

**FREZELEME İŞLEMİNDE KESİCİ UÇ YARIÇAPI VE UÇ  
GEOMETRİSİNİN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ VE KESME  
KUVVETLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Hakan DOMAÇ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNA EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HAZİRAN 2011  
ANKARA**

Hakan DOMAÇ tarafından hazırlanan FREZELEME İŞLEMİNDE KESİCİ UÇ YARIÇAPI VE UÇ GEOMETRİSİNİN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ VE KESME KUVVETLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. İhsan KORKUT .....  
Tez Danışmanı, Makine Eğitimi Anabilim Dalı

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

Yrd. Doç. Dr. Abdullah DURAN .....  
Makine Eğitimi Anabilim Dalı G.Ü.

Doç. Dr. İhsan KORKUT .....  
Makine Eğitimi Anabilim Dalı G.Ü.

Yrd. Doç. Dr. Yakup TURGUT .....  
Makine Eğitimi Anabilim Dalı G.Ü.

Yrd. Doç. Dr. Tayfun FINDIK .....  
Metal Eğitimi Anabilim Dalı G.Ü.

Yrd. Doç. Dr. Hakan GÜRÜN .....  
Makine Eğitimi Anabilim Dalı G.Ü.

Tarih: 27/06/2011

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

Prof. Dr. Bilal TOKLU .....  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## **TEZ BİLDİRİMİ**

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

Hakan DOMAÇ

**FREZELEME İŞLEMİNDE KESİCİ UÇ YARIÇAPI VE UÇ  
GEOMETRİSİNİN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ VE KESME KUVVETLERİ  
ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

**(Yüksek Lisans Tezi)**

**Hakan DOMAÇ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Haziran 2011**

**ÖZET**

Bu çalışmada, AISI 1040 imalat çeliğinden hazırlanmış numuneler üzerinde işleme deneyleri yapılmıştır. Deneyler, CNC dik işleme merkezine bağlanan dinamometre ve bu dinamometrenin üzerine bağlanan deney parçalarının işlenmesi ile gerçekleştirilmiştir. Deneylerde farklı uç geometrilerine sahip üç farklı ( SPMT 1204 AEN; SPMW 1204 AEN-A57; SPMT 120408-D51 ) kesici takım kullanılmıştır. Kesme derinliği 0,5 mm ve 1 mm olarak seçilmiş, ilerleme miktarı 0,1; 0,15 ve 0,2 mm/diş olarak belirlenmiştir. Kesici takımlar ile belirtilen kesme şartlarında, beş farklı kesme hızında (120; 140;200; 240; 280 m/dak) frezeleme işlemi yapılmıştır. Her uç geometrisi için ayrı ayrı işlenen parçalarda kesici uç yarıçapı ve uç geometrisinin yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Deney sonuçları grafiklere dönüştürülerek değerlendirilmiştir. Kesme kuvvetleri açısından incelendiğinde, genel olarak sadece “pahlı” olan kesici uç en iyi sonuçları vermiştir. “Pahlı ve radyuslu” olan kesicide en yüksek kesme kuvvetleri ortaya çıkmıştır. Deney sonuçları yüzey pürüzlülüğü yönünden değerlendirildiğinde sadece “pahlı” kesicinin en iyi pürüzlülük değerlerini verdiği görülmüştür. En kötü yüzey pürüzlülüğü değeri ise “pahlı ve radyuslu” olan kesici uç ile işlemlerde elde edilmiştir. Kullanılan kesici uçlardan sadece “radyuslu” olanın hemen hemen

**tüm kesme şartlarında, oluşan kesme kuvvetleri ve çıkardığı yüzey pürüzlülüğü yönünden diğer kesicilerin ara değerlerini ortaya çıkardığı belirlenmiştir.**

**Bilim Kodu : 708.3.028**  
**Anahtar Kelimeler : Kesici takım geometrisi, takım uç yarıçapı, yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvvetleri**  
**Sayfa Adedi : 82**  
**Tez Yöneticisi : Doç. Dr. İhsan KORKUT**

**AN INVESTIGATION INTO THE EFFECTS OF TOOL NOSE RADIUS AND  
CUTTING EDGE GEOMETRY ON SURFACE ROUGHNESS AND  
CUTTING FORCES IN MILLING OPERATION**

**(M.Sc. Thesis)**

**Hakan DOMAÇ**

**GAZİ UNIVERSITY  
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

**June 2011**

**ABSTRACT**

**In this study, machining tests was carried out on AISI 1040 carbon steel work pieces. The machining tests were performed on a CNC vertical machining center equipped with a dynamometer. Test specimens were prepared on universal milling machine according to the dimensions 70 X 50 X 15 mm. Cutting tools with three different edge geometries (SPMT 1204 AEN; SPMW 1204 AENA-57; SPMT 120408-D51) has been used in experiments. The first one has been only chamfered with 1,4 mm, the second insert was chamfered 1,4 mm and have a radius of 0,5 mm, the third one was only have a radius of 0,8 mm. Milling tests have been carried out at 0,5 mm and 1 mm depth of cuts. The feed rates are 0,1; 0,15; 0,2 mm/tooth and cutting speeds are 120; 140; 200; 240 and 280 m/min. The influences of cutting tool nose radius and cutting edge geometry on cutting forces and surface roughness have been examined by carrying out individual tests for each cutting condition. According to the cutting forces versus cutting speed graphics, only “chamfered” inserts have given the best results. The inserts with “chamfer and radius” together have been created the highest cutting forces. After the surface roughness results were appraised, it has been seen that only “chamfered” cutting edges have best roughness values. The worst surface roughness has been performed by using of the insert beveled with radius. The insert which has only a “radius” with 0,8 mm generally has**

performed average values of cutting forces and surface roughness at all conditions. Increasing cutting velocity has caused a little increase on cutting forces but it has decreased the surface roughness much more. Consequently, it has been seen that cutting force and surface roughness are proportionally affected by the changes of feed rate.

**Science Code :708.3.028**

**Key Words :Tool cutting geometry, tool nose radius, surface roughness, cutting forces**

**Page Number :82**

**Adviser :Assoc. Prof. Dr. İhsan KORKUT**

## TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren danıőmanım Doç. Dr. İhsan KORKUT' a yine kıymetli tecrübelerinden faydalandığım hocam Yrd. Doç.Dr. Yakup TURGUT' a, ayrıca laboratuarda bana yardımcı olan çalışma arkadaşlarım Gültekin UZUN, Fatih MEYDANERİ' ye ve manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan aileme teşekkür ederim.

Ayrıca bu çalıőmayı, 07/2010-46 No'lu proje ile destekleyen Gazi Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi Başkanlığı'na teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xiii
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvii
1. GİRİŞ .....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI .....	3
3. TALAŞLI İMALAT VE İŞLENEBİLİRLİK .....	19
3.1. Talaşlı İmalat İşlemi .....	19
3.2. İşlenebilirlik .....	20
3.3. Frezeleme .....	21
3.3.1. Freze kesici takımları .....	24
3.3.2. Frezelemede takım geometrisi .....	26
3.3.3. Kesici Ucu Tipi ve geometrisi.....	28
3.3.4. Frezelemede kesme hızı ve ilerleme .....	30
3.4. Yüzey Pürüzlülüğü.....	33
3.4.1. Yüzey yapısının özellikleri.....	34
3.4.2. Yüzey pürüzlülüğünün önemli olduğu durumlar .....	35
3.4.3. Yüzey pürüzlülüğüne etki eden faktörler.....	35

**Sayfa**

3.4.4. Yüzey pürüzlülüğünü ölçen cihazlar ve teknikleri.....	35
3.5. Frezeleme İşleminde Oluşan Kuvvetler .....	36
4. MATERYAL VE METOD .....	40
4.1. Deney Numuneleri .....	40
4.2. Takım Tezgâhı .....	41
4.3. Kesici Takımlar .....	41
4.4. Kuvvet Ölçüm Sistemi .....	42
4.5. Yüzey Pürüzlülük Ölçüm cihazı.....	43
4.6. Deney Değişkenleri .....	43
5. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA .....	45
5.1. Kesme Kuvvetlerinin Değerlendirilmesi.....	49
5.2. Yüzey Pürüzlülüğünün Değerlendirilmesi .....	62
6. SONUÇ VE ÖNERİLER .....	74
KAYNAKLAR .....	76
ÖZGEÇMİŞ .....	82

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

<b>Çizelge</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 4.1. AISI 1040 çelik malzemesinin mekanik özellikleri.....	40
Çizelge 4.2. AISI 1040 çelik malzemenin kimyasal bileşimi .....	40
Çizelge 4.3. Kullanılan CNC dik işleme merkezinin özellikleri .....	41
Çizelge 4.4. Kesici Takımların Boyutları .....	41
Çizelge 4.5. Deneyleerde kullanılan cihaz/donanım ve özellikleri .....	43
Çizelge 4.6. Yüzey pürüzlülük cihazının özellikleri.....	43
Çizelge 4.7. Deney değişkenleri .....	44
Çizelge 5.1. SPMT 1204 AEN kesicisine ait deney veri tablosu.....	46
Çizelge 5.2. SPMW 1204 AEN-A57 kesicisine ait deney veri tablosu .....	47
Çizelge 5.3. SPMT 120408 D51 kesicisine ait deney veri tablosu .....	48
Çizelge 5.4. SPMT 1204 AEN kesicisinin, $a_p=0,5$ mm kesme derinliğinde, ilerlemeye ve kesme hızına bağlı olarak kesme kuvvetleri tablosu .....	49
Çizelge 5.5. SPMW 1204 AEN-A57 kesicisinin $a_p=0,5$ mm kesme derinliğinde, ilerlemeye ve kesme hızına bağlı olarak kesme kuvvetleri tablosu .....	50
Çizelge 5.6. SPMT 120408-D51 kesicisinin $a_p=0,5$ mm kesme derinliğinde, ilerlemeye ve kesme hızına bağlı olarak kesme kuvvetleri tablosu .....	51
Çizelge 5.7. SPMT 1204 AEN kesicisinin $a_p=1$ mm kesme derinliğinde, ilerlemeye ve kesme hızına bağlı olarak kesme kuvvetleri tablosu .....	52
Çizelge 5.8. SPMW 1204 AEN-A57 kesicisinin $a_p=1$ mm kesme derinliğinde, ilerlemeye ve kesme hızına bağlı olarak kesme kuvvetleri tablosu .....	53
Çizelge 5.9. SPMT 120408-D51 kesicisinin $a_p=1$ mm kesme derinliğinde, ilerlemeye ve kesme hızına bağlı olarak kesme kuvvetleri tablosu .....	54
Çizelge 5.10. Kesicilerin $a_p=0,5$ mm kesme derinliği ve $f=0,1$ mm/diş ilerlemede, kesme hızına bağlı olarak kesme kuvvetleri tablosu.....	56

<b>Çizelge</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 5.11. Kesicilerin $a_p=0,5$ mm kesme derinliği ve $f=0,15$ mm/diş ilerlemede, kesme hızına bağlı olarak kesme kuvvetleri tablosu.....	57
Çizelge 5.12. Kesicilerin $a_p=0,5$ mm kesme derinliği ve $f=0,2$ mm/diş ilerlemede, kesme hızına bağlı olarak kesme kuvvetleri tablosu.....	58
Çizelge 5.13. Kesicilerin $a_p=1$ mm kesme derinliği ve $f=0,1$ mm/diş ilerlemede, kesme hızına bağlı olarak kesme kuvvetleri tablosu.....	59
Çizelge 5.14. Kesicilerin $a_p=1$ mm kesme derinliği ve $f=0,15$ mm/diş ilerlemede, kesme hızına bağlı olarak kesme kuvvetleri tablosu.....	60
Çizelge 5.15. Kesicilerin $a_p=1$ mm kesme derinliği ve $f=0,2$ mm/diş ilerlemede, kesme hızına bağlı olarak kesme kuvvetleri tablosu.....	61

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 3.1. Frezelemede ardışık iki diş tarafından çizilen sikloit eğrisi.....	22
Şekil 3.2. Zıt yönlü ve aynı yönlü kesme.....	24
Şekil 3.3. Karbür alın freze takım ucu geometrisi .....	26
Şekil 3.4. Pozitif ve negatif talaş açılı bir takım geometrisi .....	27
Şekil 3.5. Köşe kavisli ve düzlem yüzey yapılı bir takım ucu .....	27
Şekil 3.6. SPMT 1204 AEN kesici ucuna ait geometri .....	29
Şekil 3.7. SPMW 1204 AEN-A 57 kesici ucuna ait geometri .....	29
Şekil 3.8. SPMT 120408-D 51 kesici ucuna ait geometri.....	30
Şekil 3.9. İşlenmiş bir yüzeyin yüzey karakteri .....	34
Şekil 3.10. Alın frezelemede oluşan kuvvetler .....	38
Şekil 4.1. Deney numunesi boyutları .....	40
Şekil 4.2. Deney düzeneği şematik gösterimi .....	42
Şekil 5.1. SPMT 1204 AEN kesicisinin, $a_p=0,5$ mm, Fc-Vc grafiği .....	50
Şekil 5.2. SPMW 1204 AEN-A57 kesicisinin, $a_p=0,5$ mm, Fc-Vc grafiği.....	51
Şekil 5.3. SPMT 120408-D51 kesicisinin, $a_p=0,5$ mm, Fc-Vc grafiği .....	52
Şekil 5.4. SPMT 1204 AEN kesicisinin, $a_p=1$ mm, Fc-Vc grafiği .....	53
Şekil 5.5. SPMW 1204 AEN-A57 kesicisinin, $a_p=1$ mm, Fc-Vc grafiği.....	54
Şekil 5.6. SPMT 120408-D51 kesicisinin, $a_p=1$ mm, Fc-Vc grafiği .....	55
Şekil 5.7. Kesicilerin $a_p=0,5$ mm, $f=0,1$ mm/diş ilerlemede Fc-Vc grafiği .....	56
Şekil 5.8. Kesicilerin $a_p=0,5$ mm, $f=0,15$ mm/diş ilerlemede Fc-Vc grafiği .....	57

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 5.9. Kesicilerin $a_p=0,5$ mm, $f=0,2$ mm/diş ilerlemede Fc-Vc grafiği .....	58
Şekil 5.10. Kesicilerin $a_p=1$ mm, $f=0,1$ mm/diş ilerlemede Fc-Vc grafiği .....	59
Şekil 5.11. Kesicilerin $a_p=1$ mm, $f=0,15$ mm/diş ilerlemede Fc-Vc grafiği .....	60
Şekil 5.12. Kesicilerin $a_p=1$ mm, $f=0,2$ mm/diş ilerlemede Fc-Vc grafiği .....	61
Şekil 5.13. SPMT 1204 AEN kesicisinin $a_p=0,5$ mm'de, kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak (Ra) değişim grafiği .....	63
Şekil 5.14. SPMT 1204 AEN kesicisinin $a_p=1$ mm'de, kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak (Ra) değişim grafiği .....	63
Şekil 5.15. SPMW 1204 AEN-A57 kesicisinin $a_p=0,5$ mm'de, kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak (Ra) değişim grafiği .....	64
Şekil 5.16. SPMW 1204 AEN-A57 kesicisinin $a_p=1$ mm'de, kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak (Ra) değişim grafiği .....	65
Şekil 5.17. SPMT 120408-D51 kesicisinin $a_p=0,5$ mm'de, kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak (Ra) değişim grafiği .....	66
Şekil 5.18. SPMT 120408-D51 kesicisinin $a_p=1$ mm'de, kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) .....	66
Şekil 5.19. $a_p=0,5$ mm ve $V_c=120$ m/dak kesme hızında, ilerleme ve kesici takıma bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğü .....	68
Şekil 5.20. $a_p=0,5$ mm ve $V_c=160$ m/dak kesme hızında, ilerleme ve kesici takıma bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğü .....	68
Şekil 5.21. $a_p=0,5$ mm ve $V_c=200$ m/dak kesme hızında, ilerleme ve kesici takıma bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğü .....	69
Şekil 5.22. $a_p=0,5$ mm ve $V_c=240$ m/dak kesme hızında, ilerleme ve kesici takıma bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğü .....	69
Şekil 5.23. $a_p=0,5$ mm ve $V_c=280$ m/dak kesme hızında, ilerleme ve kesici takıma bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğü .....	70
Şekil 5.24. $a_p=1$ mm ve $V_c=120$ m/dak kesme hızında, ilerleme ve kesici takıma bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğü .....	70

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 5.25. $a_p=1$ mm ve $V_c= 160$ m/dak kesme hızında, ilerleme ve kesici takıma bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğü .....	71
Şekil 5.26. $a_p=1$ mm ve $V_c= 200$ m/dak kesme hızında, ilerleme ve kesici takıma bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğü .....	71
Şekil 5.27. $a_p=1$ mm ve $V_c= 240$ m/dak kesme hızında, ilerleme ve kesici takıma bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğü .....	72
Şekil 5.28. $a_p=1$ mm ve $V_c= 280$ m/dak kesme hızında, ilerleme ve kesici takıma bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğü .....	72

**RESİMLERİN LİSTESİ**

<b>Resim</b>	<b>Sayfa</b>
Resim 3.1. Frezeleme metotları ve freze çakıları.....	21
Resim 3.2. İşleme tipine göre bazı freze çakıları.....	25
Resim 4.1. Deneyleerde kullanılan kesici uçlar.....	42

## SİMGELER VE KISALTMALAR

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

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
$P_c$	Kesme gücü (Kw)
$P$	Tezgâh için gerekli güç (Kw)
$P_m$	Tezgâh gücü (Kw)
$a_p$	Kesme derinliği (mm)
$\alpha$	Boşluk açısı ( $^{\circ}$ )
$\psi$	Uç açısı ( $^{\circ}$ )
$\mu m$	Mikrometre
$\omega$	Açısal hız (mm/dev)
$V$	Kesme hızı (m/dak)
$V_b$	Serbest Yüzey Aşınması
$f_z$	İlerleme (mm/diş)
$F_{pi}$	Eksenel kuvvet (N)
$F_{rz}$	Radyal kuvvet (N)
$F_{sz}$	Asıl kesme kuvveti (N)
$F_s$	Kesme kuvveti (N)
$F_z$	İlerleme kuvveti (N)
$F_s$	Kayma düzlemine paralel kuvvet (N)
$F_n$	$F_s$ 'ye dik kuvvet (N)
$F_f$	Dik kuvvet (N)
$F_r$	Dik kuvvet (N)
$F_y$	Normal statik kuvvet (N)
$N$	Devir sayısı (mm/dev)
$R_a$	Ortalama yüzey pürüzlülüğü ( $\mu m$ )
$R_t$	Maxsimum yüzey pürüzlülüğü değeri ( $\mu m$ )

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
<b>BUE</b>	Build Up Edge ( Talaş sıvanması)
<b>Co</b>	Kobalt
<b>DIN</b>	Deutsche Industrie Norm (Alman Standartları)
<b>DLC</b>	Diamond Like Carbon (Karbon Benzeri Elmas )
<b>HRc</b>	Hardness Rockwell C (Rockwell Sertlik Değeri)
<b>HSS</b>	High Speed Steel (Yüksek Hız Çeliği)
<b>NC</b>	Numerical Control (Sayısal denetim)
<b>SEM</b>	Scanning Electron Microscope (Tarama Elektron Mikroskobu)
<b>TiAlN</b>	Titanyum Alüminyum Nitrit
<b>TiN</b>	Titanyum Nitrit
<b>TiCN</b>	Titanyum Karbon Nitrit

## 1.GİRİŞ

Frezeleme, birçok uygulamalar için yaygın olarak kullanılan önemli bir talaş kaldırma işlemidir. Talaş kaldırmada asıl amaç; en düşük maliyetle en yüksek üretim miktarını, maksimum takım ömrü ile elde etmektir. Bunu yaparken yüzey kalitesini muhafaza etmek için talaş kaldırmaya etki eden kesme şartlarının, takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini analiz etmek gerekir. Kesme kuvvetleri, işleme esnasında oluşan herhangi bir değişken tarafından, doğrudan etkilenen en önemli çıkış değişkenlerinden biridir. Kesme kuvvetleri üzerinde etkili olan bu değişkenler; ilerleme hızı, kesme derinliği, kesme hızı, takım geometrisi, iş parçası malzemesi, takım-tezgâh çiftinin dinamik karakteristikleri, bağlama sistemi, takım kesme yüzeylerindeki aşınmanın gelişimi, sıcaklık ve titreşim gibi faktörlerdir. Takıma etki eden kesme kuvvetleri takım durumu hakkında önemli bilgi kaynağıdır. Bu bilgi, işlenebilirliği, takım kırılmasını, takım aşınmasını, tırlamayı ve yüzey tamlığını anlamada kullanılabilir [1].

