarına yerleştirilmesindeki kusurlardan kaynaklanabilir. Uç sayısının artmasıyla kesici takım ile iş parçası arasındaki titreşim daha yüksek frekansta gerçekleşir. Titreşim nedeniyle her bir uç farklı talaş derinliklerinde işleme yapar ve işlenen iş parçası yüzeyi daha pürüzlü olur. Ay tarafından yapılan doktora çalışmasında da, kesme kuvvetleri ve titreşimin yüzey kalitesini kötüleştirdiği rapor edilmiştir [30]. Diğer bir durum ise talaş kaldırma işleminde çıkan talaşın iş parçasının işlenmiş yüzeyine sürtmesi sonucu yüzey kalitesinin bozulmasıdır. Çok uçlu kesici takımdan daha fazla talaş çıkacağından dolayı daha kötü yüzey kalitesi elde edilecektir. Ayrıca, kesici takım üretim standardına göre tolerans içerisinde kabul edilen takım hataları veya ucun yerleştirmesi esnasında oluşan hatalar yüzey pürüzlülüğünü etkilemektedir.

Franco ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, yuvarlak uçlu kesici takımlar ile yüzey frezeleme işleminde, radyal ve aksel kaçıklık gibi takım hatalarının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri araştırılmıştır [31]. Araştırmalar sonucunda, bu takım hatalarının yüzey pürüzlülüğünü arttırdığı tespit edilmiştir. Kesici uç sayısının artmasıyla takım hataları etkisi artar ve daha kötü yüzey kalitesi



Şekil 5.19. Farklı kesme hızı ve ilerleme miktarlarında kesici uç sayısına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünün değişimi (a) $V_c=80$ m/min, (b) $V_c=120$ m/min, (c) $V_c=180$ m/min

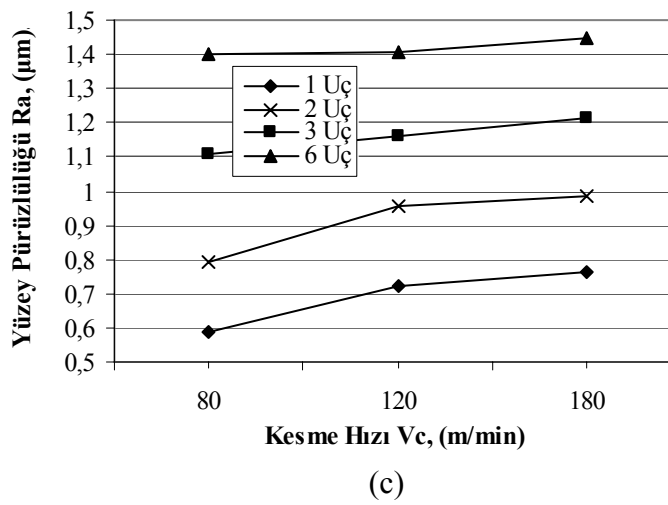
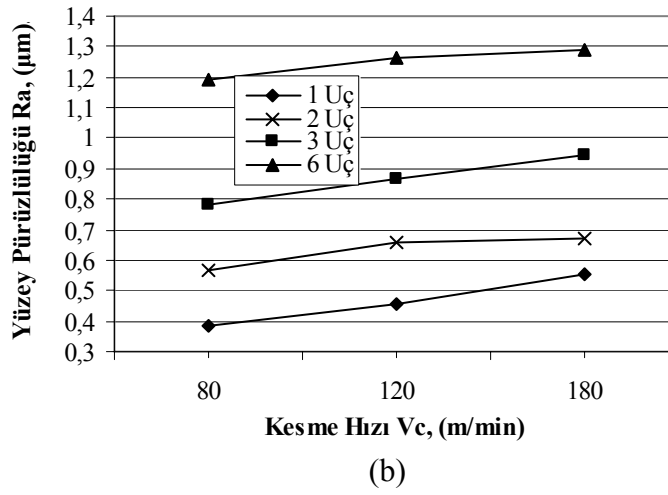
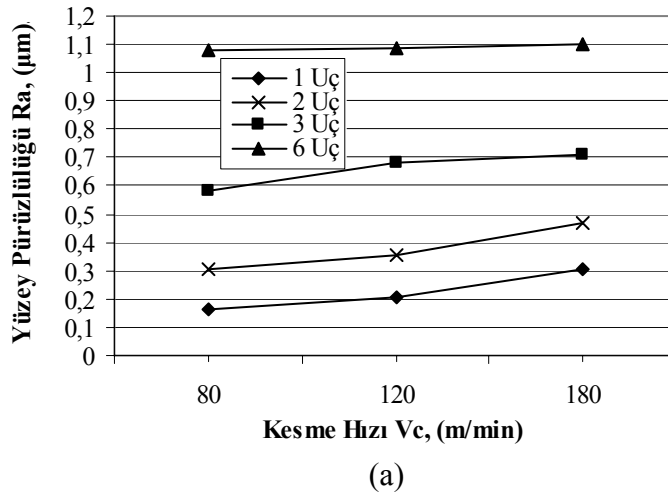
elde edilir. Yapılan literatür araştırmasında kesici uç sayısının iş parçası yüzey pürüzlülüğüne etkisini gösteren çalışmaya rastlanmamıştır.

Şekil 5.19'daki grafiklerde görüleceği gibi, en düşük yüzey pürüzlülük değerine tek uçlu kesici ile ulaşılmıştır. Kesici uç sayısının 1'den 2'ye ve 2'den 3'e çıkarılmasıyla yüzey pürüzlülük değerinde hızlı bir artış olmuşken 3'ten 6'ya çıkartıldığında ise daha az artış gerçekleşmiştir. Çünkü; 6 uçlu kesiciyle işlemede, aynı anda iki tane uç kesme işlemine katılmaktadır. Kesici takım ile iş parçası arasındaki temas alanı artacağından dolayı titreşimin etkisi azalmaktadır.