Yüzey pürüzlülüğü, üretilen parçaların yüzey kalitelerinin geliştirilmesi ve belirlenmesinde, önemli bir rol oynar. Ayrıca yüzey pürüzlülüğü, yorulma direnci, aşınma, ısı iletimi, sürtünme ve yağlama gibi ürünün kalitesinin artırılması için gerekli olan fonksiyonel karakteristik özellikleri de etkilemektedir. Yüzey pürüzlülüğünün azalması yüzey kalitesinin artmasını sağlamaktadır. İşlenmiş parça yüzeylerinin tribolojik özellikleri, yüzey pürüzlülüğünden birinci derecede etkilenmektedir. Yüzey pürüzlülüğü sadece aşınma, sürtünme ve yağlama gibi tribolojinin geleneksel konularında değil aynı zamanda sızdırmazlık, hidrodinamik, elektrik, ısı iletimi vb. farklı alanlarda da dikkate alınması gereken önemli bir faktördür [1].

Bu çalışmada, AISI 1040 imalat çeliğinden hazırlanmış numuneler üzerinde frezeleme yöntemi ile işleme deneyleri yapılmıştır. Deneyler, CNC dik işleme merkezine bağlanan dinamometre ve bu dinamometrenin üzerine bağlanan deney parçalarının işlenmesi ile gerçekleştirilmiştir. Deneylerde farklı uç geometrisine

sahip kesiciler kullanılmıştır. Walter kesici takım firması tarafından üretilmiş kaplamalı karbür kesici uçlar,

- 1- SPMT 1204 AEN kodlu sadece pahlı ( $b = 1,4$  mm)
- 2- SPMW 1204 AEN-A57 kodlu pahlı ve radyuslu ( $b = 1,4$  mm-  $r = 0,4$  mm)
- 3- SPMT 120408-D51 kodlu sadece radyuslu ( $r = 0,8$  mm)

olarak seçilmiştir. Bu uçlar kullanılarak 0,5 mm ve 1 mm kesme derinliklerinde, 0,1; 0,15; 0,2 mm/diş ilerleme miktarları ve beş farklı kesme hızlarında (120; 160; 200; 240; 280 m/dak) 90 adet farklı kesme şartlarında deneyler yapılmıştır. Her uç geometrisi için ayrı ayrı işlenen parçalarda kesici uç yarıçapının ve uç geometrisinin yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Deney sonuçları grafiklere dönüştürülerek değerlendirilmiştir.

## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Frezeleme işlemlerinde işlenmiş parçaların yüzey pürüzlülüğü, yüzey kalitesinin en önemli kriteridir. Yüzey pürüzlülüğü değeri genelde takım geometrisi ve kesme şartları gibi işleme şartları sonucuna bağlıdır. Frezelemede uygun kesme parametrelerinin seçilmesi ile istenilen yüzey kalitesinin sağlanması mümkündür. Talaş kaldırma sırasında kesme kuvvetleri gerek takım, gerekse parça üzerinde bir takım şekil değiştirmelere neden olarak takım-parça konumunu değiştirirler ve işleme kalitesini etkilerler. Literatürde yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleriyle ilgili çeşitli çalışmalar yapılmıştır.

Korkut ve Dönertaş yaptıkları çalışmada, yüzey frezeleme işleminde kesme hızı ve ilerleme miktarının kesme kuvvetleri ve talaş sıvanmasına (BUE) etkisini araştırmışlardır. AISI 1020 ve AISI 1040 çeliklerinden hazırlanan parçalar üzerinde CNC dik işleme merkezinde yüzey frezeleme ile kesme kuvvetlerinin üç bileşeni ölçülmüştür. Kuvvet verileri gerilimölçer esaslı dinamometre ile gerçekleştirilmiştir. Kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülükleri, talaş kesitine ve kesme hızına bağlı olarak her iki çelik için de değerlendirilmiştir. Artan kesme hızlarında kesme kuvvetleri artarken düşük ve orta kesme hızı değerlerinde BUE eğiliminin arttığı tespit edilmiştir [2].

Sağlam, “Frezelemede kesme parametreleri ile kesme kuvvetlerinin değişimi ve bunların takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerinin deneysel incelenmesi” isimli çalışmasında frezelemede kesme kuvvetleri ile kesme kuvvetlerinin çıktı değerleri olan serbest yüzey aşınması ( $V_b$ ) ve yüzey pürüzlülüğü ( $R_a$ ) arasındaki korelasyonu analiz etmiştir. Frezeleme deneyleri dikey milli, universal bir freze tezgâhında yapılmıştır. Kesici takım olarak karbür uçlar (SPMW 12 04 08 SBF (HW) P15-P30, kaplamasız, Mitsubishi), beş kesici uçlu bir takım tutucu (A2 45 89 R05-12 Takımsaş), malzeme olarak 40 HRc’de setleştirilmiş ve gerilim giderme işlemi uygulanmış Ç1040 çeliği kullanmış, soğutma sıvısı kullanmamıştır. Kullanılan kesme parametrelerini, kesme hızı (V): 113; 140; 178; 226 m/dak, ilerleme (f): 0,176; 0,140; 0,112; 0,088 mm/diş, talaş derinliği ( $a_p$ ): 1;

1,5; 2,5; 3,5 mm olarak belirlemiştir. Kuvvet bileşenlerini, PC uyumlu bir veri toplama kartı (PCL-818H) ile arayüz edilen üç-elemanlı, uzama ölçer esaslı bir dinamometre kullanılarak ölçmüş ve ortalama değerleri bilgisayara kaydetmiştir. İşlem süresince periyodik olarak Ra ve Rt değerlerini bir yüzey pürüzlülük cihazı ile, Vb değerlerini de takımcı mikroskobu ile ölçmüştür. Vb değerleri her uçta eşit olmadığından, ortalama değerleri almıştır. Kesme parametreleri kombinasyonları için ortogonal dizi kullanılarak 16 deney yapmıştır. Deneysel çalışmada belirlenen kesme parametreleri ile yapılan frezeleme işlemleri sonucu kaydedilen kuvvet ve ölçülen Ra - Vb değerlerinin grafiklerini çizerek aralarındaki ilişkileri ortaya koymuştur. Buna göre Vb ile kesme kuvvetlerinin yaklaşık lineer olarak değiştiğini bulmuştur. Vb'ye bağlı olarak Ra'nın belli bir minimuma kadar azalma gösterdiği ve takımdaki tahribata bağlı olarak sonra artış gösterdiğini görmüştür. Kesme kuvvetleri üzerinde talaş derinliği ve ilerlemenin daha etkili olduğunu, kesme kuvvetlerine bir alternatif olarak Ra ve Vb'nin  $F_f/F_n$  ve  $F_n/F_r$  kuvvet oranlarına daha duyarlı olduğunu görmüştür. Böylece bu kuvvet oranlarının takım aşınmasını ve dolayısıyla takım ömrünü ve belirlenen yüzey kalitesini tayin etmede bir gösterge olarak kullanılabileceği rapor etmiştir [3].

Özçatalbaş ve Aydın AA2014 alaşımının farklı sertlik ve çekme dayanımındaki numunelerini, değişik geometriye sahip iki ayrı kesici uçla işleyerek talaş kökü morfolojisi, yüzey pürüzlülüğü ve talaş kaldırma kuvvetlerini incelemişlerdir. Bunun için farklı ısıl işlem şartlarında, ikişer adet numune hazırlamışlar, bu numunelerden birisini mekanik özelliklerin belirlenmesinde, diğerini ise talaş kökü morfolojisi, yüzey pürüzlülüğü ve talaş kaldırma kuvvetleri deneylerinde kullanmışlardır. İşlenebilirlik deneylerinde K10 kalitesinde iki farklı geometriye sahip mekanik sıkmalı tip sert metal kesici uç kullanmışlardır. Kullanılan kesici uç geometrilerinin her ikisi içinde yanaşma açıları ( $75^\circ$ ), uç yarıçapları (0,8 mm) ve kesici uç malzemeleri aynı olmakla birlikte yan boşluk açısı, uç açısı ve esas olarak talaş açılarında belirgin bir farklılık mevcuttur. Bu sebeple, deney sonuçlarının değerlendirilmesinde kesici uçların talaş açılarındaki farklılık göz önüne alınmıştır. İki farklı geometrideki kesici uçla işlenen yüzeylerin pürüzlülüğünü, yüzey profilometresi ile ilerleme yönünde ölçmüşlerdir. Minimum yüzey pürüzlülüğü, 12

saat yaşlandırma ısıl işlemleri uygulanmış numunenin büyük talaş açılı kesici uçla işlenmesi sırasında oluşmuştur. Büyük talaş açısının, numunelerin yüzey pürüzlülüğü üzerinde mekanik özelliklerden daha etkili olduğunu görmüşlerdir. Nihai kesme hızlarında, genellikle en yüksek sertlik ve çekme mukavemetindeki numunede minimum tornalama kuvvetleri elde edilirken, düşük sertlik ve aşırı sünekliğe sahip malzemede en yüksek talaş kaldırma kuvvetleri meydana gelmiştir [4].

Gökkaya ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada, kaplamasız sementit karbür kesici takım, işleme parametresi olarak üç farklı kesme hızı ve beş farklı ilerleme kullanarak, AISI 1030 çeliğinden talaş kaldırılmışlar ve kaplamasız sementit karbür kesici takım ile işleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisini araştırmışlardır. Yığıntı talaş, yanak ve çentik aşınmalarının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla, kesme işlemi sonrası yığıntı talaş, yanak ve çentik aşınmaları optik mikroskopla ile incelemişlerdir. Kesme hızlarına göre ortalama yüzey pürüzlülüğü değerine bakıldığında en az ortalama yüzey pürüzlülüğü 100 m/dak kesme hızında yapılan talaş kaldırmada görülmüş ve artan kesme hızıyla ortalama yüzey pürüzlülüğünün arttığı belirlenmiştir. İşleme parametresi olarak kullanılan değerler arasında kesme hızındaki artışa bağlı olarak, yüzey pürüzlülük değerlerinde artış görülmüştür. Bu durum; kaplamasız kesici takımların, yüksek kesme hızlarında kullanılmasında kesme bölgesinde yüksek sürtünme katsayısına bağlı olarak oluşan yüksek sıcaklıkların, kesici takım üzerinde oluşturduğu yan kenar ve çentik aşınmalarına bağlanmıştır. Yüksek ilerleme değerinde (0,45 mm/dev) elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğünde (7,603  $\mu\text{m}$ ), ilerlemenin % 80 civarında düşürülmesi ile (0,25 mm/dev) % 215 iyileşme (2,416  $\mu\text{m}$ ) gözlenmiştir. İlerleme değeri ile yüzey pürüzlülüğü arasında artan bir ilişki vardır. İlerleme değerindeki artışa bağlı olarak, yüzey pürüzlülüğündeki artış, beklenen bir özellik olup yüzey pürüzlülüğünü iyileştirmek için ilerleme değerinin azaltılması gerekmektedir. Bu durum, kaplamasız sementit karbür kesici takımların yüksek kesme hızlarında kullanılması durumunda, kullanım sürelerinin azalacağını göstermektedir. Elde ettikleri sonuçlar;

- İlerleme hızı ile ortalama yüzey pürüzlülüğü arasında artan bir ilişki vardır.
- İlerleme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülüğü de artmıştır.

- İlerleme hızının % 80 artmasıyla ortalama yüzey pürüzlülüğü % 215 artmıştır.
- Kesme hızı ile ortalama yüzey pürüzlülüğü arasında artan bir ilişki vardır. Kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülüğü de artmıştır.
- Kesme hızının % 200 artmasıyla ortalama yüzey pürüzlülüğü % 13 artmıştır.
- Kesme hızındaki farklılıklara göre en iyi yüzey pürüzlülüğü 100 m/dak kesme hızında elde edilmiştir. Bunu sırasıyla 200 m/dak kesme hızı ve 300 m/dak kesme hızı takip etmiştir.
- Kesici takım üzerinde yığıntı talaş, yanak aşınması ve çentik oluşumu yüzey pürüzlülüğünü olumsuz yönde etkilemektedir. Şeklinde özetlenebilir [5].

Demir ve arkadaşları, Cr alaşımlı paslanmaz takım çeliği olan Stavax ESR üzerinde tornalama metoduyla işlenebilirlik deneyleri yapmışlardır. Tornalama metoduyla işleme deneyleri farklı kesme hızı ve ilerleme hızı değerlerinde oluşan yüzey pürüzlülük değerlerinin araştırılması için yapılmıştır. Bu amaçla kesme hızları 160, 200, 240, 280, 320 ve 360 m/dak değerlerinde, ilerleme hızları da 0,05; 0,10; 0,15 ve 0,20 mm/dev değerlerinde eşit aralıklı olarak seçilmiştir. İşleme parametreleri eşit aralıklı seçilerek, parametreler ile deney sonuçları arasındaki değişimin daha açık izlenebilmesi ve değerlendirilmesi sağlanmıştır. Yapılan deneylerde kesme derinliği "1 mm" alınmış ve soğutma sıvısı kullanılmamıştır. Yüzey pürüzlülük değerleri, her bir iş parçası ve her bir kesme hızı için yapılan üç ölçümün ortalaması olarak alınmıştır. Yüzey pürüzlülük değerlerinin kesme hızından ve ilerleme miktarından önemli derecede etkilendiği görülmüştür.

- En düşük yüzey pürüzlülük değerleri 0,05 mm/dev – 0,10 mm/dev ilerleme miktarında ve 240 m/dak-280 m/dak kesme hızlarında yapılan deneylerde olduğu görülmüştür.
- 160 m/dak kesme hızında, yüzey pürüzlülük değeri ilerleme miktarı ile doğru orantılı olarak artmıştır.
- İlerleme miktarı 0,20 mm/dev olan deneylerde, kesme hızı 240 m/dak ve 280 m/dak olan deneyler hariç, diğer kesme hızlarında yapılan deneylerde çok kaba bir yüzey oluşmuştur.

- AISI 420 ESR çeliğinin işlenmesinde, 240 m/dak ile 280 m/dak arasında kesme hızı ve 0,1 mm/dev ilerleme miktarı önerilmektedir.
- Kesme hızının artmasıyla kesme kuvvetleri önemli miktarda azalmıştır. En düşük kesme kuvveti (348 N) 320 m/dak kesme hızında oluşmuştur [6].

Boy ve arkadaşları, çalışmalarında Vanadis 10 çeliğinden hazırlanmış numuneler üzerinde işlenebilirlik deneyleri yapılmışlardır. Deneyler sekiz farklı kesme hızı (75; 100; 125; 150; 200; 250; 300 ve 350 m/dak), beş farklı ilerleme hızı (0,04; 0,06; 0,08; 0,10 ve 0,12 mm/dev) ve sabit bir kesme derinliğinde (1 mm) yapılmıştır. Deneyler tornalama yöntemiyle CVD ile kaplanmış, yuvarlatılmış ve wiper (silici) uç geometrisinde iki tip sementit karbür kesici takım kullanılarak yapılmıştır. Yapılan deneylerde yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüş ve işleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu çalışma sonucunda VANADIS 10 malzemesinin farklı takım geometrisi ve kesme şartları ile yapılan deneylerinde yüzey pürüzlülük değerleri elde edilmiş ve bu kapsamda elde edilen verilerin ortak değerlendirilmesi neticesinde aşağıda ifade edilen sonuçlar çıkartılmıştır.

- Kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülük değerinin azaldığı fakat yüksek kesme hızlarında ise yüzey pürüzlülüğünün arttığı görülmüştür. Bunun sebebinin takım aşınmasına bağlı olduğu görülmüştür.
- Yapılan bu çalışmada, kesme hızı, ilerleme ve uç yarıçapının yüzey pürüzlülüğünü etkileyen başlıca faktörler olduğu görülmüştür.
- İlerleme miktarının artması ile yüzey pürüzlülük değerinde bir kötüleşme beklenirken, 0,08 ve 0,10 mm/dev ilerleme miktarlarında yüzey pürüzlülüğünde bir iyileşme görülmüştür. Bu iyileşmenin muhtemel sebebinin, ilerlemenin artması ile BUE oluşumunda bir azalma olduğu düşünülmektedir.
- Normal uç ile wiper uç karşılaştırıldığında, wiper uç ile 125 m/dak, 0,06 mm/dev'de %36, 250 m/dak, 0,08 mm/dev'de %78 oranında yüzey pürüzlülük değerlerinde bir azalma görülmüştür. En düşük yüzey pürüzlülük değerleri 125 m/dak kesme hızında 0,10 mm/dev ilerleme miktarında wiper uçla elde edilirken, 250 m/dak ve 0,10 mm/dev ilerleme miktarında normal uç ile elde edilmiştir [7].

Zeyveli ve Demir yaptıkları çalışmada, kalıpcılıkta çok kullanılan, ısı kararlılığı ve tokluğu yüksek AISI H13 sıcak iş takım çeliğinin işlenmesinde, kesme hızı ve ilerleme hızının yüzey pürüzlülüğüne etkisi deneysel olarak araştırmışlardır. Altı farklı kesme hızı (70; 100; 130; 160; 190 ve 220 m/dak.) ile üç farklı ilerleme hızı değerinde (0,05; 0,1; 0,15 mm/dev) ve sabit bir kesme derinliğinde (1 mm) deneyler yapılmıştır. Deneyler tornalama yöntemiyle çok katlı kaplanmış sementit karbür kesici takımlar kullanılarak soğutma sıvısı kullanılmadan yapılmıştır. Elde edilen sonuçlardan; ilerleme hızının artması ile yüzey pürüzlülüğünün arttığı görülmüştür. 0,10 mm/dev ve 0,15 mm/dev ilerleme miktarlarında elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinin; 0,05 mm/dev ilerleme hızında elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinden sırasıyla %34 ve %68 daha fazla olduğu görülmüştür. Yapılan deneylerde elde edilen talaş tipleri ile yüzey pürüzlülük değerleri arasında yakın bir ilişkinin olduğu görülmüştür. En düşük yüzey pürüzlülüğü değerleri, 0,05 mm/dev ilerleme miktarında yapılan deneylerde elde edilmiştir. İlerleme miktarı 0,05 mm/dev olan deneylerde elde edilen yüzey pürüzlülük değerine göre; ilerleme miktarı 0,10 mm/dev olan deneylerde yaklaşık %34, ilerleme miktarı 0,15 mm/dev olan deneylerde yaklaşık %68 oranlarında yüzey pürüzlülük değerlerinin arttığı görülmüştür. Yapılan deneylerde elde edilen talaş tipleri ile yüzey pürüzlülük değerleri arasında yakın bir ilişkinin olduğu görülmüştür. İlerleme miktarı yüksek olan deneylerde genellikle kırık yay tipi talaşlar oluşmuştur. Bazı kesme hızlarında, işleme esnasında çıkan talaşların sürekli talaş olması ve kırılmaması, yüzey pürüzlülüğü değerlerinde ani artışlara sebep olmuştur [8].

Özel ve arkadaşları, sertleştirilmiş AISI H13 çeliğinin işlenmesinde; kesme kenarı geometrisi, malzeme sertliği, ilerleme ve kesme hızının, yüzey pürüzlülüğü ve kuvvetler üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Bu araştırmada; yuvarlatılmış kesici takım uç geometrisinin ve düşük malzeme sertliğinin, sertleştirilmiş AISI H13 çeliğinin işlenebilirliğinde daha iyi yüzey pürüzlülüğü sonuçları verdiğini belirtmişlerdir. Yaptıkları deneylerde değişken faktörlerin; uç geometrisi ve iş parçası sertliği, uç geometrisi ve ilerleme hızı, kesme hızı ve ilerleme hızı olarak ikişerli etkileşimlerinin istatistiksel olarak önemli etkileri olduğunu bulmuşlardır. Özellikle yuvarlatılmış uç geometrisi ile düşük sertlikteki malzeme yüzeyinin

işlenmesinde daha iyi yüzey pürüzlülüğü elde edilmiştir. Kesme kenarı geometrisi, malzeme sertliği ve kesme hızı etkileyici kuvvet bileşenleri olarak bulunmuştur. Düşük malzeme sertliği ve takımındaki küçük köşe yarıçapı ile yapılan deneylerde düşük yüzeysel ve eksenel kuvvetler gözlenmiştir [9].