Farklı kesme hızı ve 0,08 mm/z ilerleme miktarında yapılan deneylerde, kesici uç sayısının 1'den 6'ya yükselmesiyle Ra değeri yaklaşık 5,21 kat artmıştır. Bununla birlikte ilerleme miktarının 0,12 mm/z olduğunda Ra değeri yaklaşık 2,73 kat artarken, 0,18 mm/z ilerlemede ise 2,07 kat artmıştır (Şekil 5.19.a). Bu durum, ilerleme miktarındaki artışın kesici uç sayısının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini azalttığını göstermektedir. Benzer durum Şekil 5.19.b,c'de de gözükmemektedir. Buna karşın kesme hızının etkisi önemli derecede olmamıştır.

5.4.2. Kesme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi

Kesme hızının yüzey pürüzlülüğüne etkisini belirlemek amacıyla yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar grafik olarak verilmiştir (Şekil 5.20). Grafikler incelendiğinde, kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülük değerinin arttığı ancak, bu artışın önemli şekilde olmadığı görülmektedir. Choudhury ve Baradie tarafından yapılan çalışmada, kesme hızı, ilerleme miktarı ve talaş derinliğinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri incelenmiştir. Yüzey pürüzlülüğünde ilerleme miktarının etkisinin kesme hızı ve talaş derinliğinin etkisinden daha belirgin olduğu rapor edilmiştir. Buna karşın, Korkut ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin sinterlenmiş karbür kesici takımla farklı kesme hızlarında tornalanması sonucunda, kesme hızının artması ile yüzey pürüzlülük değerlerinin azaldığı belirtilmiştir [20]. Bu durum, düşük kesme hızlarında BUE oluşmasına bağlanmıştır.



Şekil 5.20. Farklı ilerleme miktarında hızlarında kesme hızına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünün değişimi (a) $f_z=0,08$ mm/z, (b) $f_z=0,12$ mm/z, (c) $f_z=0,18$ mm/z

Gökkaya ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada ise, kesme hızı artışının yüzey pürüzlülüğünü arttırdığı belirtilmiştir [32]. Kaplamasız sementit karbür uçlarla yapılan çalışmada, bu durum, yüksek kesme sıcaklıklarında kesici takımında oluşan aşınmaya bağlanmıştır.

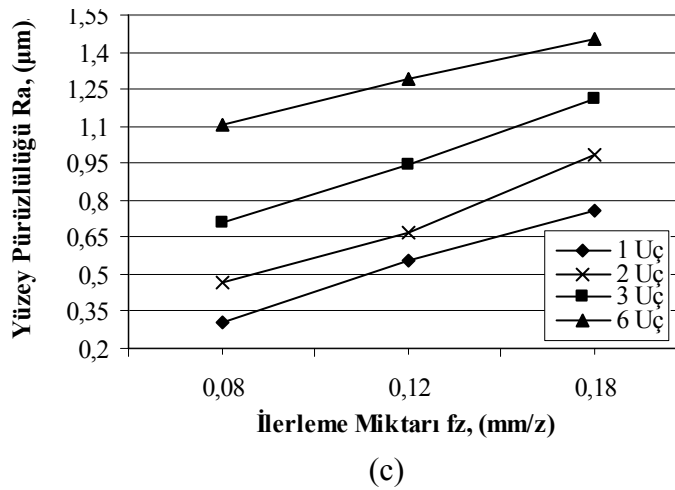
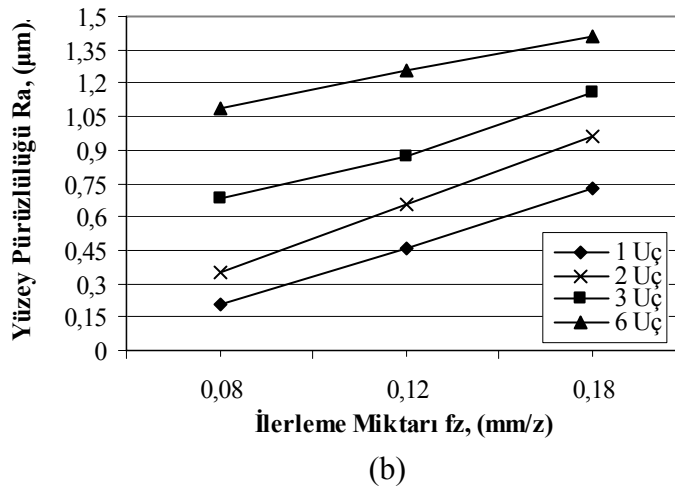
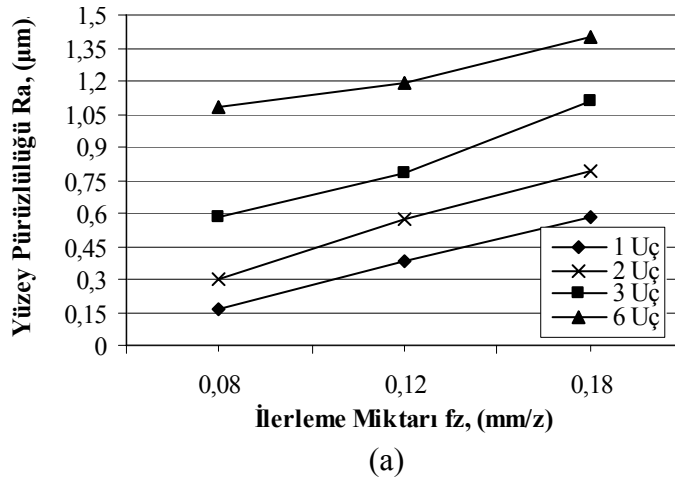
5.4.3. İlerleme miktarının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi

Araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda ilerleme miktarının yüzey pürüzlülüğü üzerinde önemli bir parametre olduğu ve ilerleme miktarındaki artışın yüzey kalitesini kötüleştirdiği rapor edilmektedir [22, 24]. Şekil 5.21'deki grafiklerde de ilerleme miktarının artmasıyla yüzey kalitesinin kötüleştiği açık bir şekilde görülmektedir. İlerleme miktarıyla yüzey pürüzlülüğü arasında doğrusal bir ilişki vardır. İşleme esnasında kesici takımın iş parçası üzerinde düşük hızla ilerlemesi sonucu, birim zamanda ilerleme miktarı düştüğünden yüzey kalitesi iyileşmektedir.