Güllü ve Özdemir prizmatik parçaları frezeleyerek yaptıkları çalışmalarda, bitmiş yüzey pürüzlülüğünü doğrudan etkileyen kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği parametrelerini, deneysel olarak araştırılmışlardır. Beş farklı kesme hızı, dört farklı ilerleme ve üç farklı kesme derinliği kullanılarak elde edilen yüzeylerin pürüzlülüğü ( $R_a$ ) ölçülmüştür. Ölçülen yüzey pürüzlülüğü değerlerinin parametreler arası ilişkileri, AXUM istatistik programında ayrı ayrı regresyona tabi tutulmuş ve en kuvvetli ilişki katsayıları ( $R$ ) ve ara değerlerin hesabında kullanılmak üzere matematiksel modelleri hazırlanmıştır. Deneysel çalışmalarda  $\text{Ç 1050}$ ,  $\text{Ç 1090}$ ,  $\text{Ç 3315}$  ve  $\text{SPK 2080}$  malzemeleri üzerinde; ilerleme, kesme derinliği ve kesme hızı parametreleri farklı değerlerde alınarak yapılmıştır. Kesici olarak alaşımlı ve alaşımsız çeliklerin yüzey frezelemesi için kullanılan uçlar yüksek sağlamlılık grubuna göre seçilmiştir. Deneylerde, üç kırınımlı köşe biçimli ISCAR firması tarafından üretilen (F45E D160-40) kesiciler kullanılmıştır. Kesici pozisyonu, takma uçlu freze başlığında 45 derecedir. Kullanılan freze başlıklarına 8 adet kesici uç takılarak yüzeylerden dik başlıkla talaş kaldırma işlemi yapılmıştır. Deney parametreleri için kombinasyon oluşturulmuş, toplam 240 adet deney gerçekleştirilmiştir. Seçilen işleme parametreleri ayarlandıktan sonra iş parçası mengeneye bağlanmış ve kesici bir uçtan diğer uca çıkacak şekilde işleme yapılmış ve her talaş kaldırma işleminden sonra işlenen yüzeyin üç değişik bölgesinde pürüzlülük ölçümü yapılmıştır. Pürüzlülük ölçme metodu olarak profil metodu seçilmiştir. Bu metot da yüzeye temas eden 60 derece uç açılı  $12,5 \mu$  çapında elmas iğnesi bulunan ve temas ettiği yüzeye  $1,5 \text{ g'}$  dan az baskı yaparak profil değişimini  $R_a$  ve  $R_t$  cinsinden okuyan Mitutoyo SurfTest 211 cihazı kullanılmıştır. Örneklem uzunluğu olarak  $0,8 \text{ mm}$  seçilmiştir. Ölçme işlemi numunenin genişlik ortalaması üzerinde başta, ortada ve sonda olmak üzere üç bölgede yapılmıştır. Bu deneysel çalışmada kesme hızının, ilerleme ve kesme derinliğinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde büyük etkileri olduğu belirlenmiştir. Seçilen parametreler arasında bir düzensizlik

olduğunda ise, yüzey pürüzlülük değerinin arttığı tespit edilmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Düzlem yüzey frezeleme için kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliğinin, Ç 1050 malzemesinde yüzey pürüzlülüğüne etkileri ortaya konmuştur. Sürekli talaş veren malzemelerin işlenmesi sırasında talaşın koparılmasında oluşan sünme sebebiyle yüzey pürüzlülüğü yüksek çıkmıştır.
- Kesicinin kullanma sürelerini etkileyen kesme hızının düşük ve yüksek olduğu durumlarda yüzey pürüzlülüğü artış göstermiştir. Kesme hızının yüksek, ilerlemenin düşük ve kesme hızının düşük, ilerlemenin yüksek olduğu durumlarda ise pürüzlülüğün arttığı görülmüştür. İlerlemenin yüksek olması durumunda kesicinin bir devirde alması gereken talaş miktarının artması nedeniyle pürüzlülük de artmaktadır.
- Kesici tipi olarak kullanılan kıvrımlı uçlar ile yüzey pürüzlülük derinliklerinin en düşük olduğu görülmektedir [10].

Demir ve Özlü çalışmalarında, yağda ve suda sertleştirme ısı işleme tabi tutulan, yüksek dayanımlı düşük alaşımlı 30MnVS6 mikro alaşımlı çelik iş parçaları üzerinde işleme deneyleri yapmışlardır. Deneyler tornalama metoduyla dört farklı kesme hızında (90; 120; 150 ve 180 m/dak) ve 0,1 mm/dev ilerleme miktarı ile 1 mm talaş derinliğinde soğutma sıvısı kullanılmadan kuru şartlarda yapılmıştır. Uygulanan ısı işlemler iş parçalarının mikro yapılarını ve sertliklerini değiştirmiş ve bu mikro yapıların ve sertliklerin kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğüne etkileri araştırılmıştır. Suda soğutulan iş parçaları, kesici takımında çok hızlı aşınmaya neden olmuş takım kesme özelliğini yitirmiştir. Aynı zamanda, suda sertleştirilen iş parçaları üzerinde yapılan deneylerde kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülük değerleri yağda sertleştirilen malzemeye göre yüksek bulunmuştur. Suda soğutulan malzeme üzerinde yapılan deneylerde kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülük değerleri yüksek bulunmuştur. Bununla beraber yüzey pürüzlülük değerlerinin değişimi düzenli olmamıştır. Yağda soğutulan malzemede kesme hızının artmasıyla kesme kuvvetlerinde ve yüzey pürüzlülük değerlerinde düzenli bir azalmanın daha fazla olduğu görülmüştür. Sonuç olarak, malzemelerin mikro yapılarında yapılan

değişiklerle, kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülük değerlerinin önemli ölçüde değiştiği gözlenmiştir [11].

Işık ve Çakır hız çeliği takımlar için kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkilerini deneysel olarak incelemiştir. Çalışmalarında talaş kaldırma işlemlerinde yüzey pürüzlülüğünün önceden tahmin edilebilmesi amacı ile ilerleme, kesme hızı ve talaş derinliğine bağlı olan bir model geliştirilmiştir. Takım çeliklerinin (sıcak iş, soğuk iş, kalıp) yüzey pürüzlülüğünün önceden tahmini için kurulan bu model ile belirli kesme parametreleri ( $V$ ,  $f$ ,  $a_p$ ) için yüzey pürüzlülüğü ( $R_a$ ) değerlerini önceden tahmin etmek mümkün olabilmektedir. Teorik olarak bulunan yüzey pürüzlülüğü değerleri deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Teorik sonuçlar ve deneysel sonuçlar arasında uygunluk olduğu görülmüştür. Deneyler sonucunda, yüzey pürüzlülüğü üzerine, ilerleme ve talaş derinliğinin olumsuz, köşe radyüsünün artmasının ise olumlu etki yaptığı gözlenmiştir. Çalışma yüzey pürüzlülüğünün ancak ince tornalama işlemlerinde bir önem arz etmesi nedeniyle ince tornalama için geçerli kesme parametreleri kullanılarak yapılmıştır. Buldukları sonuçlara göre, tornalama işlemlerinde yüzey pürüzlülüğü üzerinde en büyük etkiyi ilerleme hızı ( $f$ ), sonra talaş derinliği ( $a_p$ ) ve en az etkiyi kesme hızı ( $V$ ) yapmaktadır. İlerleme ve talaş derinliğinin artması yüzey pürüzlülüğünü olumsuz yönde etkilemektedir. Kesme hızının etkisi hız çelikleri için geçerli kesme hızı aralığında çalışılması nedeniyle diğer parametrelere göre ihmal edilebilecek düzeydedir. Oluşturulan matematiksel model sayesinde istenilen yüzey kalitesini sağlayacak optimum kesme parametrelerini önceden tahmin etmek mümkün olabilmektedir [12].

Özdemir ve Çakır çalışmalarında kesici takım geometrisinin ve kesme parametrelerinin başlangıç aşınmasına olan etkilerini incelemiştir. Bu çalışmada iş parçası malzemesi östemperlenmiş dökme demir olup kesici takım olarak ISO TNMG 160408 (K10) sinterlenmiş karbür kesici uçlar kullanılmıştır. İşlemlerde iki farklı yanaşma açısı ( $60^\circ$  ve  $93^\circ$ ) kullanılmış, böylelikle talaş derinliği, kesme hızı, ilerleme gibi kesme parametrelerinin yanı sıra yanaşma açılarının da başlangıç aşınmasına etkileri incelenmiştir. İlk olarak sabit bir kesme hızı ve sabit yanaşma açısı için talaş derinliğine ve ilerleme artışına bağlı olarak başlangıç aşınmasındaki

değişim incelenmiştir. 1 mm talaş derinliğinden 1,5 mm talaş derinliğine çıkılması başlangıç aşınmasını yaklaşık iki kat arttırmıştır. Buna karşın 1,5 ve 2 mm talaş derinliğinde 0,14 ve 0,18 mm/dev ilerleme hızlarında elde edilen aşınma değerleri hemen hemen eşittir. Bu ise bu talaş derinliği ve ilerleme değerleri için talaş derinliğindeki artışın aşınma üzerine etkisi olmadığı anlamına gelmektedir. Talaş derinliği ile birlikte ilerlemenin artmasının aşınma oranını arttırıcı etkisi olduğu gözlenmektedir [13].

Nalbant ve arkadaşları nikel esaslı süper alaşım Inconel 718 malzemesini, iki farklı geometride ve üç farklı malzeme kalitesinde seramik takımlar kullanılarak kuru kesme koşulunda CNC tornada işlemişlerdir. Çalışmada kesme hızı olarak 150; 200; 250 ve 300 mm/dak değerleri alınmış, kesme derinliği 2 mm, ilerleme 0,20 mm/dev değerlerinde sabit tutulmuştur. Deneyler sonucunda, kesme takımı geometrisinin, malzeme kalitesinin ve kesme hızının kesme kuvvetleri üzerine etkisi anlaşılmaya çalışılmıştır. Araştırma sonucunda, kesme kuvvetlerinin büyük ölçüde takım geometrisine bağlı olduğu anlaşılmıştır. Kesme hızının etkisi kuvvetler üzerinde fazla olmamakla birlikte kesme hızının artışıyla kesme kuvvetlerinde düşüş gözlenmiştir. Ayrıca yüksek kesme hızlarında plastik deformasyon, serbest yüzey aşınması, çentik ve yığılma kenarı takım bozukluk durumları gözlemlenmiştir [14].

Aydemir yaptığı çalışmada kesme parametrelerini dikkate alarak, torna ve freze tezgâhlarında kullanılan kesici takımları seçebilen bir bilgisayar programı hazırlamıştır. Kesme parametrelerini incelerken, kesici takım malzemelerini, uç tespitini, kesici uç şeklini, köşe radiusunu ve uç geometrisini dikkate alarak, ISO kodlarına göre kesici takım seçmeyi ve kesme parametrelerine kısa bir sürede ulaşmayı amaçlamıştır [15].

Toh'un yaptığı çalışmada, kesme derinliği kazancını anlamak için yapılan statik ve dinamik kesme kuvveti ile kuvvet değişimi incelemeleri açıklanmakta ve karşılaştırılmaktadır. Çalışmada iş parçası olarak AISI H13 sıcak iş çeliği, takım olarak da TiAlN kaplı tungsten karbür parmak freze kullanılmıştır. Araştırma sırasında eş yönlü ve zıt yönlü işleme tekniklerinin etkileri de dikkate alınmıştır. Bu

tekniklerin kuvvet bileşenleri üzerindeki etkileri incelenmiş ve buna bağlı olarak da takım aşınması ve takım ömrü değerlendirilmeye çalışılmıştır. Sonuç olarak, takım aşınmasının yavaş bir şekilde gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Ayrıca bütün kesme derinliklerinde, frezeleme yöntemleri ile kesme kuvvetleri bileşkesi ve normal statik kuvvet  $F_y$  arasında yapılan karşılaştırmalar göstermiştir ki; eğer kesme kuvveti büyüklüğü düşürülmezse aynı ve zıt yönlü frezeleme yöntemi takım aşınmasında aynı sonuçları vermektedir. Yapılan statik ve dinamik kuvvet analizlerinin sonuçları, kesme uzunluğuna dik kesme kuvvetinin, takım aşınması ve kesme koşulları üzerinde hassas bir değer olduğunu göstermiştir [16].

Gülmez ve arkadaşları, takma uçlu alın freze takımı kullanarak simetrik alın frezeleme yöntemi ile düzlem yüzey işlemede, kesme kuvvetlerinin işlenebilirliğe etkisini ZF-7B bor alaşımlı çelik üzerinde deneysel olarak araştırmışlardır. Kesme kuvvetleri; yük sensörü, amplifikatör, Analog/Dijital dönüştürücü, veri toplama kartı ve bağlantı kabloları yardımı ile bilgisayara aktarılmıştır. Deney sonuçları;

- Aynı anda kesme işlemi yapan kesici ağız sayısı azaldığında, statik kesme kuvvetlerini ifade eden grafik çizgilerinin daha düzgün olduğu görülmüştür.
- Kesici takım yerleştirme hataları arttıkça ani statik kesme kuvvetleri de artmaktadır.
- Kesici takım geometrisine bağlı olarak iş parçası ile kesici takım arasındaki temas uzunluğu ve aynı anda kesme yapan kesici ağız sayısı arttıkça Z eksenindeki basınç kuvveti artmaktadır.
- Kesme kuvvetlerinin; frezeleme yöntemine, kesilen malzemenin cinsine, takım geometrisine ve talaş kaldırma koşullarına bağlı olduğu gözlemlenmiştir.
- Kesici takımın form ve biçimi değiştiğinde talaş kaldırma esnasında meydana gelen talaş şekli de değişmektedir. Şeklinde özetlenebilir [17].

Ghanil ve arkadaşlarının yapmış oldukları araştırmada, TiN kaplı karbür takımın performansı, AISI H13 takım çeliğinin yüksek kesme hızında yüzey frezelenmesi ile değerlendirilmeye çalışılmıştır. Bu çalışmada; kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliğinin takım ömrü üzerine etkileri incelenmiştir. Sonuçlar takım ömrü üzerinde, ilerleme hızı ve kesme derinliğinin yüksek etkisi olduğunu göstermiştir. Takım

ömrünün kesme hızından önemli derecede etkilenmediğinden bahsedilmiş ve bunun tersi bir durumun yüksek kesme hızıyla birlikte yüksek kesme derinliği ve ilerleme kullanıldığında takımın zayıflığından kaynaklanan çatlak ve kırılmalarından olabileceği yorumu yapılmıştır. Sonuç olarak da takım ömrünü; yüksek kesme derinliği ve ilerlemelerden kaynaklanan kesme kenarındaki kırılmaların, yüksek kesme hızı sonucunda açığa çıkan sıcaklıktan dolayı kaynaklanan takım aşınmasından, daha fazla etkilendiği söylenmiştir [18].

Ay ve arkadaşları yaptıkları çalışmada; yüzey frezeleme işleminde kesici takıma etki eden kesme kuvvetleri ve titreşimleri inceleyip kesme esnasında oluşan kuvvet ve titreşimleri deneysel olarak ölçülmüşlerdir. Deneysel olarak; Ç1040, Ç1045, Ç1050 malzemeler ile değişik kesme derinlikleri ve ilerleme değerlerinde 0,8 mm uç yarıçaplı kesiciler kullanılmıştır. Sonuç olarak; kesme derinliği arttığında yüzey kalitesinin olumsuz etkilendiği, kesme kuvvetlerinin arttığı, yüksek kesme hızı ve düşük ilerleme miktarının yüzey kalitesini iyileştirdiği ifade edilmiştir [19].

Aslan çalışmasında, farklı kesme takımlarının, parmak frezeleme sırasındaki aşınma ve performans davranışlarını incelemiştir. Deneysel olarak iş parçası olarak AISI 5D3 soğuk iş takım çeliği ve yüksek hızda işleme tekniği sistemini kullanmıştır. Çalışmasında yapmış olduğu deneylerin amacı, TiCN kaplı tungsten karbür, TiAlN kaplı sermet,  $Al_2O_3+TiCN$  ile karışık seramik ve CBN takımların aşınmasını incelemektir. Takım performansı değerlendirilmesi; bitiş yüzeyi ve serbest yüzey aşınması üzerinden yapılmıştır. Serbest yüzey aşınması, elektron tarama mikroskopuyla incelenmiş ve yüzey pürüzlülüğü ölçülmüştür. Sonuçta yüzey pürüzlülüğünün ve bitiş yüzeyinin birlikte değerlendirilmesiyle CBN takımların en iyi performansı sergilediği belirlenmiştir. En yüksek metal kaldırma hacmi CBN takımlarla elde edilmiştir [20].

Wang ve Zheng çalışmalarında, 41 ve 20 HRc sertliklerindeki AISI H13 takım çeliğinin, TiAlN kaplı tungsten karbür küresel parmak freze ile işlenmesi durumunda, işleme karakteristiklerini incelemiş ve karşılaştırmıştır. Frezeleme deneyleri sonucunda elde edilen frezeleme kuvveti, talaş formu ve yüzey

pürüzlülüğü değerleri işleme karakteristiklerini belirtmektedir. Deneylede kesme hızı, kesme derinliği ve kesici geometrisi değerleri sabit alınmış, iş parçası sertliği ve ilerleme değerleri değiştirilmiştir. Küresel parmak frezeleme işlemindeki karakteristik farklılıkların, malzeme sertliğinin etkilerinden dolayı kaynaklandığı gösterilmiştir [21].

Arunachalam ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada, ısıl dirençli süper alaşımların, ileri kesme takımları (CBN ve Seramik) kullanılarak işlendiği zaman verimlilik artışının sonuçları incelenmiştir. Bununla birlikte Inconel 718'in tornada yüzey işlenmesi durumunda kesme takımlarının, yüzey pürüzlülüğü, özellikle de artık gerilme oluşturma üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Artık gerilmelerin ve yüzey pürüzlülüğünün oluşumu; hız, kesme derinliği, soğutma, takım geometrisi ve takım kaplama yapısı veya türü koşullarıyla birlikte incelenmiştir. Araştırma sonucunda, seramik takımların daha büyük artık gerilmelere sebep olduğu belirlenmiştir. CBN kesme takımlarının ürettiği yüzey pürüzlülüğü ve artık gerilmelerde kesme hızının kesme derinliğinden daha fazla etkili olduğu söylenmektedir. İnceleme sonucunda araştırmacılar CBN kesme takımlarının düşük kesme hızlarında (150 m/dak) ve küçük kesme derinliklerinde (0,05 mm) soğutma ile kullanılmasını düşük artık gerilmeler ve iyi yüzey pürüzlülüğü elde etmek için önermektedirler [22].

Alauddin ve arkadaşlarının gerçekleştirmiş oldukları çalışmada, zıt ve eş yönlü frezeleme durumunda yarı-daldırma parmak freze için ortalama kesme kuvvetleri üzerindeki işleme koşullarının (hız, ilerleme, dik kesme derinliği) etkileri incelenmiştir. Kesme deneyleri kuru şart altında karbür takma uçlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmalar sonucunda, kesme hızının artışıyla zıt ve eş yönlü frezelemede kesme kuvvetleri düşüş göstermiştir. Kesme kuvvetleri, ilerleme hızının ve dik kesme derinliğinin artmasıyla birlikte her iki frezeleme yönteminde de artış göstermiştir. Kesme kuvveti bileşeni  $F_x$  eş yönlü frezelemede yüksek iken, zıt yönlü frezelemede  $F_y$  bileşeni yüksek olmuştur [23].

Kuo ve diğerlerinin yapmış olduğu çalışmada, küresel uçlu parmak freze için temel kuvvet modeli geliştirilmiştir. Yapılan deney çalışmalarıyla kesme kuvvetleri analiz

edilmiştir. Çalışma, kuru ve soğutmalı işleme şartlarında TiN kaplamalı ve kaplamasız takımlar kullanılarak değişik işleme koşullarında gerçekleştirilmiştir. Araştırma sonucunda kesme kuvvetleri, takım ömrü ve talaş oluşumu değerlendirilmiştir. İnceleme sonucunda kaplamalı takımların daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Kuru kesme koşulunda ilerleme hızının artışıyla birlikte kesme kuvvetlerinin artmakta olduğu belirtilmiştir. Bu kuvvet artışının kaplamasız takımda daha fazla olduğu söylenmiştir. Inconel 718'in işlenmesinde soğutmalı kesmenin TiN kaplı takımlar kullanılarak yapılmasının daha iyi sonuçlar vereceği dile getirilmiştir. Inconel 718'in kesilmesinde yüksek hızda ilerlemenin düşük hızda ilerlemeden daha iyi olduğu belirtilmiştir. Teorik ve deneysel sonuçlarda birbiriyle karşılaştırılmıştır [24].

Lopez de Lacalle, J. Perez ve arkadaşlarının gerçekleştirmiş olduğu araştırmada, uzay endüstrisinde sıkça kullanılan iki alaşım; nikel esaslı alaşım Inconel 718 ve Ti-6Al-4V in frezelenmesindeki mümkün olabilecek ilerleme durumları için çalışılmıştır. Bu çalışmada frezeleme işleminin verimliliğinin artışı için geometrisi ve kaplaması dikkate alınarak takımın etkisi ve işleme parametrelerinin (ilerleme ve kesme hızı, kesme derinliği) etkisi değerlendirilmiştir. Araştırmada iki alaşım üzerinde çeşitli deneyler yapılmıştır ve frezeleme işleminin verimliliğini artırmaya yönelik genel sonuçlar elde edilmiştir [25].

Mantle ve Aspinwall'ın çalışmasında, Ti-45Al-2Nb-2Mn-0,8 TiB<sub>2</sub>XDTM alaşımının küresel parmak freze ile işlenmesi sonucu oluşan yüzey bütünlüğüyle ilgilenilmiştir. Gama titanyum alüminyum alaşımı ticari olarak uzay ve otomotiv endüstrisinde kullanılmaktadır. Deneylerde tungsten karbür küresel parmak freze kullanılmış ve kesme parametreleri bitiş işlemi dikkate alınarak seçilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü değeri çoğunlukla 1,5 µm' nin altında kaydedilmiştir. Yüksek hızda frezeleme parametrelerinin etkileri değerlendirilmiş, serbest yüzey aşınması ve kesme hızının önemli etkileri olduğu ifade edilmiştir. Araştırmada deneyler sırasında iş parçası iki farklı şekilde konumlandırılmıştır. İş parçasının açıları 0° ve 45° olarak alınmıştır. Ayrıca çalışmada mikro sertlik ve artık gerilme ölçümleri yapılmış ve

malzeme yüzeyi incelenmiştir. Çalışma sonucunda bulunan değerlerin istatistiksel analizi yapılmıştır [26].

Kopac ve Bahor, pratikte sık kullanılan temperlenmiş Ç1060 ve Ç4140 çeliklerin işleme koşulları ile yüzey pürüzlülüğünün değişimi üzerindeki çalışmalarında, işleme parametrelerinin rastgele seçimi neticesinde ne tür sonuçlar ile karşılaşılacağı üzerinde durmuşlardır. Çalışmalarında, her iki çelik için büyük uç yarıçaplı kesici takım kullanıldığında, düşük yüzey pürüzlülüğü değerlerine ulaşıldığı görülmüştür [27].

Jawaid ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmalarında, özdeş geometriye sahip iki PVD ile TiN kaplı ve kaplamasız tungsten karbür kesici takımın kesme performansı ve bozukluk özelliklerini, Inconel 718 malzemesinin kullanılmasıyla incelemiştir. Deneyler; yüzey frezeleme işlemiyle soğutmalı kesme koşulunda gerçekleştirilerek, kesme ve ilerleme hızının takım performansı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Kaplamalı takımdan beklenen sonuç alınamamıştır. Çünkü kesmenin başlangıcında kaplamada tabakalar halinde iş parçası malzemesine yapışmalar gözlenmiş bunu neticesinde de deneylerin geri kalanında takım performansı engellenmiştir. Sonuç olarak, serbest yüzey aşınması ve ufalanma birleşiminin takım bozukluklusunun genel durumu olduğu söylenmiştir. Kaplamasız takımlar düşük hızlarda kaplamalı takımlara göre daha iyi performans gösterirken, kaplamalı takımların hız yükseldiği zaman biraz daha iyi performans sergilediğini belirtmişlerdir [28].

Jawaid ve arkadaşlarının gerçekleştirmiş olduğu çalışmada, titanyum alaşımının yüzey frezelemesi yapıldığı zaman kaplı karbür takımların aşınma mekanizması ve performansı incelenmiştir. Deneylerde PVD-TiN ve CVD-TiCN +Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplı iki takım kullanılmıştır. Değişik kesme koşulları için takım ömrü, takım bozukluk durumu ve aşınma mekanizması incelenmiştir. Her iki takımında da uzun takım ömrü 55 mm/dak kesme hızı ve 0,1 mm/diş ilerlemede görülmüştür. Malzeme kaldırmanın hacmi ve takım ömrü dikkate alındığında CVD kaplı takımlar PVD kaplı takımlara göre daha iyi performans sergilemişlerdir. Kesme kenarındaki aşırı ufalanmalar ve talaş yüzeyindeki ufalanmalar ve/veya dökülmeler çoğu kesme koşulu altında baskın

bozukluk durumu olmaktadır. SEM ile birlikte yapılan araştırmalar kaplama ayrılmasının, iş parçası yapışmasının, sũrtũnmenin, difũzyonun, plastik deformasyonun ve ısıl kırıkların aşınma mekanizmasını gerçekteştirdiğini gũstermiřtir [29].

Yan ve arkadaşları sertleştirilmiş AISI H13 çeliğinin işlenmesinde kesme hızının, kesme derinliğinin ve kesici takım uç tipinin etkilerini parametrik olarak nũmerik simũlasyon ile araştırmışlardır. Araştırma sonuçlarına gũre işleme parametrelerinin optimize edilmesi ve kesici uç tasarımlarının geliştirilmesinde elde edilen sonuçların faydalı olduğu gũrũlmũřtũr [30].

Chou ve Song, AISI 52100 çeliğinin farklı kesme şartlarında işlenmesinde takım uç yarıçapının yũzey pũrũzlũlũđũne etkilerini, takım aşınmasını, kesme kuvvetlerini ve beyaz katman derinliğini araştırmışlardır. Sonuçta, takım uç yarıçapının artmasıyla yũzey kalitesinin iyileştiği fakat bunun yanında takım aşınmasının, kesme kuvvetlerinin ve spesifik kesme enerjisinin arttığı gũrũlmũřtũr [31].

Bu çalışmada, değişik işleme parametreleri ile talaş kaldırmak suretiyle oluşan kesme kuvvetlerinin ve yũzey pũrũzlũlũđũnũn ۆlçũmũ, karşılaştırılması yapılmıştır. Deneyleerde, normal işleme koşullarında (işleme parametrelerinin çok alt ve ۆst sınır değerlerine gitmeden) her deney parametresi için kesici ucun bir ağzı bir defa kullanılmış ve numaralandırılarak saklanmıştır. Deney sırasında kesme kuvvetleri ۆlçũlerek kaydedilmiş, kesme işleminin hemen ardından, deney dũzeneđi bozulmadan yũzey pũrũzlũlũkleri ۆlçũlerek kayıt altına alınmıştır. Ra'nın, iki farklı kesme derinliğinde, sabit ilerleme hızı-değişken kesme hızları ve sabit kesme hızı-değişken ilerleme aralıklarındaki değerleri grafiksel olarak sunulmuş ve karşılaştırılmıştır.

### **3. TALAŞLI İMALAT VE İŞLENEBİLİRLİK**

#### **3.1. Talaşlı İmalat İşlemi**

Talaş kaldırma, bir iş parçasından, istenmeyen malzemeyi genellikle talaş şeklinde kaldırmak için yapılan üretim işlemlerini tanımlar. Şekillendirilecek iş parçası üzerinden takımlar yardımıyla küçük parçacıklar halinde malzeme koparılarak yapılan imalata; talaşlı imalat denir. İşlemin esası, takım ile iş parçası malzemelerinin birbirinden farklı sertlikte olmaları ve böylece talaş kaldırılabilmesidir. İş parçası metal olduğu zaman, işlem metal kesme olarak da isimlendirilir. Talaşlı imalat işleminde etkin olan kesme hareketi iş parçasının kesici takım önündeki plastik deformasyonunu ve deforme olan bu katmanın talaşa dönüşmesini gerektirir. Bu yöntem çoğunlukla metalleri şekillendirmek için uygulansa da, diğer bazı malzemeler de aynı yöntemle şekillendirilebilir [32,33].

Talaş kaldırma işleminin amacı parçalara sadece bir şekil vermek değil, bunları geometrik, boyut ve yüzey bakımından imalat resminde gösterilen belirli bir doğruluk derecesine göre imal etmektir. Buna “işleme kalitesi” denir. Parçanın geometrik, boyut ve yüzey doğruluğunu kapsayan işleme kalitesi, günümüzde talaş kaldırma işleminin en önemli özelliğidir. Kesme parametreleri (kesme hızı, ilerleme, paso derinliği) ve takım geometrisi (açılar ve radyüsler) bağımsız girdi değişkenlerdir. Kesme kuvveti ve gücü ve yüzey kalitesi bağımlı değişkenlerden bazıları olarak değerlendirilir [64].

Kesme kenar geometrisi, belirli işleme şartları altında sıcaklık, kesme kuvvetleri ve talaş oluşumunun kontrol altında tutulmasını gerektirir. Kesici takım geometrisinin tasarımı sırasında, gerçekleştirilecek talaş kaldırma işleminin, takım ömrü ve uç mukavemeti üzerindeki etkilerinin de dikkate alınması gerekir. Bir kesici kenar ile bir metalden talaş kaldırma sırasında, kesici takım iş parçası malzemesinin bir bölümünü plastik olarak deforme eder ve talaşı keser. Talaş olarak ayrılacak malzeme tabakası üzerindeki gerilmeler, bu tabaka kesici kenara yaklaştıkça artar. Bu artan gerilmeler malzemenin akma sınırına ulaştığı anda metal içerisinde elastik

ve plastik deformasyonlar meydana gelir. İş malzemesinin tipine bağlı olarak değişik talaş tipleri (sürekli, kesintili, kırılğan) oluşur [1].

### 3.2. İşlenebilirlik

Genellikle iş parçasının işlenebilme kabiliyeti, uygun kesici takım ve kesme parametreleri kullanılarak bir malzemeyi (çoğunlukla metal) talaşlı imalat yöntemleriyle şekillendirebilmenin nispi kolaylığı veya zorluğu olarak tanımlanabilir. Kesici takımlardaki gelişmeler, değişen koşullar ve metotlar nedeniyle işlenebilirlik kavramı ifade edilmesi zor olan bir kavramdır. İş parçası malzemelerinin metalürjisi, mekaniği, ısıl işlemi, katkı maddeleri, içerisindeki kalıntılar, yüzeyindeki sert tabakanın kalınlığı gibi özellikler işlenebilirliği etkiler. Bu etkilerin yanı sıra işlenebilirlik üzerinde kesici kenarın, takım tutucunun, takım tezgâhının, işlemlerin ve işleme koşullarının da etkisi büyüktür. Malzemeler için işlenebilirlik verileri talaşlı imalat işlemlerinde daha sonra iyileştirilebilecek başlangıç değerlerinin belirlenmesine yardımcı olurlar. İşlenebilirlik, ekseriyetle malzemenin özgül bir özelliği olarak algılansa da, sadece işlenen malzemeye bağlı olmayıp aynı zamanda işleme yöntemi ve işleme parametrelerine de bağlıdır [34].

İşlenebilirliği değerlendirmek için çeşitli kriterler kullanılır. Bunlardan en yaygın olanları:

- 1- Takım ömrü
- 2- Kesme kuvvetleri ve harcanan enerji veya güç
- 3- İşlenen yüzey kalitesidir [35].

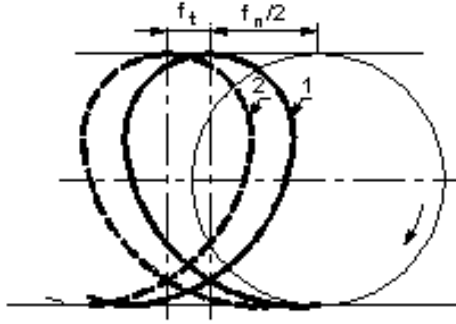
Kesici takımın, kesme işlemi esnasında iş parçasıyla temasta olduğu noktada meydana gelen deformasyonlar iş parçasının yüzey kalitesini doğrudan etkilemektedir. Yani iş parçasının yüzey kalitesi; iş parçasının malzemesi, kesme parametrelerine ve kesici takım geometrisi, malzemesi ve kaplamasına bağlı olmaktadır.

### 3.3. Frezeleme

Frezeleme, birçok uygulamalar için yaygın olarak kullanılan önemli talaş kaldırma işlemlerinden birisidir. Prensipte olarak, dönen çok uçlu bir kesici takım ile iş parçasının doğrusal hareketi sonucunda gerçekleştirilir. İlk universal freze tezgahı 1861 yılında helisel matkapların helisini yapmak için icat edilmiştir. Gelişen teknoloji sayesinde ilk olarak CNC teknolojisi 2. Dünya Savaşı sonrasında endüstride kullanılmaya başlanmıştır. Bilgisayarların imalata dâhil edilmesiyle sadece basit parçalar yapan freze tezgâhları oldukça karmaşık parçaları çok basit bir şekilde yapar hale gelmiştir. Frezeleme işlemi sadece gerçekleştirilen işlem tipleri açısından değil aynı zamanda kullanılan tezgâh, takım ve işlenen iş parçası açısından da büyük farklılıklar göstermektedir [37].

Günümüzde frezeleme işleminde takım, hemen hemen her yönde iş parçasına doğru hareket edebilmektedir. Frezeleme genellikle düzlemsel yüzeylerin, dik köşelerin ve kanalların işlenmesinde kullanılan bir işlemdir [36]. Frezelemede asıl amaç en düşük maliyetle en yüksek üretim miktarını maksimum takım ömrü ile elde etmektir.

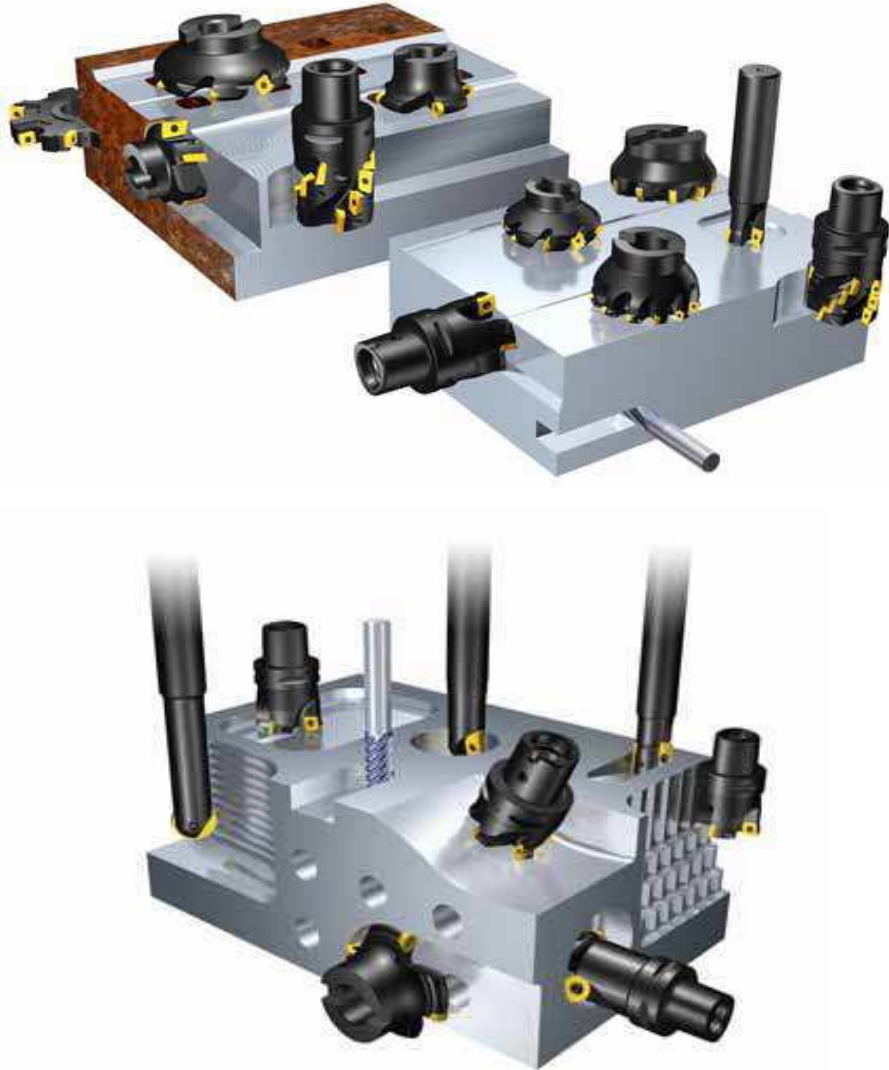
Frezelemede kesme, takımın kendi eksenini etrafında dairesel hareketi ve iş parçasının doğrusal ilerleme hareketi ile gerçekleşen temel bir kesme operasyonudur. Frezelemede her kesici ağız kısa bir süre parçayı keser. Kesici ağızlar parça ile sürekli olmadığından frezeleme bir kesintili kesme işlemidir ve talaş kesiti ve dolayısıyla talaş yükü de her an değişir. Kesme esnasında kesici ağızların her noktası parçaya göre izafi hareket ederek birer sikloit eğrisi çizerler (Şekil 3.1). Müteakip iki dişe ait yörüngeler arasında kalan “virgül” şeklindeki kısım talaş şeklini meydana getirir. Frezelemede maksimum verim için tezgah teknolojilerindeki gelişmelere paralel olarak, takım ve talaş geometrisi üzerinde de çalışmalar yapılmaktadır.



Şekil 3.1. Frezelemede ardışık iki diş tarafından çizilen sikloit eğrisi [3]

İş parçasına olan etkisi veya takımın izlediği yol açısından bakıldığında frezeleme işlemlerinin temel biçimleri arasında aşağıdakiler sayılabilir:

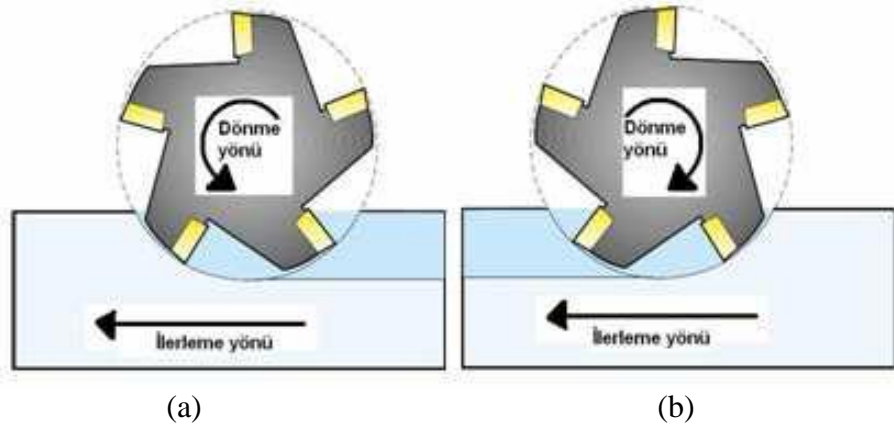
- 1) Yüzey frezeleme
- 2) 90° kenar frezeleme
- 3) Profil frezeleme
- 4) Havuz boşaltma
- 5) Kanal frezeleme
- 6) Torna - frezeleme
- 7) Diş frezeleme
- 8) Kesme
- 9) Yüksek ilerlemeli frezeleme
- 10) Dalma frezeleme
- 11) Açılı (rampa) frezeleme
- 12) Helisel interpolasyon
- 13) Dairesel interpolasyon
- 14) Trokoidal frezeleme [38].