5.4.4. Yüzey pürüzlülüğünün genel değerlendirmesi

AISI D3 soğuk iş takım çeliğinin kaplamalı karbür takımla frezelenmesinde, kesici uç sayısı, kesme hızı ve ilerleme miktarının, yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar Çizelge 5.2'de verilmiştir.

En düşük Ra değeri 0,16 μm , 80 m/min kesme hızı ve 0,08 mm/z ilerleme miktarıyla tek uç kullanılarak elde edilmiştir. Buna karşın en yüksek Ra değeri olan 1,449 μm ise 180 m/min kesme hızı ve 0,18 mm/z ilerleme miktarıyla 6 adet uç kullanılarak elde edilmiştir. Bu durum kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesici uç sayısının artmasıyla yüzey kalitesinin kötüleştiğini göstermektedir. Ayrıca, tek uçlu takımla düşük ilerleme miktarlarında elde edilen Ra değerleri neredeyse taşlama kalitesindedir.

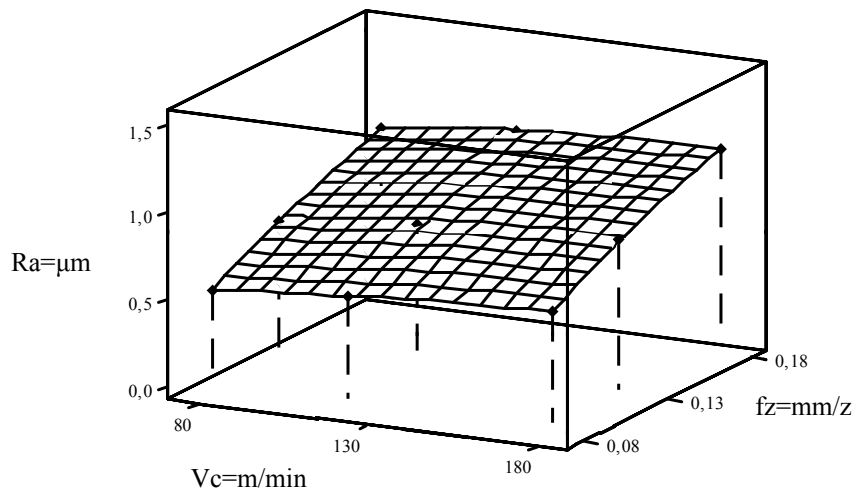


Şekil 5.21. Farklı kesme hızlarında ilerleme miktarına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünün değişimi (a) $V_c=80$ m/min, (b) $V_c=120$ m/min, (c) $V_c=180$ m/min

Çizelge 5.2.Yüzey pürüzlülük değerleri

Kesme Şartları		1 Uç	2 Uç	3 Uç	6 Uç
Vc (m/min)	fz (mm/z)	Ra (µm)	Ra (µm)	Ra (µm)	Ra (µm)
80	0,08	0,16	0,303	0,585	1,079
	0,12	0,382	0,569	0,784	1,194
	0,18	0,586	0,794	1,109	1,4
120	0,08	0,206	0,352	0,723	1,084
	0,12	0,456	0,66	0,869	1,261
	0,18	0,724	0,958	1,16	1,409
180	0,08	0,303	0,467	0,708	1,104
	0,12	0,552	0,67	0,945	1,29
	0,18	0,761	0,983	1,211	1,449

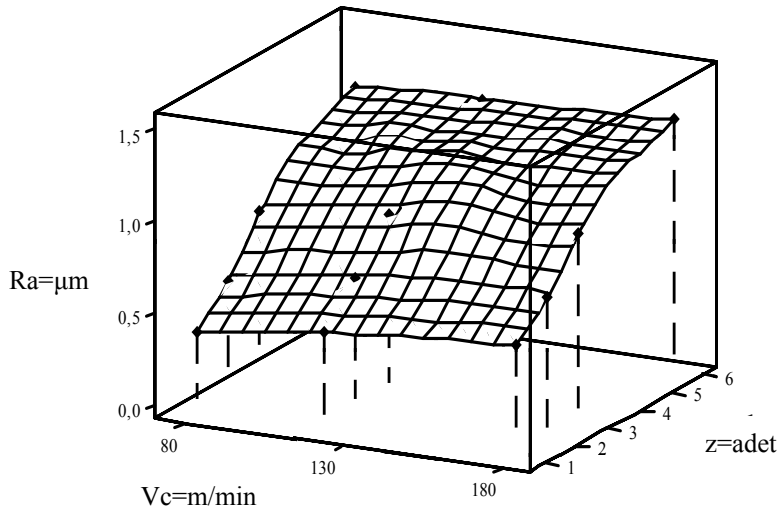
Şekil 5.22’de kesme hızı ve ilerleme miktarının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi gösterilmiştir. Kesme hızındaki % 50 oranındaki artışlara karşılık, yüzey pürüzlülük değerindeki yaklaşık % 6 ~ % 10 arasında yükselme olmuştur. İlerleme miktarındaki % 50 oranındaki artışta ise bu oran yaklaşık % 30 ~ % 35 arasında gerçekleşmiştir. Bu değerler sonucunda, ilerleme miktarının yüzey pürüzlülüğüne olan etkisi, kesme hızının etkisinden daha fazla olmuştur. Bu sonuçlar literatürle paralellik arz etmektedir [27, 29].



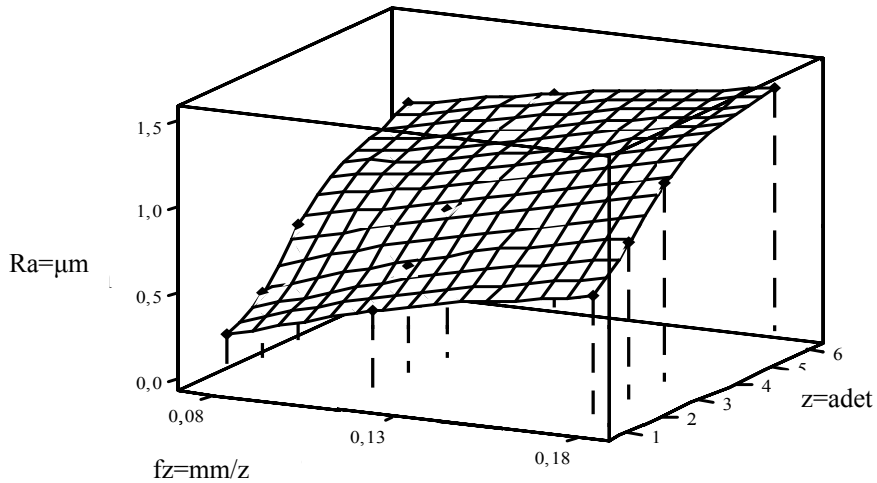
Şekil 5.22. Kesme hızı ve ilerleme miktarının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi

Şekil 5.23'deki grafik incelendiğinde, uç sayısının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisinin kesme hızından daha fazla olduğu görülmektedir. Freze başlığındaki kesici uç sayısının 1'den 6'ya çıkarılmasıyla yüzey pürüzlülük değerinde yaklaşık % 172 civarında artma olmuştur. Bu durum, çok uçlu kesici takımla işleme esnasında oluşan titreşimin tek uçlu takıma göre daha fazla olmasından kaynaklanmıştır.

Uç sayısı ve ilerleme miktarının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi ise Şekil 5.24'de gösterilmiştir. Bu grafikte de kesici uç sayısının etkisinin ilerleme miktarından daha fazla olduğu görülmüştür.



Şekil 5.23. Kesme hızı ve uç sayısının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi



Şekil 5.24. Uç sayısı ve ilerleme miktarının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi

Sonuç olarak, AISI D3 soğuk iş takım çeliğinin kaplamalı karbür takımlarla frezelenmesinde, kesici uç sayısı ve ilerleme miktarının artmasıyla iş parçası yüzey kalitesi kötüleşirken, kesme hızının belirgin bir etkisi gözlenmemiştir. Bununla birlikte, yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili parametreler sırasıyla kesici uç sayısı, ilerleme miktarı ve kesme hızı olduğu yapılan deneyler sonucunda belirlenmiştir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

6.1. Sonuç

Bu çalışmada; AISI D3 soğuk iş takım çeliğinin CNC dik işleme merkezinde, kaplamalı karbür takımlarla işlenmesinde, kesici uç sayısı, kesme hızı ve ilerleme miktarının, takım ömrü, kaldırılan talaş hacmi ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla deneyler yapılmıştır. Takım ömrü deneylerinde yüksek kesme hızları kullanılırken yüzey pürüzlülüğü deneylerde ise, kesici takım firmasının tavsiye ettiği kesme şartları kullanılmıştır. Deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

1. Farklı kesme şartlarında yapılan deneylerde, freze başlığındaki kesici uç sayısının artması ile takım ömrü kısalmıştır. Bu durum, kesici uç sayısının artması ile kesme sıcaklığı ve titreşimin artmasından kaynaklanmaktadır.
2. Kesici uç sayısının takım ömrü üzerindeki etkisi kesme hızı ve ilerleme miktarının değişmesiyle farklılık gösterdiği ancak bunun düzenli bir şekilde olmadığı görülmüştür.
3. Kesme hızı takım ömrünü önemli şekilde etkilemiştir. Yüksek kesme hızlarında daha yüksek kesme sıcaklıklarının oluşması nedeniyle, ısı etki sonucu oluşan aşınma mekanizmalarının hızlanmasıyla daha düşük takım ömrü elde edilmiştir. Keza bu sonuç, kesme hızının takım ömrü üzerindeki bilinen etkisini de doğrulamaktadır.
4. Araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda takım ömrünün ilerleme miktarının artmasıyla azaldığı rapor edilmiştir [12, 13, 15]. Yüksek kesme hızlarında gerçekleştirdiğimiz tez çalışmasında da, benzer sonuçlar elde edilmesine karşın bu azalmanın önemli boyutta olmadığı görülmüştür. Çünkü; yüksek kesme hızlarında, malzemenin plastik deformasyonu için ihtiyaç duyulan enerji yeterli bir seviyeye ulaşmakta ve ilerleme miktarının artmasıyla meydana gelen ısı enerjisine daha az ihtiyaç duyulmaktadır [14].

5. Talaş kaldırma işlemi sonrasında aşınan takım yüzeyleri taramalı elektron mikroskopuyla (SEM) incelenmiş ve bu incelemede; kesici takımın yan yüzeyindeki yan kenar aşınmasının etkili olduğu gözlenmiştir. Takımdaki yan kenar aşınması abrasiv aşınma mekanizmasından kaynaklanmıştır.

6. Talaş kaldırma işlemlerinde performansı belirleyen en önemli unsurlardan biri olan kaldırılan talaş hacmi veya verimlilik, kesici uç sayısının artmasıyla önemli şekilde etkilenmiştir. Çok uçlu kesici ile işlemede daha az takım ömrü elde edilmesine rağmen kaldırılan talaş hacmi artmıştır. Bu durum, ilerleme hızından kaynaklanmıştır.

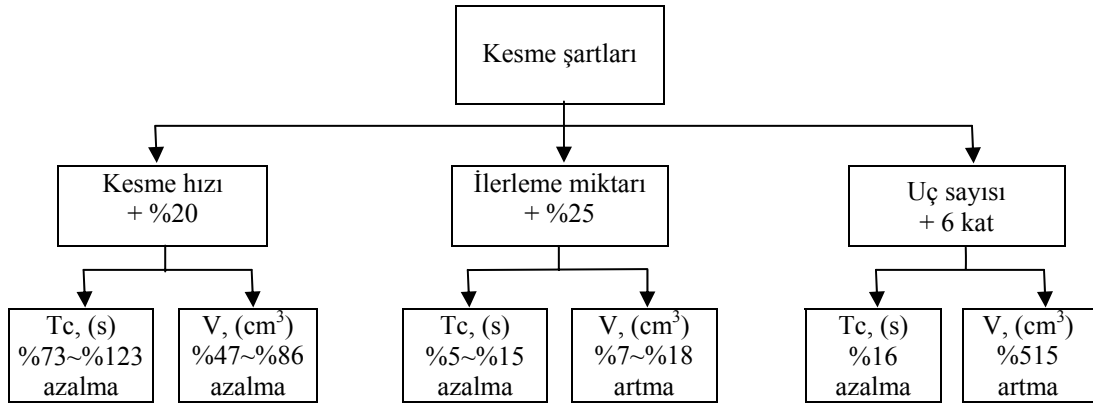
7. Kesme hızının artmasıyla kaldırılan talaş hacmi azalmıştır. Bu durum, artan kesme hızının takım ömrünü önemli şekilde azaltmasından kaynaklanmıştır. Daha az takım ömründe kaldırılan talaş hacmi de daha az olmuştur.