Resim 3.1. Frezeleme metotları ve freze çakıları [38]

Frezeleme işlemlerinde en önemli iş takımının işe uygun olarak seçilmesi ve iş parçasının en uygun biçimde bağlanmasıdır. Talaş kaldırma işleminde gerek talaş yüklenmesini, gerekse sarsıntıyı karşılayacak şekilde bağlama yapmak şarttır. Frezeleme işleminde bazı parçalar tek takımla bazıları ise birden fazla takımla yapılır. Bu nedenle işlem yaparken kaba, orta kaba ve son paso olmak üzere talaş kaldırma işlemi sınıflandırılır ve talaş kaldırma işlemleri bu sınıflandırmaya uygun olarak yapılır [39].

Frezelemede talaş kaldırma işlemi aynı yönlü ve zıt yönlü olmak üzere 2 gruba ayrılır (Sekil 3.2).



Şekil 3.2. a) Zıt yönlü kesme, b) Aynı yönlü kesme

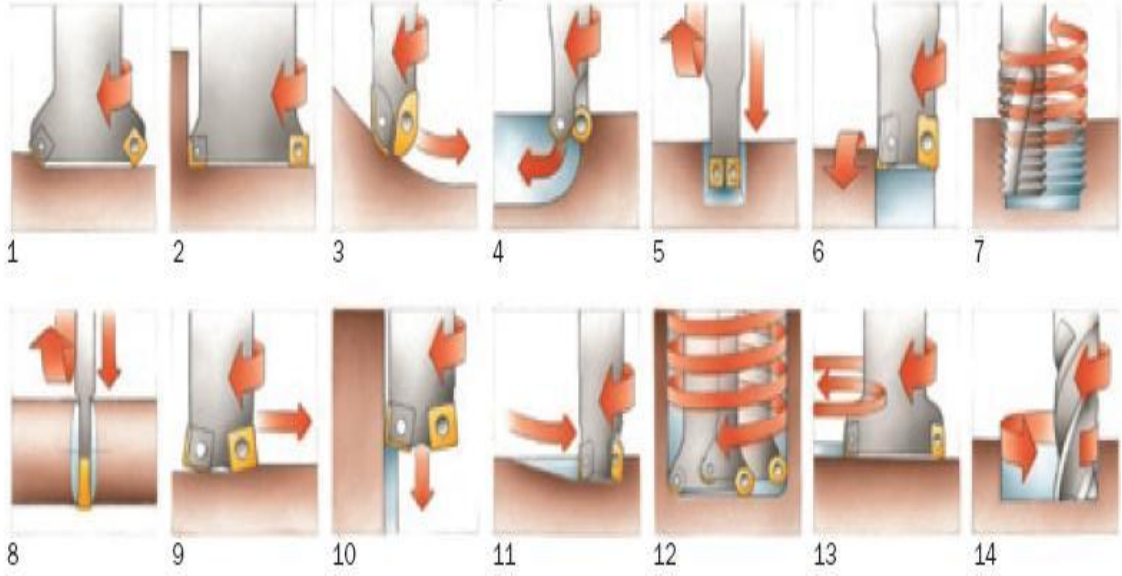
Aynı yönlü frezelemede freze çakısının kesme yönü ve iş parçasının ilerleme yönü aynı yöndedir. Aynı yönlü frezeleme, zıt yönlü frezeleme işlemine göre daha avantajlı ve takım ömrü, işleme zamanı göz önünde bulundurulursa daha ekonomiktir; fakat aynı yönlü frezeleme yapabilmek için, freze tezgâhlarının, takımların ve sıkma aparatlarının rijitliği önemlidir.

Zıt yönlü frezelemede, freze çakısının kesme yönü iş parçasının ilerleme yönüne karşı yönlendirilmiştir. Talaş meydana gelmeden önce, kayar ve kesici ağız iş parçasının yüzeyinde kazıma yapar. Bundan dolayı freze çakısının kesici ağızlarının serbest yüzey aşınması tipik bir aşınma seklidir. Kesici ağızların malzemeyi kavrama yolu üzerinde talaşın kalınlığı ve kesme kuvveti büyür. Eğer, kum kalıntıları veya kaynak dikişleri gibi aşındırıcı tesirli yüzey bölgesi bulunan iş parçalarının işlenmesi gerekiyorsa, zıt yönlü frezeleme işlemi tatbik edilmelidir [39].

### 3.3.1. Freze Kesici Takımları

- 1- Silindirik Freze Çakısı
- 2- Alın Freze Çakısı
- 3- Kanal Açma Freze Çakısı
- 4- Konik Alın Freze Çakısı
- 5- T-Kanal Freze Çakısı

- 6- Form Freze akıları (Konkav, Konveks)
- 7- Konik Saplı Helis Kanallı Parmak Freze akıları
- 8- Silindirik Saplı Parmak Freze akıları
- 9- Değiştirilebilir uçlu Freze akıları



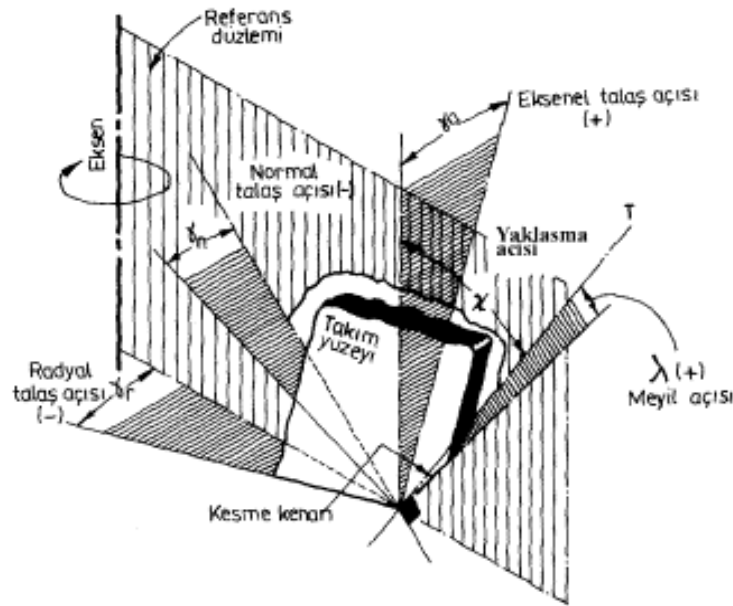
Resim 3.2. İşleme tipine göre bazı freze akıları

Hammaddesi, işlenecek malzemeye göre geliştirilmiş freze çakıları şu şekildedir.

- 1- HSS takımlar
- 2- Sementit Karbür Takımlar
- 3- Kaplanmış Sementit Karbür Takımlar
- 4- Sermet Kesici Takımlar
- 5- Seramik Kesici Takımlar
- 6- Koronit Kesici Takımlar
- 7- CBN Kesici Takımlar
- 8- Çok Kristalli Elmas (PCD) Kesici Takımlar [40]

### 3.3.2. Frezelemede Takım Geometrisi

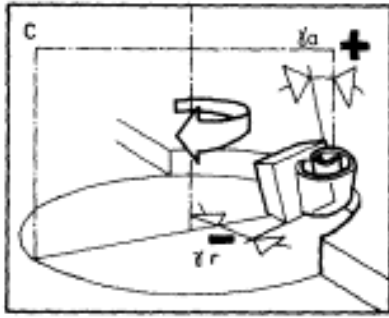
Frezeleme, takım ekseninin parça düzlemindeki konumuna bağlı olarak çevresel ve alın frezeleme olarak adlandırılır. Kullanılan kesici takımlar genellikle birden fazla kesici ağza sahip olduklarından; tek-ağzılı kesici takımlara göre talaş kaldırma kapasiteleri ve takım ömürleri daha fazla, talaş geometrileri ise daha karmaşıktır. Bir takımın kesme ucu geometrisi, üç boyutlu düzlemde birçok açı tanımlamayı gerektirir. Freze çakıları gerek yekpare, gerekse takma uçlu olsun; kesici takım açıları, uçların takıma bağlı haldeki konumuna göre değer alır. Bir freze çakısının takım açıları Şekil 3.3.'de gösterilmiştir [3].



Şekil 3.3. Bir karbür alın freze takım ucu geometrisi [3]

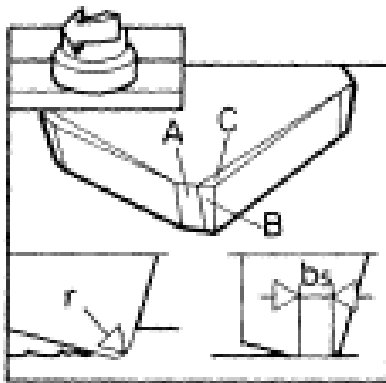
Takımın performansını takım malzemesi ile birlikte sahip olduğu açı değerleri tayin eder. Yaklaşma (giriş) açısı ( $\gamma$ ) kesme kuvvetini, talaş akışını, talaş kalınlığını, takım ömrünü ve işlenen yüzey kalitesini önemli ölçüde etkiler. Açı değeri  $90^0$  den saptıkça talaş kalınlığı ve titreşim azalır. Eğim açısı ( $\lambda$ ) esas kesme kenarının parçaya yaklaşımını etkiler, talaş akışını yönlendirir ve daha az giriş darbesi sağlar. Kesme kenarı referans düzleminde yer almadığından, bu şartlarda eğimli kesme meydana gelir. Talaş açısı ( $\gamma$ ) takımın malzemeye dalmasını kolaylaştırır, pozitif ve negatif

değer alabilir. Pozitif talaş açısı kesme kuvvetini, dolayısıyla kesme gücünü azaltır. Bu açı kesici ağzın güçlendirilmesi gereken sert malzemelerin işlenmesinde negatif değerler alabilir. Çift negatif geometrili takımlar, sert çeliklerin ve dökme demirlerin darbeli talaş kaldırma şartlarında, çift pozitif geometrili takımlar ise, genellikle akma tipi talaş veren yumuşak çelik ve alüminyum gibi malzemeler ile kırılğan, dengesiz ve gerinme sertleşmesine meyilli malzemelerin işlenmesinde tercih edilir. Şekil 3.4. da pozitif aksel talaş açılı ( $\gamma_a$ ) ve negatif radyal talaş açılı ( $\gamma_r$ ) bir takım geometrisi görülmektedir [3].



Şekil 3.4. Pozitif ve negatif talaş açılı bir takım geometrisi [3]

Bir kesici takım ucu, kesme kenarını güçlendirmek, ısıyı dağıtmak ve aşınmayı azaltarak takım ömrünü uzatmak için kavislendirilir. Yüksek ilerleme değerlerinde, düzgün bir yüzey kalitesi elde etmek için, özellikle bitirme işlemlerinde, köşe gerisinde bir düzlük oluşturulmuş (bs) takım uçları kullanılmaktadır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Köşe kavisli ve düzlem yüzey yapıları bir takım ucu [3]

### 3.3.3. Kesici Ucun Tipi ve Geometrisi

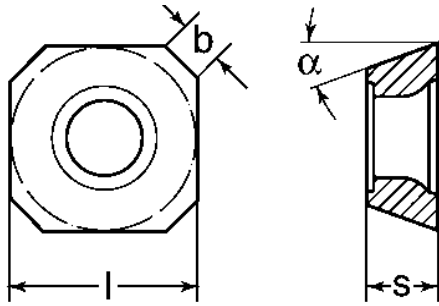
Talas kaldırma işlemlerinin birçoğunda, istenilen kesme koşullarını sağlayacak şekilde tasarlanmış çeşitli kesici uçlar mevcuttur. Kesici ucun tipi genellikle kesici ucun geometrisi ile belirlenir. Çeşitli kesme koşulları ve malzemeler kesici kenar açısından farklı gereksinimleri beraberinde getirir. Örneğin alüminyumun işlenmesi sertleştirilmiş çeliğin işlenmesinden farklıdır. Kesici ucun şeklinin yavaşlama açısına ve köşe radyüsüne bağlı olarak belirlenmesinden sonra uç geometrisinin belirlenmesi gerekir. Kesici uç tipinin seçimi iş parçası malzemesine ve işleme ait çalışma alanına bağlı olarak yapılır. Bunun yanı sıra tezgâhın çalışma koşulları, gücü, sürekli veya aralıklı talaş kaldırma işlemi ve titreşim eğilimi de uç tipinin seçimini etkiler. Tornalama işlemi kaldırılan malzemeye, hassas boyutların ve istenilen yüzey kalitesinin elde edilmesine veya bu ikisinin beraber değerlendirilmesine bağlı olarak çeşitli çalışma alanlarına bölünmüştür. Kesici ucun tipinin belirlenmesi aşamasında ilerleme ve talaş derinliği değerlerinin bu çalışma alanlarının birisinin içerisinde kalması gerekmektedir. Her bir çalışma alanı için çeşitli kesici uç tipleri mevcuttur. Ancak bir kesici uç için uygun çalışma alanı kesici ucun büyüklüğü, şekli, köşe radyüsü gibi faktörlere bağlı olarak farklılık gösterir. Verilen kesme şartları için takım geometrisindeki değişiklikler, talaş oluşumu üzerinde direkt etkiye sahip olup bunlardan ilki, kayma açısı üzerine etki diğeri ise talaş kalınlığı üzerine etkidir. Bu iki etki birbiriyle ilişkilidir ve birisinin değişimi genellikle diğerini etkiler. Takım uçları, aynı ölçüde üst ve alt yüzeylere sahip bulunuyorsa negatif uç olarak, ucun üst yüzeyi alt yüzeyinden büyükse pozitif uç olarak adlandırılır. Uç tipini etkileyen bir başka temel faktör iş parçası malzemesidir. Birçok ulusal standarda göre çok fazla sayıda takım malzemesi mevcuttur. Bunlara dayalı olarak hazırlanmış malzeme sınıflama sisteminde malzeme aileleri sayılarla temsil edilirler. Kesici uç geometrileri çeşitli malzemeleri en iyi koşullarda işleyecek şekilde tasarlanmışlardır. Birçok işlemde 6 temel iş parçası malzemesi mevcuttur bunlar:

- 1- Birçok çelik çeşidi gibi uzun talaş veren malzemeler
- 2- Paslanmaz çelik
- 3- Gri ve sfero dökme demir gibi kısa talaş veren malzemeler

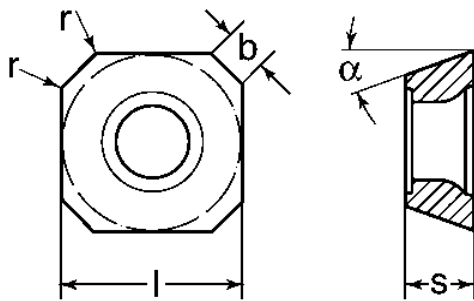
- 4- Yumuşak malzemeler (alüminyum gibi)
- 5- Bakır alaşımları (pirinç, bronz gibi)
- 6- Sert malzemeler (titanyum gibi)

Uç seçimini etkileyen diğer faktörler işleme bağlı olan faktörlerdir. Bu faktörler; aralıklı talaş kaldırma, titreşim eğilimi ve sınırlı tezgâh gücü olarak sıralanabilir.

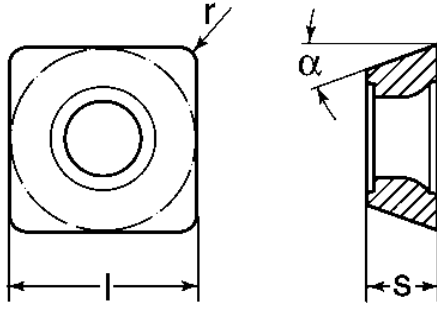
Bu çalışmada, kesici uçların köşe geometrilerini karşılaştırmak için Şekil 3.6. Şekil 3.7. ve Şekil 3.8.'de gösterilen farklı köşe tiplerine sahip uçlar kullanılmıştır. SPMT 1204 AEN kesicisi  $b = 1,4$  mm paha sahip, SPMW 1204 AEN-A 57 kesicisi hem  $b = 1,4$  mm paha hem de  $r = 0,5$  mm radyusa sahip, SPMT 120408-D 51 kesicisi sadece  $r = 0,8$  mm radyusa sahip kesici uçlar olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.6. SPMT 1204 AEN kesici ucuna ait geometri (sadece pahlı)



Şekil 3.7. SPMW 1204 AEN-A 57 kesici ucuna ait geometri (pahlı ve radyuslu)



Şekil 3.8. SPMT 120408-D 51 kesici ucuna ait geometri (sadece radyuslu)

### 3.3.4. Frezelemede Kesme Hızı ve İlerleme

Kesme hızı, kesme esnasında kesici takımın dönen iş parçası üzerinden dakikada metre cinsinden aldığı yol olarak ifade edilir. Frezelemede kesme hızı kesici takımın çapına göre verilir. Uygun kesme hızının seçiminin optimum ve ideal kesme şartlarının belirlenmesinde önemli bir faktör olduğu açıktır. Kesme hızı oldukça düşükse çok az sayıda parça üretilecek, takım ucunda talaş sıvanması - yapışması meydana gelebilecek ve takım değişikliğine neden olacaktır. Eğer kesme hızı çok yüksekse, takım hızla bozulacak ve sıkça takım değişikliğine gidilecek. Bu nedenlerden dolayı herhangi bir talaş kaldırma işlemi için optimum kesme hızı, kesici takım ömrü ve talaş kaldırma miktarını dengeleyecek şekilde seçilmelidir. En iyi ilerleme miktarı ve talaş derinliği düşünüldüğü zaman, her zaman mümkün olan en derin talaş ve en hızlı ilerleme miktarı seçilir, çünkü bunlar takım ömrünü kesme hızından daha az oranda azaltacaktır. Optimum ilerleme miktarı, kesici takım ömrünü ve talaş kaldırma miktarını dengelemelidir [1].

Kesme hızı, ilerleme miktarı ve talaş derinliği seçilirken aşağıdaki kriterler göz önüne alınarak maksimum önceliğe göre tercih edilmelidir.

- 1- Üretim süresinin minimuma indirilmesi,
- 2- Kesici ömrünün maksimum yapılması,
- 3- En küçük ölçüsel hassasiyetin sağlanması,
- 4- En mükemmel yüzey pürüzlülüğünün elde edilmesi,

- 5- Bir defada kaldırılacak talaş miktarının maksimum olması,
- 6- Kesici kırılmalarının en aza indirilmesi,
- 7- Kesintisiz en güzel işlemin oluşturulması,
- 8- Tezgâhta meydana gelebilecek aşınma ve titreşimlerin en aza indirilmesi,
- 9- Birim maliyetinin minimuma indirilmesi [41].

### Frezelemede 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.

$$V = \pi \times D \times N / 1000 \quad (3.1)$$

Burada;

V = Kesme hızı (m/dak.)

N = Devir sayısı (dev/dak.)

D = Freze takımının çapı (mm)

Kesme hızı değerleri, genellikle kataloglarından seçilmektedir. Kesme hızının seçimi takım ömrü ve işleme zamanı açısından önemlidir. Kesici takım düşük kesme hızlarında kullanıldığında işleme süresi artmasından dolayı zaman kaybı oluşmaktadır. Ayrıca yüksek kesme hızı seçilmesinde 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:

- 1- İş parçası malzemesi
- 2- Kesici takım malzemesi
- 3- Takım çapı
- 4- Gerekli bitirme yüzeyi kalitesi

- 5- Talaş derinliği  
 6- Tezgâh ve bağlama elemanlarının rijitlik faktörleri dikkate alınmaktadır [42].

### Frezelemede İlerleme

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.

$$F = F_z \times Z \times N \quad (3.2)$$

Burada;

F = İlerleme hızı, mm/dak.

$F_z$  = Ağız başına ilerleme, mm/ağız

Z = Frezenin kesici diş sayısı, adet

N = Devir sayısı, dev/dak.

Ağız başına ilerleme ( $F_z$ , mm / ağız) frezeleme işleminde önemli bir büyüklüktür. Freze çakısı çok uçlu bir takımdır, dolayısıyla her ucun yeterli bir talaş kaldırabilmesi için uygun bir ilerleme değerine gereksinimi vardır. Ağız 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 [43].

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 kırılacaktır [42].

### Frezelemede Talaş Derinliği

Talaş derinliği, takımın iş parçası içine dikey olarak aldığı yoldur. Genellikle, “ $a_p$ ” ile gösterilir. Talaş derinliğinin uygun seçilmemesi işleme zamanını ve maliyeti

etkilemektedir. Talaş derinliğinin yeterli verilmemesi durumunda, işlemi tamamlamak için birden fazla paso gerekecek ve dolayısıyla bu da daha fazla zaman kaybına neden olacaktır [37].