8. İlerleme miktarının artmasıyla kaldırılan talaş hacmi artmıştır İlerleme miktarının artmasıyla takım ömrünün azalmasına karşılık kaldırılan talaş hacminin artması ilerleme hızından kaynaklanmıştır.

9. En yüksek takım ömrüne (435 s) 416 m/min kesme hızında ve 0,08 mm/z ilerleme miktarında tek uç kullanılarak yapılan deneylerle ulaşılırken, en düşük takım ömrüne (82 s) ise 600 m/min kesme hızı ve 0,125 mm/z ilerleme miktarında altı adet uç kullanılarak ulaşılmıştır.

10. Kaldırılan talaş hacmi açısından ise en yüksek değere ($325,4 \text{ cm}^3$), 416 m/min kesme hızı ve 0,125 mm/z ilerleme miktarında altı uç kullanılarak; en düşük değere ($18,1 \text{ cm}^3$) ise 600 m/min kesme hızı, 0,08 mm/z ilerleme miktarı ve tek uç ile ulaşılmıştır.

11. Kesme parametrelerinin takım ömrü ve kaldırılan talaş hacmi üzerindeki etkisi Şekil 6.1’de gösterilmektedir.



Şekil 6.1. Kesme parametrelerinin takım ömrü ve kaldırılan talaş hacmi üzerindeki etkisi

- Kesme hızının %20 oranında arttırılması halinde takım ömrü %73 ~ %123 oranında azalırken kaldırılan talaş hacmi de % 46 ~ % 86 oranında azalmaktadır.
- İlerleme miktarının %25 oranında arttırılmasıyla takım ömrü %6 ~ %14 oranında azalırken kaldırılan talaş hacminde %7 ~ %18 oranında artma görülür.
- Kesici uç sayısının 1'den 6'ya çıkartılmasıyla takım ömrü %16 azalırken kaldırılan talaş hacminde %514 oranında artış görülmektedir.
- Kesme hızında meydana gelen değişikliklerin takım ömrü üzerinde, hem uç sayısından hem de ilerleme miktarından daha büyük etkiye sahip olduğu görülmektedir. Kaldırılan talaş hacmi açısından ise, en büyük etkiyi kesici uç sayısı gerçekleştirmiştir.

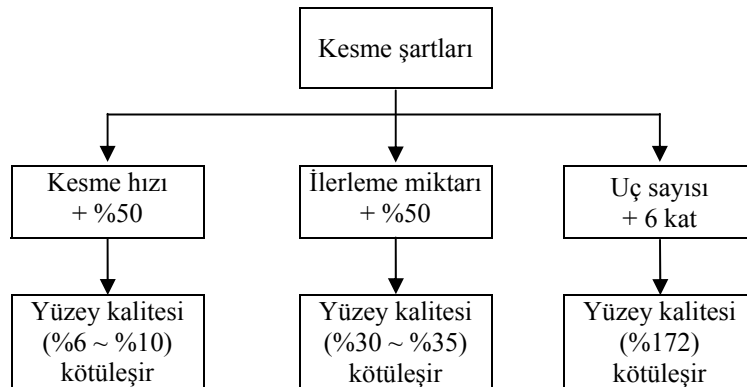
12. Bütün kesme şartlarında, kesici uç sayısının artmasıyla yüzey pürüzlülük değerleri artmıştır. Bu durum, kesici takım ile iş parçası arasındaki titreşim, kesme işleminde çıkan talaşın iş parçasına sürmesi ve freze başlığındaki kesici uç yuvalarının kusurlu olması gibi takım hatalarından kaynaklandığı şeklinde yorumlanmıştır. Ayrıca, kesici uç sayısının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi ilerleme miktarıyla değişirken kesme hızının bir etkisi olmamıştır.

13. Kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülük değerinin arttığı ancak, bu artışın önemli şekilde olmadığı görülmüştür.

14. İlerleme miktarının yüzey pürüzlülüğü üzerinde önemli bir parametre olduğu, yapılan deneyler sonucunda görülmüştür. İşleme esnasında kesici takımın iş parçası üzerinde düşük hızla ilerlemesi sonucu birim zamanda ilerleme miktarı düşeceğinden dolayı yüzey kalitesi iyileşmiştir.

15. En düşük Ra değeri 0,16 μm , 80 m/min kesme hızı ve 0,08 mm/z ilerleme miktarıyla tek uç kullanılarak elde edilmiştir. Buna karşın en yüksek Ra değeri olan 1,449 μm ise 180 m/min kesme hızı ve 0,18 mm/z ilerleme miktarıyla 6 adet uç kullanılarak elde edilmiştir.

16. Şekil 6.2’de kesme parametrelerinin yüzey kalitesi üzerindeki etkisi gösterilmektedir.



Şekil 6.2. Kesme parametrelerinin yüzey kalitesi üzerindeki etkisi

- Kesme hızının %50 oranında arttırılması durumunda yüzey kalitesi %6~%10 oranında kötüleşmektedir.
- İlerleme miktarının %50 oranında artması durumunda yüzey kalitesi %30~%35 oranında kötüleşmektedir.

- Kesici uç sayısının 1'den 6'ya çıkartılmasıyla yüzey kalitesi %172 oranında kötüleşmektedir.
- Yüzey kalitesi üzerinde en etkili parametreler sırasıyla kesici uç sayısı, ilerleme miktarı ve kesme hızı olduğu yapılan deneyler sonucunda belirlenmiştir.

Sonuç olarak, AISI D3 soğuk iş takım çeliğinin kaplamalı karbür takımlarla frezelenmesinde, takım ömrü dikkate alındığında 416 m/min kesme hızı, 0,08 mm/z ilerleme miktarı ve 1 adet uç seçilmeli, kaldırılacak talaş hacmi dikkate alındığında ise 416 m/min kesme hızı, 0,125 m/min ilerleme miktarı ve 6 adet uç seçilmelidir. Ancak, yüksek kesme hızlarında işlemede uç sayısının kaldırılan talaş hacmi üzerindeki etkisi takım ömrüne nazaran çok daha fazla olduğundan, talaş kaldırma işlemlerinde çok uçlu kesici takımın kullanılması tavsiye edilir. Yüzey pürüzlülüğü açısından ise 80 m/min kesme hızı, 0,08 mm/z ilerleme miktarı ve tek uç seçilmesiyle minimum Ra değerleri elde edilir.

6.2. Öneriler

- Bu çalışmada, kesici uç sayısının takım ömrü, kaldırılan talaş hacmi ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bundan sonra yapılacak çalışmalarda, kesici uç sayısının kesme sıcaklığı, kesme kuvvetleri ve titreşim üzerindeki etkisi incelenebilir.
- Bu çalışmada, ISO tanımlamasına göre SEMT13T3AGSN takım geometrisinde ve JM talaş kırıcı formuna sahip, VP15TF kaplama kalama kalitesinde karbür uç kullanılmıştır. Benzer çalışmalarda, farklı takım kaliteleri, takım geometrileri veya kaplama kaliteleri kullanılarak da yapılmak suretiyle kapsam genişletilebilir.
- Bu çalışmada, kalıpcılık sektöründe yaygın olarak kullanılan AISI D3 soğuk iş takım çeliği seçilmiştir. Çalışma, farklı iş parçası malzemeleri ile daha geniş ve kapsamlı hale getirilebilir. Böylece malzemeler arasındaki karşılaştırmalarda yapılabilir.

- Deneysel çalışmalardan elde edilen verilerin teorik sonuçlarla mukayese edilebilmesi için, matematiksel model oluşturulmalıdır. Böylece, farklı kesme şartlarının etkileri de belirlenebilir.
- Aynı deneyler, farklı kesme şartlarında tekrarlanmak sureti ile sonuçlar karşılaştırılarak etkinliği araştırılabilir.
- Kesici uç sayısı, hızı ve ilerleme miktarlarının birleşimlerinde elde edilen takım ömrü ve kaldırılan talaş hacim değerlerinin optimizasyonu yapılarak minimum maliyet hesaplanabilir.

KAYNAKLAR

1. Şahin, Y., “İmal Usulleri”, *Gazi Yayınevi*, Ankara, 269–280 (2003).
2. İpekçioğlu, N., “Frezecilik”, *Milli Eğitim Basımevi*, İstanbul, 1–3 (1984).
3. Şeker, U., “Takım tasarımı ders notları”, *Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi*, Ankara, 1–30 (1997).
4. Güllü, A. “Silindirik taşlamada istenen yüzey pürüzlülüğünü elde etmek için taşlama parametrelerinin bilgisayar yardımıyla optimizasyonu”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Makine Eğitimi Bölümü*, Ankara, 1–5 (1995).
5. Çakır, C.M., “Modern talaşlı imalat yöntemleri”, *Vipaş A.Ş.*, Bursa, 232–235 (2000).
6. Richetti, A., Machado, A. R., Da Silva, M. B., Ezugwu, E. O., Bonney, J., “Influence of the number of inserts for tool life evaluation in face milling of steels”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 44: 695–700 (2004).
7. Kuljanic, E., “An investigation of wear in single-tooth and multi-tooth milling”, *Institute of Machine Tools*, Zagreb, 102 (1973)
8. 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).
9. Aslan, E., Camuşcu, N., “Sertleştirilmiş AISI D3 soğuk iş takım çeliğinin CBN parmak freze ile yüksek hızda işlenmesi”, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 18(3): 453–458 (2005).
10. Liu, Z. Q., Ai, X., Zhang, H., Wang, Z. T., Wan, Y., “Wear patterns and mechanisms of cutting tools in high-speed face milling”, *Journal of Materials Processing Technology*, 129: 222–226 (2002).
11. Kim S.W., Lee D.W., Kang M.C., Kim, J.S., “Evaluation of machinability by cutting environments in high-speed milling of difficult- to-cut materials”, *Journal of Materials Processing Technology*, 111: 256–260 (2001).
12. Abou-El-Hossein, K.A., Yahya, Z., “High-speed end-milling of AISI 304 stainless steels using new geometrically developed carbide inserts”, *Journal of Materials Processing Technology*, 162–163: 596–602 (2005).
13. Jie Gu, Gary Barber, Simon Tung, Ren-Jyh Gu, “Tool life and wear mechanism of uncoated and coated milling inserts”, *Wear*, 225–229: 273–284 (1999).