### 3.4. Yüzey Pürüzlülüğü

Talaşlı imalat sırasında iş parçasında istenmeyen izler oluşur. İşleme metodu, kesicinin cinsi, işlenen malzeme ve kesme parametreleri, fiziksel, kimyasal ve ısı faktörleri ile kesen ve kesilen arasındaki mekanik hareketlere bağlı olarak, nominal yüzey çizgisinin altında ve üstünde düzensiz sapmalar meydana getiren bu duruma yüzey pürüzlülüğü denir [44].

İşleme metodu ne olursa olsun talaş kaldırılan yüzeylerde belli bir yüzey pürüzlülüğünün oluşması kaçınılmazdır. Farklı metodlarla işlenen aynı malzemelerin yüzey pürüzlülükleri sayısal değer olarak aynı olmasına rağmen bazen bunların aşınma, korozyon, sürtünme ve yorulma dirençlerinin farklı oldukları bilinmektedir. Çünkü yüzeydeki işleme izlerinin yönleri ve dağılımları da performansı etkiler. Bu nedenle işlenecek parçaların bazılarında yüzey pürüzlülük değerinin yanında işleme metodunun da belirtilmesi istenir [45].

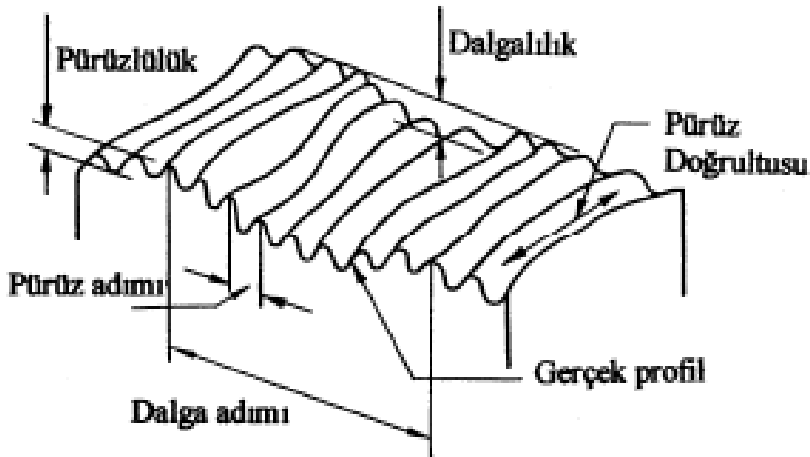
Talaşlı imalatta üretilen parçalar gözle incelendiği zaman yüzey her ne kadar düz gibi görünse de gerçekte parça yüzeyindeki gerçek sürtünme alanı parça alanından daha az olmaktadır. Ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) gereksinimi yaklaşık olarak 1,6  $\mu\text{m}$ 'yi geçtiği durumlarda çoğu zaman imalatçılar yüzey pürüzlülüğü ölçmekten çok görsel kontrolü seçerler. Yüzey pürüzlülüğünün çok önemli olduğu durumlarda yüzey pürüzlülüğü kalite kontrolü gerekir. Bunun için uluslararası yüzey pürüzlülük standartları belirlenmiştir. Ülkemizde TS 2040 nolu yayınla yüzey kaliteleri bir standarda bağlanmıştır. Daha sonra bunu TS 2495, TS 971, TS 2578, TS 6956 ve TS 930 standartları izlemiştir [46].

Talaş kaldırma ile işlenen yüzeylerde, dalga ve pürüzlülük olmak üzere iki türlü yüzey sapması meydana gelir. 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 [1].

### 3.4.1. Yüzey Yapısının Özellikleri

Bir yüzey yapısının kontrolünde yorulma ömrü, yataklık etme özelliği ve aşınma önemli faktörlerdir. İşlenen yüzeylerde dalgalılık ve pürüzlülük olmak üzere iki tip yüzey sapması meydana gelir. Dalgalılık yüzeyin geometrik şeklini karakterize ederken, pürüzlülük yüzey kalitesini tayin eder. Yüzey pürüzlülüğü standartlara göre yüzeye dik olan bir kesitte, belirli bir numune uzunluğu boyunca, belirli bir referans profiline ve profil ortalama çizgisine göre tayin edilir. Referans profil olarak genellikle geometrik profil alınır. Profil ortalama çizgisinin yeri, bu çizginin üstünde ve altında kalan alanların toplamı birbirine eşit olacak şekilde belirlenir. Düz bir yüzey denildiğinde dalgasız, pürüzsüz denildiğinde dalgalı, fakat gözle bakıldığında veya tırnakla kontrol edildiğinde, pürüzlülükleri fark edilemeyen yüzeyler anlatılmak istenir. Doğrultu, yüzey pürüzlerinin referans alınan bir alın yüzeyine göre durumunu belirler. Yüzey geometrileri, işleme metoduna bağlı olarak değişir. Şekil 3.6'da işlenmiş bir yüzey geometrisi görülmektedir [37].



Şekil 3.9. İşlenmiş bir yüzeyin yüzey karakteri [37]

### 3.4.2. Yüzey Pürüzlülüğünün Önemli Olduğu Durumlar

Yüzey pürüzlülüğü birçok alanda önemli bir parametredir. Bunların bazıları;

- 1- Sürtünmeli yataklar
- 2- Korozyon ortamında çalışan parçalar
- 3- Yuvarlanmalı yataklar
- 4- Boyanmış ve kaplanmış yüzeyler
- 5- Sızdırmazlık yüzeyleri
- 6- Plastik enjeksiyon kalıp yüzeyleri
- 7- Masterlar [45]

### 3.4.3. Yüzey Pürüzlülüğüne Etki Eden Faktörler

Talaşlı imalat esnasında yüzey pürüzlülüğüne etki eden parametreler şunlardır:

- 1- Takım tezgâhının rijitlik durumu
- 2- Yataklama sisteminden kaynaklanan hatalar
- 3- Takım tutucusunun rijitlik durumu
- 4- Takım aşınmasının etkileri
- 5- Takım geometrisi
- 6- Kesme parametreleri
- 7- Malzemenin mekanik özellikleri
- 8- Soğutma sıvısının etkileri [45]

### 3.4.4. Yüzey Pürüzlülüğünü Ölçen Cihazlar ve Teknikleri

Yüzey pürüzlülüğünü değerlendirmek amacıyla pek çok cihaz ve teknik kullanılır.

Mühendislik açısından en önemlileri;

- 1- Elektriksel çalışan sivri uçlu cihazlar.
- 2- Dokunarak yüzeyin değerlendirildiği mekanik çalışan cihazlar.

- 3- Değişik tipli ışık interferans mikroskopları.
- 4- Yüzey kopyaları elde etmedir.

Bu metotlardan 1 ve 2 no'lu metotlar yüzey üzerinde bir dizi profil gösteren metotlardır. Genel olarak kullanılan yüzey ölçüm cihazlarını 9 başlık altında toplaya biliriz. Bunlar;

- 1- Elektriksel sivri uçlu cihazlar
- 2- E- göbek tipli cihaz
- 3- Bobin tipli cihaz
- 4- Piezoelektrik kristalli cihaz
- 5- Dokunarak yüzey değerlendirme
- 6- Mekanik çalışan cihazlar
- 7- Kadranlı derinlik cihazı
- 8- Işık interferans mikroskopları ile yüzey pürüzlülüğü ölçümü
- 9- Yüzey kopyalama ile yüzey değerlendirmedir [47].

### **3.5. Frezeleme İşleminde Oluşan Kuvvetler**

Frezeleme işlemlerinde oluşan kuvvetler; frezeleme yöntemi, kesici takım ve iş parçası malzemesi, takım ve iş parçası geometrisi, iş mili sehimi, kesici kenarlar arası mesafe, eğim açısı, ilerleme miktarı, kesme derinliği ve aşınma gibi faktörlere bağlıdır [19].

Frezelemede, talaş kaldırma sürecinde oluşan kesme kuvvetleri değişkenlik gösterir. Bu nedenle, pratikte hesapları kolaylaştırmak için ortalama talaş kesitine karşılık gelen ortalama kesme kuvvetleri alınır. Frezelemede genellikle aynı anda birden çok kesici uç talaş kaldırdığından kuvvetler, bir kesici uca karşılık gelen ortalama talaş kaldırma kuvveti ( $F_{zz}$ ) ve onun bileşenleri; ortalama kesme kuvveti ( $F_{cz}$ ), ortalama radyal kuvvet ( $F_{rz}$ ) ve ortalama ilerleme kuvveti ( $F_{fz}$ ) olarak ifade edilirler.

Aynı anda parçadan talaş kaldıran kesici uç sayısı;

$$Z_e = Z \times \phi_s / 360 \quad (3.3)$$

tüm frezeze (kesici takıma) ait ortalama kesme kuvvetleri;

$$F_c = Z_e \times F_{cz} \quad (3.4)$$

$$F_f = Z_e \times F_{fz} \quad (3.5)$$

$$F_r = Z_e \times F_{rz} \quad (3.6)$$

bağıntıları ile bulunur.

Helisel silindirik frezelemede  $F_c$ ,  $F_r$ ,  $F_f$  kuvvetlerine ek olarak aksenal kuvvet ( $F_a$ ) meydana gelir. Aksenal kuvvet;

$$F_a = F_c \times \tan \lambda \quad (3.7)$$

ile ifade edilir. Düz silindirik frezelerde aksenal kuvvet oluşmaz. Alın frezelemede kesme kuvvetlerinin durumu Şekil 3.10.' da görülmektedir. Kesici uca dik olarak alınan N-N kesitindeki ortalama talaş kaldırma kuvvetinin ( $F_z$ ) bileşenleri, ortalama kesme kuvveti ( $F_c$ ) ve normal kuvvettir ( $F_n$ ).  $F_n$  normal kuvvetin bileşenleri ise ilerleme kuvveti ( $F_f$ ) ve radyal kuvvettir ( $F_r$ ). Burada bir kesici uca karşılık gelen ortalama kesme kuvveti ( $F_{cz}$ );

$$F_{cz} = A_s \times k_s = B \times hm \times K_s \quad (3.8)$$

ve kesici takıma karşılık gelen toplam ortalama kesme kuvveti ( $F_s$ );

$$F_c = Z_e \times F_{cz} = Z_e \times B \times hm \times K_s \quad (3.9)$$

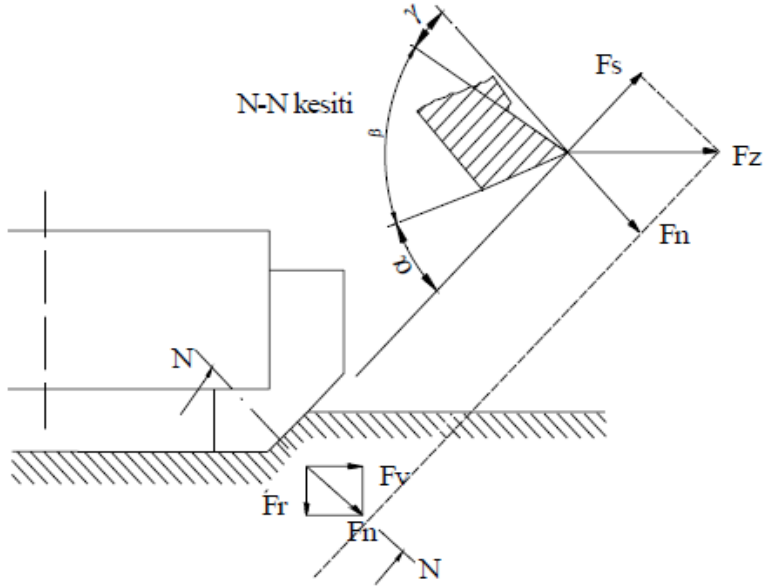
bağıntıları ile bulunur.

Burada;

$Z_e$  : Aynı anda talaş kaldıran kesici uç sayısı,

$B$  : Kesme genişliği,

hm : Ortalama talaş kalınlığı,  
 Ks : Özgül kesme kuvveti' dir.



Şekil 3.10. Alın frezelemede oluşan kuvvetler

Simetrik frezelemede;

$$F_f = (0,3 \dots 0,4) F_c \quad (3.10)$$

$$F_r = (0,85 \dots 0,95) F_c \quad (3.11)$$

$$F_a = (0,5 \dots 0,55) F_c \quad (3.12)$$

Zıt yönlü asimetric frezelemede;

$$F_f = (0,6 \dots 0,9) F_c \quad (3.13)$$

$$F_r = (0,45 \dots 0,7) F_c \quad (3.14)$$

$$F_a = (0,5 \dots 0,55) F_c \quad (3.15)$$

Aynı yönlü asimetric frezelemede;

$$F_f = (0,15 \dots 0,3) F_c \quad (3.16)$$

$$F_r = (0,9 \dots 1) F_c \quad (3.17)$$

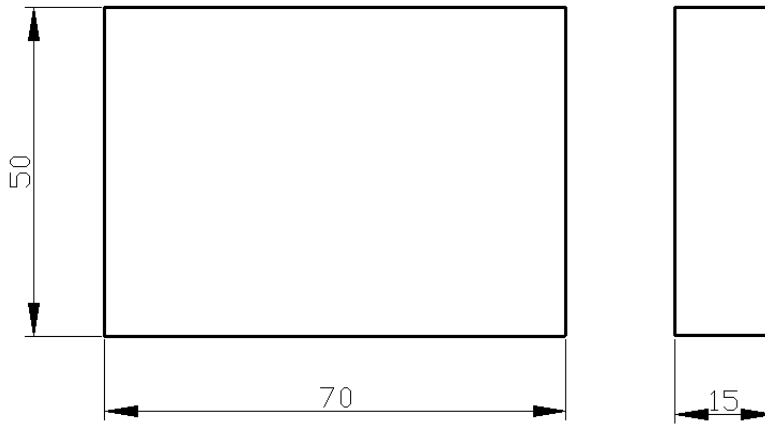
$$F_a = (0,5 \dots 0,55) F_c \quad (3.18)$$

Teorik hesaplamalarda, ortalama radyal kuvvet ( $F_r$ ) ve ortalama ilerleme kuvveti ( $F_f$ ) deneylere dayanan yukarıdaki bağıntılara göre bulunabilir [1].

## 4. MATERYAL VE METOD

### 4.1. Deney Numuneleri

Yapılan çalışmada, makina imalat alanında çok fazla kullanım alanı olan AISI 1040 imalat çeliği kullanılmıştır. Bu numunelerin ölçü/boyutları Şekil 4.1’de verilmiştir. Deneylerde toplam altı blok deney numunesi kullanılmış ve her bir bloğun bağlanmasından ve işlenmesinden sonra bir temizleme pasosu alınmıştır. Deney malzemesi olarak seçilen AISI 1040 çelik malzemenin mekanik ve kimyasal özellikleri Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.1. Deney numunesi boyutları

Çizelge 4.1. AISI 1040 çelik malzemesinin mekanik özellikleri

Çekme Mukavemeti (MPa)	Akma Mukavemeti (MPa)	Kesme Mukavemeti (MPa)	Elastiklik Modülü (MPa)	Yüzde Uzama (%)	Sertlik (HB)
600	361	410	190-210	25	190

Çizelge 4.2. AISI 1040 çelik malzemenin kimyasal bileşimi (%)

Karbon (C)	Mangan (Mn)	Fosfor (P)	Kükürt (S)
0,38-0,40	0,69	0,017	0,04-0,05

## 4.2. Takım Tezgahı

Deneyleyler, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Talaşlı Üretim Anabilim Dalı CNC laboratuvarında bulunan, Fanuc kontrol ünitesi kullanan, 7.5 kW güce sahip Johnford VMC-550 BSD dik işleme merkezinde yapılmıştır. Kullanılan takım tezgâhının bazı özellikleri Çizelge 4.3.'te verilmiştir.

Çizelge 4.3. Kullanılan CNC dik işleme merkezinin özellikleri

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

## 4.3. Kesici Takımlar

Deneyleylerde, WALTER firması tarafından üretilen, SPMT 1204 AEN, SPMW 1204 AEN-A 57 ve SPMT 120408-D 51 tipi kaplamasız karbür kesici takımlar kullanılmıştır. Bu kesici takımlar iyi aşınma direncine sahip olup yüksek kesme hızlarında veya zor kesme şartlarında kullanılmaktadır. Çizelge 4.4 ve Şekil 4.2'de kullanılan kesici takımların geometrileri ve boyutları verilmiştir.

Çizelge 4.4. Kesici Takımların Boyutları

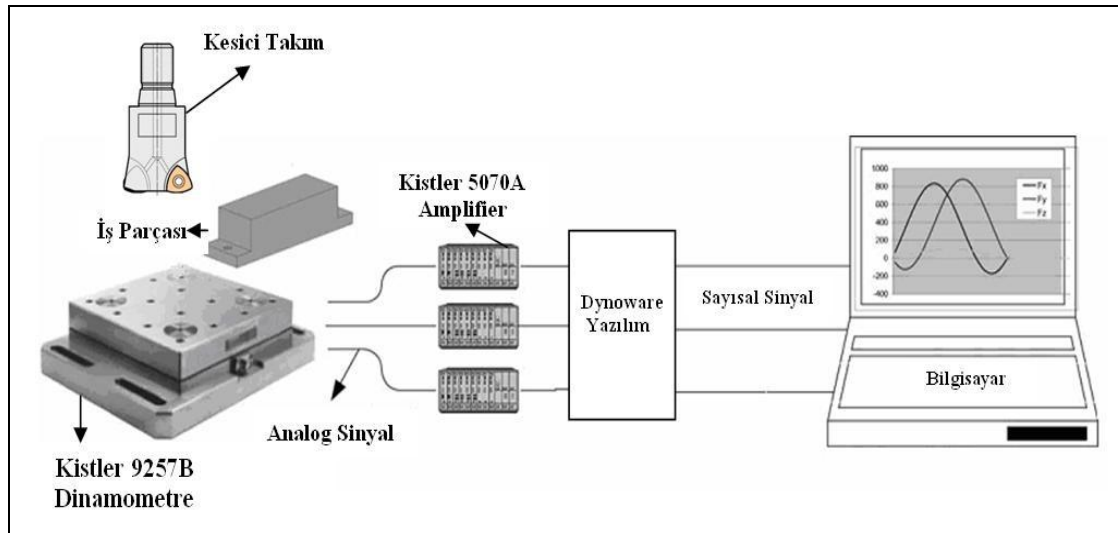
Açıklama	Tolerans Sınıfı	Kesici Köşe Sayısı	l mm	s mm	$\alpha^\circ$	r mm	b mm
SPMT 1204 AEN	M	4	12,7	4,76	11°	-	1,4
SPMW 1204 AEN – A 57	M	4	12,7	4,76	11°	0,5	1,4
SPMT 120408 D 51	M	4	12,7	4,76	11°	0,8	-



Resim 4.1. Deneylerde kullanılan kesici uçlar

#### 4.4. Kuvvet Ölçüm Sistemi

Deneylerden elde edilen kuvvet verileri, Şekil 4,3’de görülen deney düzeneğine bağlı dinamometre ve bu dinamometrenin üzerine bağlanan deney parçalarının işlenmesi esnasında alınmıştır.



Şekil 4.2. Deney düzeneği şematik gösterimi

Deneyler esnasında oluşan kesme kuvveti verileri Dinamometre yardımı ile alınarak Amplifier'a (yükselteç) oradan da veri okuma kartı ve program sayesinde bilgisayara

aktarılmıştır. Deneyler esnasında ve sonrasında verileri almada/ölçmede kullanılan cihaz/donanım ve özellikleri Çizelge 4.5’de verilmiştir.

Çizelge 4.5. Deneylerde kullanılan cihaz/donanım ve özellikleri

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

#### 4.5. Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Cihazı

Yüzey pürüzlülük değerlerinin ölçülmesinde ortalama yüzey pürüzlülük değeri olan Ra dikkate alınmıştır. Deneylerde MAHR-Perthometer-M1 taşınabilir yüzey pürüzlülük cihazı kullanılmıştır. Yüzey pürüzlülük cihazının özellikleri Çizelge 4.6’da verilmiştir. Örnekleme uzunluğu 8 mm alınmıştır.