14. Habalı, K., “Kesici takım kaplama malzemesinin takım-talaş ara yüzey sıcaklığı üzerindeki etkisinin deneysel olarak araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Makine Eğitimi Bölümü**, Ankara, 83–104 (2003).
15. Jawaid, A., Sharif, S. and Koksall, S., “Evaluation of wear mechanisms of coated carbide tools when face milling titanium alloy”, **Journal of Materials Processing Technology**, 99: 266–274 (2000).
16. Jawaid, A., Koksall, S. and 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).
17. Nordin, M., Sundström, R., Selinder, T.I., Hogmark, S., “Wear and failure mechanisms of multilayered PVD TiN/TaN coated tools when milling austenitic stainless steel”, **Surface and Coatings Technology**, 133–134: 240–246 (2000).
18. D’Errico G. E., Bugliosi, S., Guglielmi, E., “Tool-life reliability of cermet inserts in milling tests”, **Journal of Materials Processing Technology**, 77: 337–343 (1998).
19. Kumar, A.S., Durai, A.R., Sornakumar, T., “Machinability of Hardened Steel Using Alumina Based Ceramic Cutting Tools”, **Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials**, 21: 109–117 (2003).
20. Diniz, A. E. and Filho, J. C., “Influence of the relative positions of tool and workpiece on tool life, tool wear and surface finish in the face milling process”, **Wear**, 232: 67–75 (1999).
21. Korkut, I., Donertas, M.A., “The influence of feed rate and cutting speed on the cutting forces, surface roughness and tool-chip contact length during face milling”, **Materials and Design**, 28: 308–312 (2007).
22. Korkut, I., Kasap, M., Ciftci, I., Seker, U., “Determination of optimum cutting parameters during machining of AISI 304 austenitic stainless steel”, **Materials and Design**, 25: 303–305 (2004).
23. Ciftci, I., “Östenitik paslanmaz çeliklerin işlenmesinde kesici takım kaplamasının ve kesme hızının kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi”, **Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi**, 20 (2): 2005–2009 (2005).
24. Sai, W. B., Salah, N. B., Lebrun, J. L., “Influence of machining by finishing milling on surface characteristics”, **International Journal of Machine Tools & Manufacture**, 41: 443–450 (2001).

25. Lima, J.G., Avila, R.F., Abrao, A. M., Faustino, M., Davim J. P., “Hard turning: AISI 4340 high strength low alloy steel and AISI D2 cold work tool steel”, *Journal of Materials Processing Technology*, 169: 388–395 (2005).
26. Benga, G. C., Abrao, A. M., “Turning of hardened 100Cr6 bearing steel with ceramic and PCBN cutting tools”, *Journal of Materials Processing Technology*, 143–144: 237–241 (2003).
27. Can, A., “AISI 5140 çeliğinin sermet, PVD ile TiAlN-CVD ile TiN kaplanmış kesici uçlarla tornalanmasında kesme değişkenleri, kaplama cinsi ve takım aşınmasının yüzey pürüzlülüğüne etkisinin deneysel olarak incelenmesi” Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Makine Eğitimi Bölümü*, Ankara, 13–23, 94–98 (2003).
28. Davim, J. P., Figueira, L., “Machinability evaluation in hard turning of cold work tool steel (D2) with ceramic tools using statistical techniques”, *Materials and Design*, 28: 1186–1191 (2006).
29. Choudhury, I.A. and El-Baradie, M.A., “Surface Roughness Prediction In Turning of High-Strength Steel by Factorial Design of Experiments”, *Journal of Materials Processing Technology*, 67: 55–61 (1997).
30. Ay. M., “CNC freze tezgahında frezeleme esnasında oluşan kesme kuvvetlerinin ve titreşimlerin yüzey pürüzlülüğüne etkilerinin incelenmesi”, Doktora Tezi, *Sakarya Üniversitesi Makine Eğitimi Bölümü*, Sakarya, 22–35 (2003).
31. Franco, P., Estrems, M., Fuara, F., “Influence of radial and axial runouts on surface roughness in face milling with round insert cutting tools”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 44: 1555–1565 (2004).
32. Gökkaya, H., Sur, G., Dilipak, H., “Kaplamaşız sementit karbür kesici takım ve kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisinin deneysel olarak incelenmesi”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 12(1): 59–64 (2006).
33. Motorcu A. R., “BSD freze tezgahlarında optimum zaman, maliyet ve kalite açısından üretim için bir bilgisayar programı hazırlanması”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Makine Eğitimi Bölümü*, Ankara, 68–70 (2001).
34. Şahin, Y., “Talaş Kaldırma Prensipleri, I”, *Nobel Yayın Dağıtım*, Ankara, 300–381 (2000)
35. Mangır, A., “DIN 1.2767 takım çeliğinin yüksek hızda işleme teknolojisi ile işlenmesinde elde edilen yüzey özelliklerinin araştırılması”, Yüksek lisans tezi, *Gazi Üniversitesi Makine Eğitimi Bölümü*, Ankara, 21–24 (2004).

36. Şahin, Y., “Talaş Kaldırma Prensipleri, II”, **Gazi Yayınevi**, Ankara, 67–200 (2001).
37. Özçatalbaş, Y., “Mühendislik malzemelerinin işlenebilirliği ders notları”, **Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi**, Ankara, 1–20 (2000)
38. Firma katalogları, “Turning Tools, Rotating Tools, Tooling Solutions Genel Kataloğu”, **Mitsubishi**, Tokyo, 5–20 (2005).
39. Altıntaş. Y., “Manufacturing Automation”, **Combridge University Pres**, Dublin, 50–54 (2000).
40. ISO 8688–1, “Tool life testing in milling-Part 1: Face milling”, **ISO**, 1–27 (2006).
41. Kesici takım firma kataloğu, “Milling Application”, **TaeguTec**, Taegu, 60–120 (2005).
42. Akkurt, M., “Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgâhları”, **Birsen Yayınevi**, İstanbul, 8–11 (1996).
43. Bayrak, M., “Kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi ve uzman sistemle karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü**, Ankara, 1–35 (2002).

EKLER

EK- 1. Takım ömrü deneylerinde kullanılan deney yaprağı

Deney No:								
Vc=		m/dak	fz=	mm/diş	a_a:	mm	Z:	adet
Paso	Zaman	Hacim	VB	Paso	Zaman	Hacim	VB	
1				7				
2				8				
3				9				
4				10				
5				11				
6				12				
Deney No:								
Vc=		m/dak	fz=	mm/diş	a_a:	mm	Z:	adet
Paso	Zaman	Hacim	VB	Paso	Zaman	Hacim	VB	
1				7				
2				8				
3				9				
4				10				
5				11				
6				12				
Deney No:								
Vc=		m/dak	fz=	mm/diş	a_a:	mm	Z:	adet
Paso	Zaman	Hacim	VB	Paso	Zaman	Hacim	VB	
1				7				
2				8				
3				9				
4				10				
5				11				
6				12				