Çizelge 4.6.Yüzey pürüzlülük cihazının özellikleri

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

#### 4.6. Deney Değişkenleri

Deneyler, beş kesme hızı, üç ilerleme, iki kesme derinliği ve üç farklı geometride kaplamasız karbür kesici takımlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kullanılan bu deney değişkenleri Çizelge 4.7.’de açık olarak verilmiştir.

Çizelge 4.7. Deney değişkenleri

<b>Kesme Şartı</b>	<b>Parametre/Özellik</b>
Kesici Takımlar (Kaplmalı karbür kesiciler)	SPMT 1204 AEN SPMW 1204 AEN-A57 SPMT 120408-D 51
Kesme Hızı (m/dak)	120 – 160 – 200 – 240 – 280
İlerleme Hızı (mm/dak)	0,1 – 0,15 – 0,20
Kesme Derinliği (mm)	0,5 – 1
Kesme Genişliği (mm)	15
Kesme Boyu (mm)	70
Kesici Ağız Sayısı (adet)	1
Takım Tutucu Çapları (mm)	Ø 25
Kesme Yöntemi	Simetrik alın frezeleme

## 5. DENEYSEL SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Yapılan deneylerde kesme kuvvetlerini ve yüzey pürüzlülüğünü belirlemek için her bir deney şartında kuvvet ve pürüzlülük değerleri ölçülerek kaydedilmiştir. Kuvvet değerleri; frezeleme işlemlerinde kesicinin yönü anlık olarak değiştiği için  $F_x$  ve  $F_y$  değerlerinin bileşkesi alınarak esas kesme kuvvet,  $F_c$  değerleri elde edilmiş ve bu veriler ayrı ayrı değerlendirilmiştir.  $F_z$  yönünde oluşan kesme kuvvetleri daha küçük olduğu için bu yöndeki kuvvetler değerlendirilmemiştir. Yüzey pürüzlülükleri değerlendirilmesinde ise her deney sonrasında işlenen yüzeyden beş ölçüm alınarak en düşük ve en yüksek değerler dikkate alınmadan üç ölçümün aritmetik ortalaması alınarak ortalama yüzey pürüzlülük ( $R_a$ ) grafikleri oluşturulmuştur. Çizelge 5.1, Çizelge 5.2 ve Çizelge 5.3'te deneylerde elde edilen kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülük değerleri her bir kesici takım için ayrı ayrı verilmiştir.

Çizelge 5.1. SPMT 1204 AEN kesicisine ait deney veri tablosu

DENEY NO	DERİNLİK; ap (mm)	İlerleme; f (mm/diş)	Kesme Hızı; Vc (m/dak)	İlerleme; f (mm/dak)	Devir; S (dev/dak)	Ra ort. (µm)	Kesme Kuvveti; Fc=Fx+Fy (N)
1	0,5	0,1	120	152,7	1527,3	2,420	321,83
2			160	203,6	2036,4	0,970	373,22
3			200	254,5	2545,5	0,946	382,87
4			240	305,5	3054,5	0,304	404,55
5			280	356,4	3563,6	0,352	410,41
6		0,15	120	229,1	1527,3	2,478	437,35
7			160	305,5	2036,4	1,002	450,00
8			200	381,8	2545,5	0,960	443,89
9			240	458,2	3054,5	0,550	458,65
10			280	534,5	3563,6	0,387	487,73
11		0,2	120	305,5	1527,3	2,580	484,60
12			160	407,3	2036,4	1,157	535,57
13			200	509,1	2545,5	1,014	535,18
14			240	610,9	3054,5	0,619	556,42
15			280	712,7	3563,6	0,419	573,00
16	1	0,1	120	152,7	1527,3	1,670	559,01
17			160	203,6	2036,4	0,876	594,25
18			200	254,5	2545,5	0,554	683,76
19			240	305,5	3054,5	0,359	689,44
20			280	356,4	3563,6	0,389	710,00
21		0,15	120	229,1	1527,3	1,744	651,34
22			160	305,5	2036,4	1,038	713,39
23			200	381,8	2545,5	0,609	789,31
24			240	458,2	3054,5	0,440	788,20
25			280	534,5	3563,6	0,420	872,72
26		0,2	120	305,5	1527,3	1,943	723,35
27			160	407,3	2036,4	1,270	810,00
28			200	509,1	2545,5	0,818	832,15
29			240	610,9	3054,5	0,700	868,84
30			280	712,7	3563,6	0,590	960,36

Çizelge 5.2. SPMW 1204 AEN-A57 kesicisine ait deney veri tablosu

DENEY NO	DERİNLİK ; ap (mm)	İlerleme ; f (mm/diş )	Kesme Hızı; Vc (m/dak)	İlerleme; f (mm/dak)	Devir; S (dev/dak)	Ra ort. (µm)	Kesme Kuvveti; Fc=Fx+Fy (N)
31	0,5	0,1	120	152,7	1527,3	2,602	408,99
32			160	203,6	2036,4	1,582	457,28
33			200	254,5	2545,5	1,121	466,08
34			240	305,5	3054,5	0,901	474,00
35			280	356,4	3563,6	0,496	510,85
36		0,15	120	229,1	1527,3	2,676	476,57
37			160	305,5	2036,4	1,765	513,42
38			200	381,8	2545,5	1,196	569,47
39			240	458,2	3054,5	1,107	586,00
40			280	534,5	3563,6	0,797	598,00
41		0,2	120	305,5	1527,3	2,795	548,31
42			160	407,3	2036,4	1,892	597,66
43			200	509,1	2545,5	1,232	678,62
44			240	610,9	3054,5	1,479	686,03
45			280	712,7	3563,6	1,643	700,00
46	1	0,1	120	152,7	1527,3	2,277	696,85
47			160	203,6	2036,4	1,470	738,06
48			200	254,5	2545,5	1,243	771,94
49			240	305,5	3054,5	0,872	770,00
50			280	356,4	3563,6	1,200	791,62
51		0,15	120	229,1	1527,3	2,432	772,86
52			160	305,5	2036,4	1,487	857,92
53			200	381,8	2545,5	1,292	920,90
54			240	458,2	3054,5	0,958	953,32
55			280	534,5	3563,6	1,164	1054,65
56		0,2	120	305,5	1527,3	2,461	870,00
57			160	407,3	2036,4	1,853	973,21
58			200	509,1	2545,5	1,293	1064,48
59			240	610,9	3054,5	1,780	1080,00
60			280	712,7	3563,6	1,651	1147,96

Çizelge 5.3. SPMT 120408-D51 kesicisine ait deney veri tablosu

DENEY NO	DERİNLİK; ap (mm)	İlerleme; f (mm/diş)	Kesme Hızı; Vc (m/dak)	İlerleme; f (mm/dak)	Devir; S(dev/dak)	Ra ort. (µm)	Kesme Kuvveti; Fc=Fx+Fy (N)
61	0,5	0,1	120	152,7	1527,3	2,512	361,87
62			160	203,6	2036,4	1,220	380,00
63			200	254,5	2545,5	1,160	415,76
64			240	305,5	3054,5	0,680	444,34
65			280	356,4	3563,6	0,439	450,00
66		0,15	120	229,1	1527,3	2,631	442,00
67			160	305,5	2036,4	1,264	480,46
68			200	381,8	2545,5	1,183	481,95
69			240	458,2	3054,5	0,911	500,00
70			280	534,5	3563,6	0,495	497,95
71		0,2	120	305,5	1527,3	2,690	514,99
72			160	407,3	2036,4	1,470	575,00
73			200	509,1	2545,5	1,130	613,62
74			240	610,9	3054,5	1,148	627,08
75			280	712,7	3563,6	0,925	630,26
76	1	0,1	120	152,7	1527,3	1,984	623,78
77			160	203,6	2036,4	1,201	665,08
78			200	254,5	2545,5	0,944	717,33
79			240	305,5	3054,5	0,495	719,00
80			280	356,4	3563,6	0,535	737,24
81		0,15	120	229,1	1527,3	2,133	730,12
82			160	305,5	2036,4	1,270	813,69
83			200	381,8	2545,5	0,982	854,85
84			240	458,2	3054,5	0,887	897,19
85			280	534,5	3563,6	0,739	914,42
86		0,2	120	305,5	1527,3	2,180	851,38
87			160	407,3	2036,4	1,718	914,10
88			200	509,1	2545,5	1,188	972,60
89			240	610,9	3054,5	1,378	1017,14
90			280	712,7	3563,6	1,432	1046,44

Deneyleerde elde edilen bu veriler ışığında kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü aşağıda ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

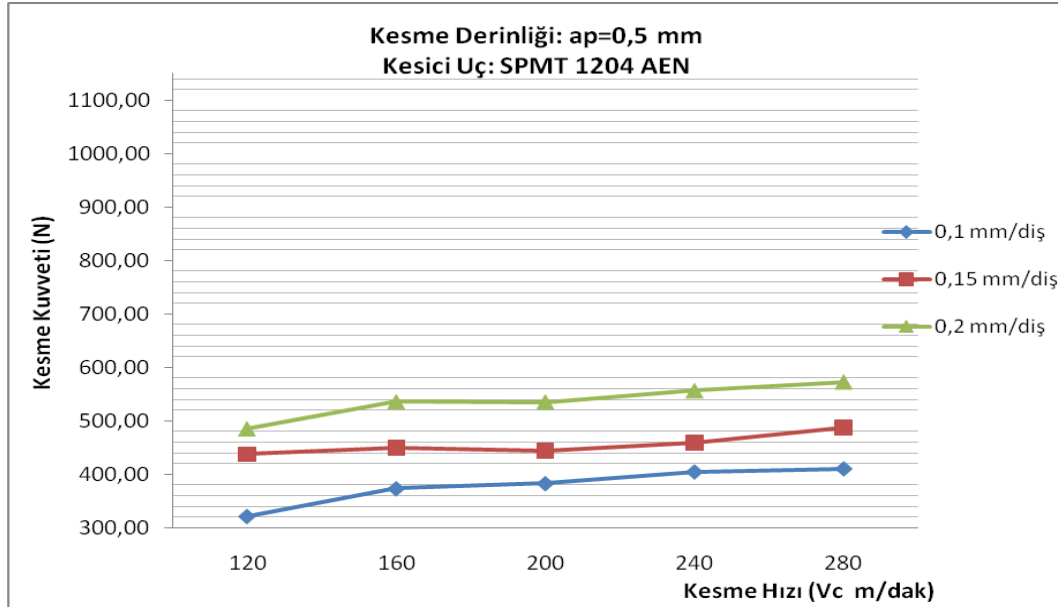
### 5.1. Kesme Kuvvetlerinin Değerlendirilmesi

Kesme kuvvetleri, her bir kesicinin 30 farklı kesme şartında ölçülmüştür.

SPMT 1204 AEN kodlu, sadece  $b=1,4$  mm pahlı freze ucu için kesme kuvvetlerinin kesme hızı ( $V_c$ ) ve ilerlemeye ( $f$ ) bağlı olarak değişimleri Çizelge 5.4. ve Şekil 5.1'de 0,5 mm kesme derinliği için, tablo ve grafik halinde verilmiştir.

Çizelge 5.4. SPMT 1204 AEN kesicisinin,  $a_p=0,5$  mm kesme derinliğinde, ilerlemeye ve kesme hızına bağlı olarak kesme kuvvetleri tablosu

KESİCİ UÇ	$f$ ; (mm/diş)	$V_c$ ; (m/dak)	Kesme Kuvveti, $F_c$ ; (N)
SPMT 1204 AEN (sadece 1,4 mm pahlı)	0,1	120	321,83
		160	373,22
		200	382,87
		240	404,55
		280	410,41
	0,15	120	437,35
		160	450,00
		200	443,89
		240	458,65
		280	487,73
	0,2	120	484,60
		160	535,57
		200	535,18
		240	556,42
		280	573,00

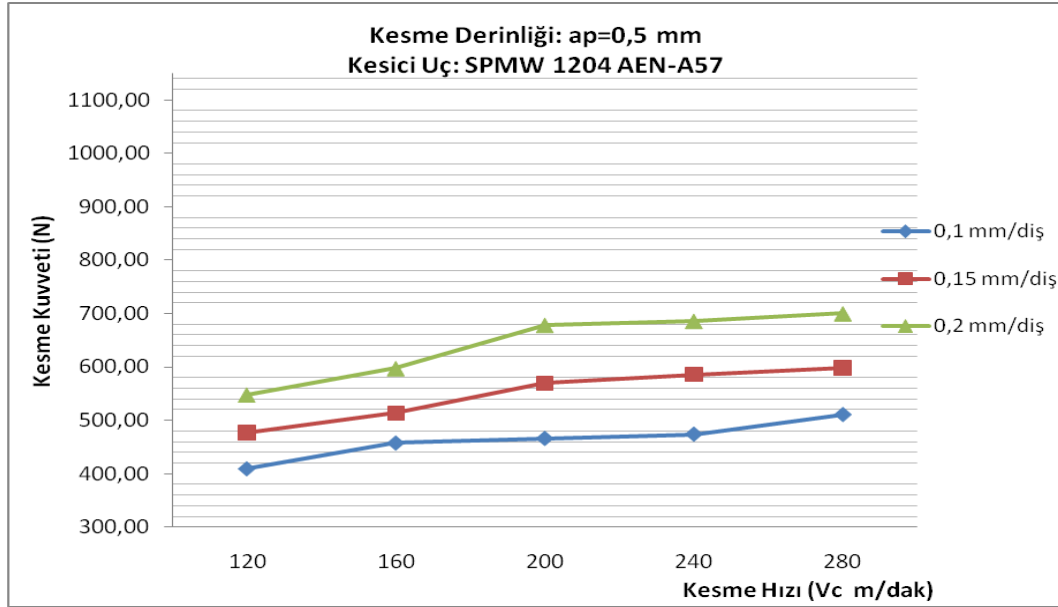


Şekil 5.1. SPMT 1204 AEN kesicisinin,  $a_p=0,5$  mm Fc-Vc grafiği

SPMW 1204 AEN-A57 kodlu,  $b=1,4$  mm pahlı ve  $r=0,4$  mm radyuslu freze ucu için kesme kuvvetlerinin kesme hızı (Vc) ve ilerlemeye (f) bağlı olarak değişimleri Çizelge 5.5. ve Şekil 5.2'de 0,5 mm kesme derinliği için, tablo ve grafik halinde verilmiştir.

Çizelge 5.5. SPMW 1204 AEN-A57 kesicisinin  $a_p=0,5$  mm kesme derinliğinde, kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak kesme kuvvetleri tablosu

KESİCİ UÇ	f;(mm/diş)	Vc; (m/dak)	Kesme Kuvveti, Fc ;(N)
SPMW 1204 AEN-A57 (1,4 mm pahlı ve 0,5 mm radiuslu)	0,1	120	408,99
		160	457,28
		200	466,08
		240	474,00
		280	510,85
	0,15	120	476,57
		160	513,42
		200	569,47
		240	586,00
		280	598,00
	0,2	120	548,31
		160	597,66
		200	678,62
		240	686,03
		280	700,00

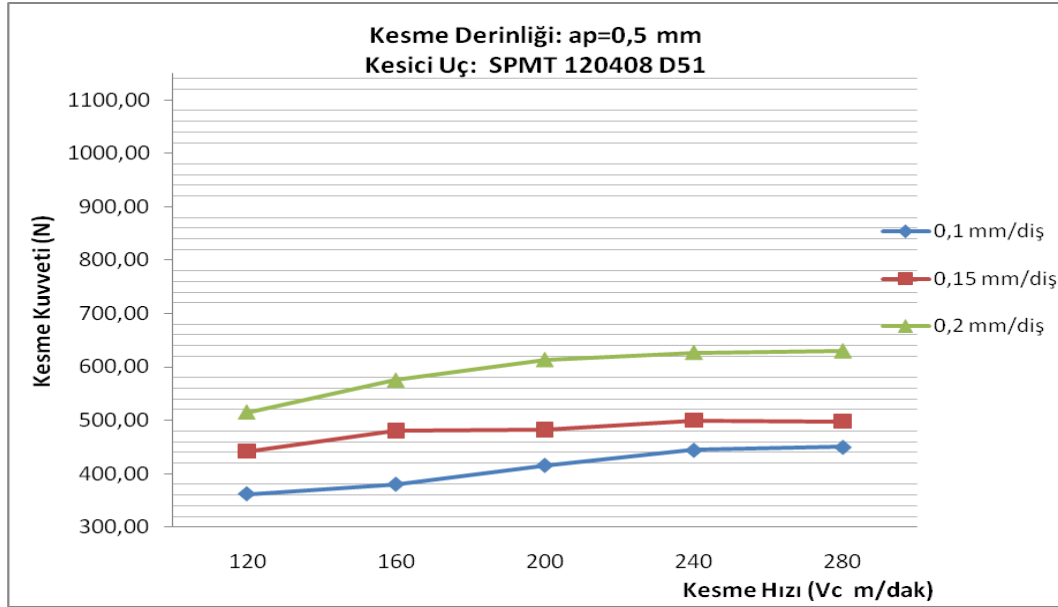


Şekil 5.2. SPMW 1204 AEN-A57 kesicisinin,  $a_p=0,5$  mm  $F_c$ - $V_c$  grafiği

SPMT 120408-D51 kodlu, sadece  $r=0,8$  mm radyuslu freze ucu için kesme kuvvetlerinin kesme hızı ( $V_c$ ) ve ilerlemeye ( $f$ ) bağlı olarak değişimleri Çizelge 5.6. ve Şekil 5.3’de  $0,5$  mm kesme derinliği için, tablo ve grafik halinde verilmiştir.

Çizelge 5.6. SPMT 120408-D51 kesicisinin  $a_p=0,5$  mm kesme derinliğinde, kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak kesme kuvvetleri tablosu

KESİCİ UÇ	$f$ ; (mm/diş)	$V_c$ ; (m/dak)	Kesme Kuvveti $F_c$ ;(N)
SPMT 120408-D51 (sadece 0,8 mm radiuslu)	0,1	120	361,87
		160	380,00
		200	415,76
		240	444,34
		280	450,00
	0,15	120	442,00
		160	480,46
		200	481,95
		240	500,00
		280	497,95
	0,2	120	514,99
		160	575,00
		200	613,62
		240	627,08
		280	630,26

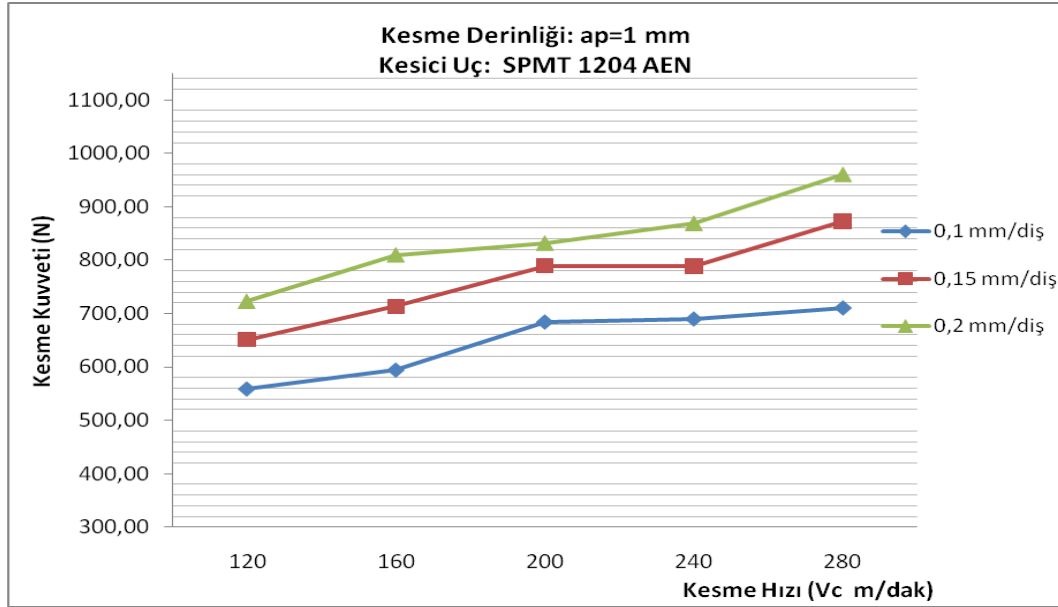


Şekil 5.3. SPMT 120408-D51 kesicisinin,  $a_p=0,5$  mm Fc-Vc grafiği

SPMT 1204 AEN kodlu, kesicinin 1 mm kesme derinliğinde kesme kuvvetlerinin kesme hızı (Vc) ve ilerlemeye (f) bağlı olarak değişimleri Çizelge 5.7. ve Şekil 5.4'de, tablo ve grafik halinde verilmiştir.