EK- 2. Yüzey pürüzlülük deneylerinin sonuçları

No	Uç sayısı	İlerleme miktarı	Kesme hızı	1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm	4. Ölçüm	Ortalama (Ra)
1	1	0,08	80	0,161	0,168	0,153	0,158	0,16
2		0,12		0,397	0,362	0,392	0,385	0,382
3		0,18		0,588	0,582	0,591	0,584	0,586
4		0,08	120	0,204	0,208	0,205	0,207	0,206
5		0,12		0,455	0,458	0,451	0,459	0,456
6		0,18		0,724	0,729	0,726	0,729	0,724
7		0,08	180	0,309	0,295	0,296	0,312	0,303
8		0,12		0,552	0,561	0,544	0,553	0,552
9		0,18		0,77	0,765	0,753	0,758	0,761
10	2	0,08	80	0,311	0,317	0,297	0,289	0,303
11		0,12		0,570	0,554	0,569	0,583	0,569
12		0,18		0,734	0,805	0,813	0,825	0,794
13		0,08	120	0,351	0,345	0,368	0,344	0,352
14		0,12		0,664	0,66	0,644	0,672	0,66
15		0,18		0,949	0,958	0,959	0,966	0,958
16		0,08	180	0,467	0,46	0,492	0,448	0,467
17		0,12		0,682	0,649	0,652	0,697	0,67
18		0,18		0,962	0,955	1,001	1,014	0,983
19	3	0,08	80	0,579	0,592	0,578	0,579	0,582
20		0,12		0,794	0,755	0,763	0,824	0,784
21		0,18		1,119	1,097	1,14	1,081	1,109
22		0,08	120	0,74	0,723	0,731	0,698	0,723
23		0,12		0,869	0,859	0,884	0,864	0,869
24		0,18		1,157	1,174	1,147	1,162	1,16
25		0,08	180	0,708	0,679	0,724	0,721	0,708
26		0,12		0,945	0,926	0,962	0,947	0,945
27		0,18		1,229	1,197	1,236	1,182	1,211

EK- 2. (Devam) Yüzey pürüzlülüğü deney sonuçları

No	Uç sayısı	İlerleme miktarı	Kesme hızı	1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm	4. Ölçüm	Ortalama (Ra)
28	6	0,08	80	1,085	1,079	1,082	1,07	1,079
29		0,12		1,201	1,213	1,194	1,168	1,194
30		0,18		1,396	1,419	1,389	1,399	1,4
31		0,08	120	1,075	1,084	1,062	1,115	1,084
32		0,12		1,262	1,251	1,268	1,263	1,261
33		0,18		1,403	1,406	1,386	1,441	1,409
34		0,08	180	1,096	1,152	1,109	1,059	1,104
35		0,12		1,29	1,304	1,284	1,282	1,29
36		0,18		1,434	1,436	1,494	1,432	1,449

EK- 3. Freze takımı giriş ve çıkış uzaklıkları

Talaş derinliği (a _p)	Silindirik ve kanal freze çapı (mm)																	
	2	4	5	8	10	16	20	32	40	50	63	80	100	125	160	200		
	Giriş Uzaklık Değerleri (l _u), (mm)																	
1	2	3	3	4	5	6	7	8	9	10	11	13	14	16	18	20	Bitirme işlemlerinde la+l _u =D+3	
3	-	3	4	5	6	8	9	11	13	14	16	18	20	23	26	29		
5	-	-	3	5	6	9	10	13	15	17	19	22	24	27	31	35		
8	-	-	-	5	6	9	11	15	18	20	23	26	29	33	37	42		
10	-	-	-	-	6	9	11	16	19	22	25	28	32	36	41	46	Kaba talaş alma işlemlerinde la+l _u =0.5D+3 alınır.	
16	-	-	-	-	-	9	11	17	21	25	29	34	38	44	50	56		
20	-	-	-	-	-	-	11	17	21	26	31	36	42	48	55	62		
Çıkış uzaklığı (l _a)	Silindirik kanal frezeleme için l _u =1-2 mm alınır.																	
	İnce işleme için l _u =l _a alınır.																	

EK- 4. Takım ömrü deneyleri için CNC programı

```
O0001;  
G54;  
T 1 M6;  
G00 G90 G40 X55 Y0;  
S1990 M03;  
G43 H1 Z100;  
G00 Z5;  
G01 Z-1 F100;  
G01 X-14 F199;  
G00 G91 Z100;  
M98 P2 L6;  
G28 Y0 Z0;  
M30;
```

```
O0002;  
M00;  
G00 Z-95;  
G01 Z-5 F100;  
G01 G91 X-54 F122;  
G00 Z100;  
M99;
```

EK- 5. Yüzey pürüzlülüğü deneyleri için CNC programı

O0005	G0 G90 X-355;
G54;	G01 G91 Z-5 F249;
T1 M6;	G01 G90 X-323;
G00 G90 X55 Y0;	M98 P6 L1;
S1656 M03;	S2388 M03;
G43 H1 Z100;	G01 Z-5 F191;
G00 Z-1 F132;	X12;
X-20;	M98 P6 L1;
M98 P6 L1;	G01 Z-5 F239;
G01 Z-5 F166;	X12;
X-12;	M98 P6 L1;
M987 P6 L1;	G01 Z-5 F299;
G01 Z-5 F207;	X12;
X-12;	M98 P6 L1;
M98 P6 L1;	G28 Y0 Z0;
S1990 M03;	M30;
G01 Z-5 F159;	
X-12;	O006;
M98 P6 L1;	G00 G91 Z100;
G01 Z-5 F199;	M00;
X-12;	M99;
M98 P6 L1;	

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : GEZGİN, Akın
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 02.07.1982 Çanakkale
 Medeni hali : Bekar
 Telefon : 0 544 388 95 15
 Faks : -
 e-mail : akingezgin@hotmail.com.

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Gazi Üniversitesi/ Makine Bölümü	2004
Lise	Çanakkale Endüstri Meslek Lisesi	1999

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2004-2005	Ergün Makine	Kesici takım satışı
2005-2006	Pi Makine	CNC programlama

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Tenis, Bilgisayar teknolojileri, Basketbol, Futbol