Çizelge 5.7. SPMT 1204 AEN kesicisinin  $a_p=1$  mm kesme derinliğinde, kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak kesme kuvvetleri tablosu

KESİCİ UÇ	f;(mm/diş)	Vc; (m/dak)	Kesme Kuvveti, Fc ;(N)
SPMT 1204 AEN (sadece 1,4 mm pahlı)	0,1	120	559,01
		160	594,25
		200	683,76
		240	689,44
		280	710,00
	0,15	120	651,34
		160	713,39
		200	789,31
		240	788,20
		280	872,72
	0,2	120	723,35
		160	810,00
		200	832,15
		240	868,84
		280	960,36

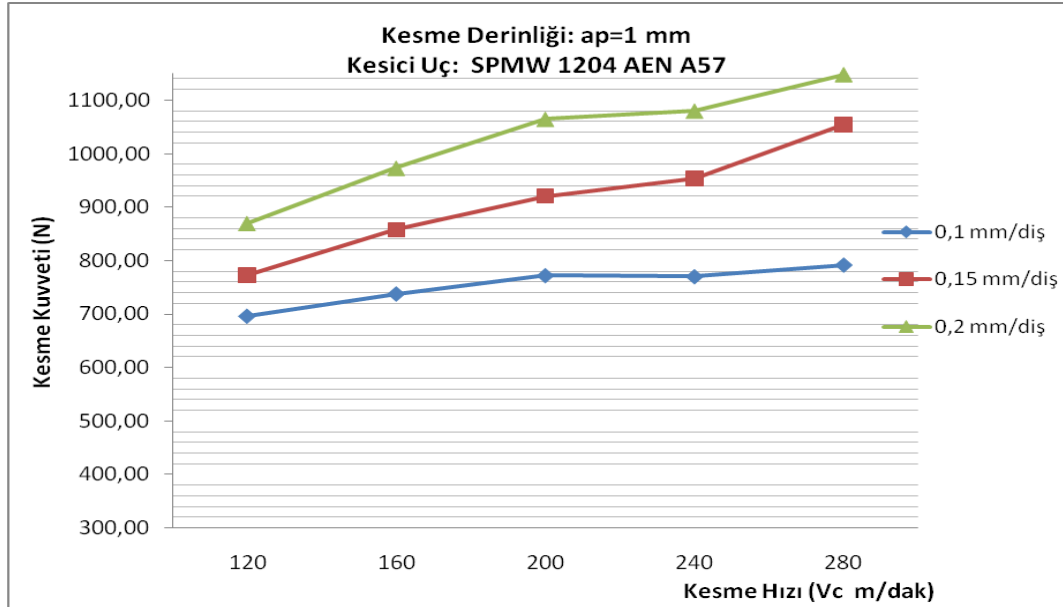


Şekil 5.4. SPMT 1204 AEN kesicisinin,  $a_p=1$  mm Fc-Vc grafiği

SPMW 1204 AEN-A57 kodlu, kesicinin 1 mm kesme derinliğinde kesme kuvvetlerinin kesme hızı (Vc) ve ilerlemeye (f) bağlı olarak değişimleri Çizelge 5.8. ve Şekil 5.5’de, tablo ve grafik halinde verilmiştir.

Çizelge 5.8. SPMW 1204 AEN-A57 kesicisinin  $a_p=1$  mm kesme derinliğinde, kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak kesme kuvvetleri tablosu

KESİCİ UÇ	$f_i$ (mm/diş)	Vc; (m/dak)	Kesme Kuvveti, Fc ;(N)
SPMW 1204 AEN-A57 (1,4 mm pahlı ve 0,5 mm radiuslu)	0,1	120	696,85
		160	738,06
		200	771,94
		240	770,00
		280	791,62
	0,15	120	772,86
		160	857,92
		200	920,90
		240	953,32
		280	1054,65
	0,2	120	870,00
		160	973,21
		200	1064,48
		240	1080,00
		280	1147,96

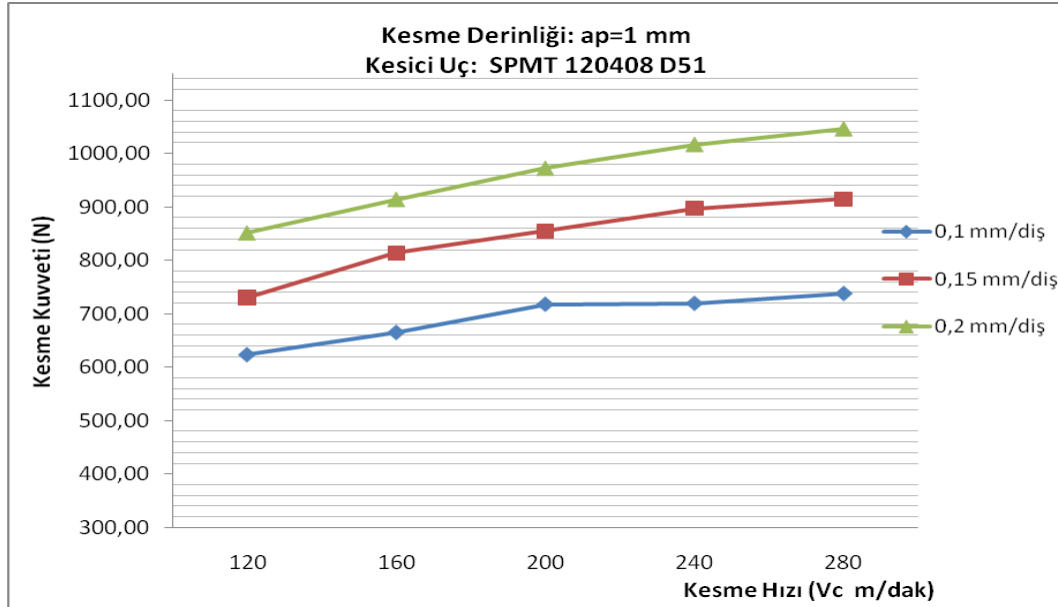


Şekil 5.5. SPMW 1204 AEN-A57 kesicisinin,  $a_p=1$  mm Fc-Vc grafiği

SPMT 120408-D51 kodlu, kesicinin 1 mm kesme derinliğinde kesme kuvvetlerinin kesme hızı (Vc) ve ilerlemeye (f) bağlı olarak değişimleri Çizelge 5.9. ve Şekil 5.6'de, tablo ve grafik halinde verilmiştir.

Çizelge 5.9. SPMT 120408-D51 kesicisinin  $a_p=1$  mm kesme derinliğinde, kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak kesme kuvvetleri tablosu

KESİCİ UÇ	f;(mm/diş)	Vc; (m/dak)	Kesme Kuvveti, Fc ;(N)
SPMT 120408 D51 (sadece 0,8 mm radiuslu)	0,1	120	623,78
		160	665,08
		200	717,33
		240	719,00
		280	737,24
	0,15	120	730,12
		160	813,69
		200	854,85
		240	897,19
		280	914,42
	0,2	120	851,38
		160	914,10
		200	972,60
		240	1017,14
		280	1046,44



şekil 5.6. SPMT 120408-D51 kesicisinin,  $a_p=1$  mm Fc-Vc grafiği

Genel olarak kesme hızlarının artması ile kesme kuvvetlerini azaldığı söylenebilir [49-51]. Ancak grafikler incelendiğinde kesme hızının artması ile tüm deneylerde kesme kuvvetleri de artmıştır. Burada, ilerleme miktarı mm/diş olarak alındığı için kesme hızındaki artış devir sayısını arttırmış bu sebeple birim zamandaki ilerleme artarak talaş hacmini artırmıştır. Birim zamandaki talaş hacminin artması da kesme kuvvetlerini artırmıştır. Yani kesme hızının artması ile ilerleme miktarları da artmıştır. İlerlemenin artması ile kesme kuvvetlerinin artması beklenen bir davranıştır.

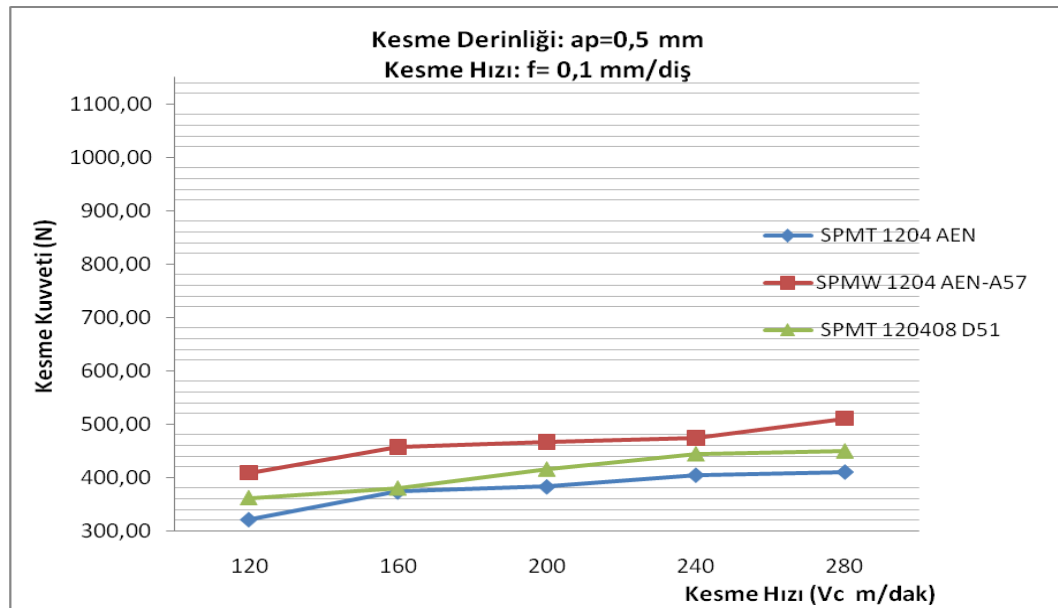
İlerleme miktarları ile kesme kuvvetlerinin etkileşimi değerlendirildiğinde; ilerleme miktarlarının, kesme kuvvetlerini ve yüzey pürüzlülüklerini etkilediği bilinmektedir [52-60]. İlerleme miktarları arttıkça kesme kuvvetlerinde de bir artış görölmektedir. Bu artış ilerleme ve talaş derinliğine bağlı olarak oluşan “talaş kesit alanı”nın kesme kuvvetini etkileyen en önemli faktör oluşu ile açıklanabilir [36-59,60]. İlerlemedeki artış ile talaş kesitinde artma olmuş ve beraberinde kesme kuvvetlerinde bir artış meydana getirmiştir.

şekil 5.1-şekil 5.6. incelendiğinde, ilerlemenin artışı ile kesme kuvvetlerinin arttığı görölmektedir. Bu artışı, ilerlemenin artması ile kaldırılan talaş hacminin artmasına

bağlamak mümkündür. Bu bağlamda, en yüksek kesme kuvvetleri ilerlemenin en büyük olduğu 0,2 mm/diş’de, en düşük kesme kuvvetleri de 0.1 mm/diş değerlerinde ortaya çıkmıştır.

Çizelge 5.10. Kesicilerin  $a_p=0,5$  mm kesme derinliği ve  $f=0,1$  mm/diş ilerlemede, kesme hızına bağlı olarak kesme kuvvetleri tablosu

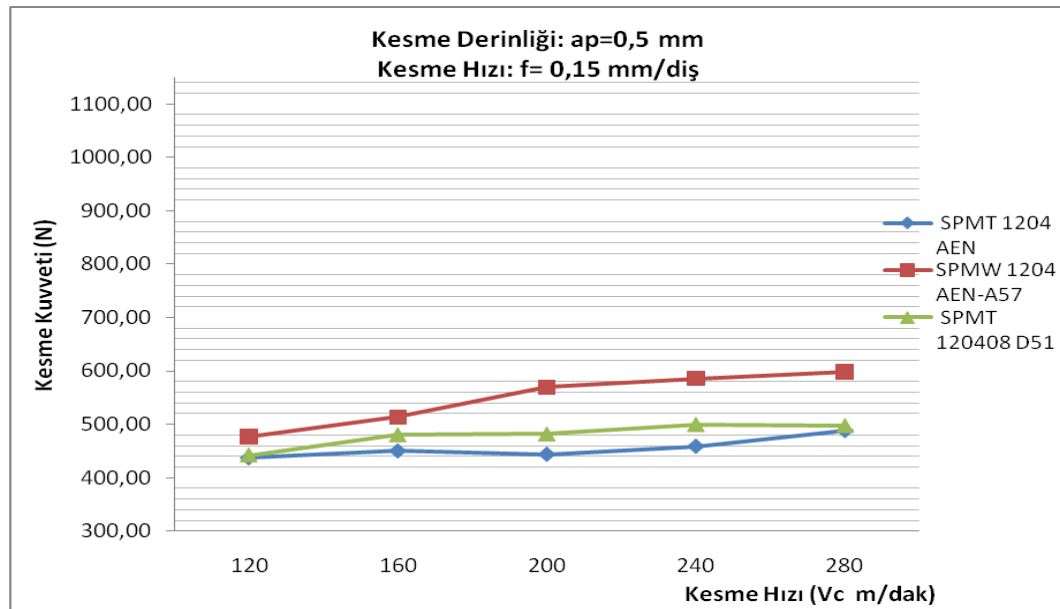
KESİCİ UÇ	Vc; (m/dak)	Kesme Kuvveti, Fc ;(N)
SPMT 1204 AEN (sadece 1,4 mm pahlı )	120	321,83
	160	373,22
	200	382,87
	240	404,55
	280	410,41
SPMW 1204 AEN-A57 (1,4 mm pahlı ve 0,5 mm radiuslu)	120	408,99
	160	457,28
	200	466,08
	240	474,00
	280	510,85
SPMT 120408 D51 (sadece 0,8 mm radiuslu)	120	361,87
	160	380,00
	200	415,76
	240	444,34
	280	450,00



Şekil 5.7. Kesicilerin  $a_p=0,5$  mm,  $f=0,1$  mm/diş ilerlemede Fc-Vc grafiği

Çizelge 5.11. Kesicilerin  $a_p=0,5$  mm kesme derinliği ve  $f=0,15$  mm/diş ilerlemede, kesme hızına bağlı olarak kesme kuvvetleri tablosu

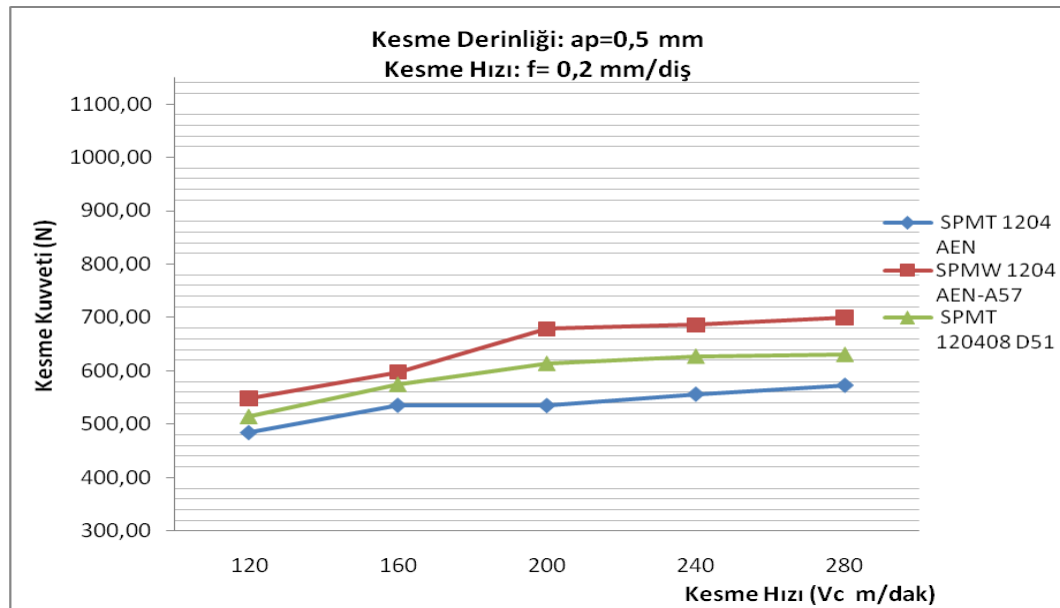
KESİCİ UÇ	Vc; (m/dak)	Kesme Kuvveti, Fc ;(N)
SPMT 1204 AEN (sadece 1,4 mm pahlı )	120	437,35
	160	450,00
	200	443,89
	240	458,65
	280	487,73
SPMW 1204 AEN-A57 (1,4 mm pahlı ve 0,5 mm radiuslu)	120	476,57
	160	513,42
	200	569,47
	240	586,00
SPMT 120408 D51 (sadece 0,8 mm radiuslu)	120	442,00
	160	480,46
	200	481,95
	240	500,00
	280	497,95



Şekil 5.8. Kesicilerin  $a_p=0,5$  mm,  $f=0,15$  mm/diş ilerlemede Fc-Vc grafiği

Çizelge 5.12. Kesicilerin  $a_p=0,5$  mm kesme derinliği ve  $f=0,2$  mm/diş ilerlemede, kesme hızına bağlı olarak kesme kuvvetleri tablosu

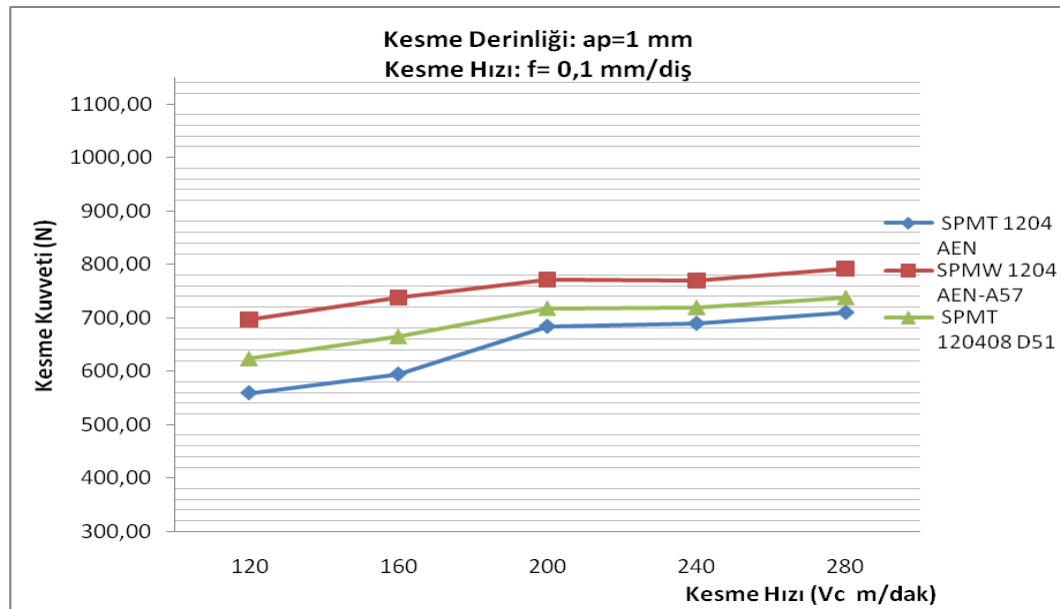
KESİCİ UÇ	Vc; (m/dak)	Kesme Kuvveti, Fc ;(N)
SPMT 1204 AEN (sadece 1,4 mm pahlı )	120	484,60
	160	535,57
	200	535,18
	240	556,42
	280	573,00
SPMW 1204 AEN-A57 (1,4 mm pahlı ve 0,5 mm radiuslu)	120	548,31
	160	597,66
	200	678,62
	240	686,03
SPMT 120408 D51 (sadece 0,8 mm radiuslu)	120	514,99
	160	575,00
	200	613,62
	240	627,08
	280	630,26



Şekil 5.9. Kesicilerin  $a_p=0,5$  mm,  $f=0,2$  mm/diş ilerlemede Fc-Vc grafiği

Çizelge 5.13. Kesicilerin  $a_p=1$  mm kesme derinliği ve  $f=0,1$  mm/diş ilerlemede, kesme hızına bağlı olarak kesme kuvvetleri tablosu

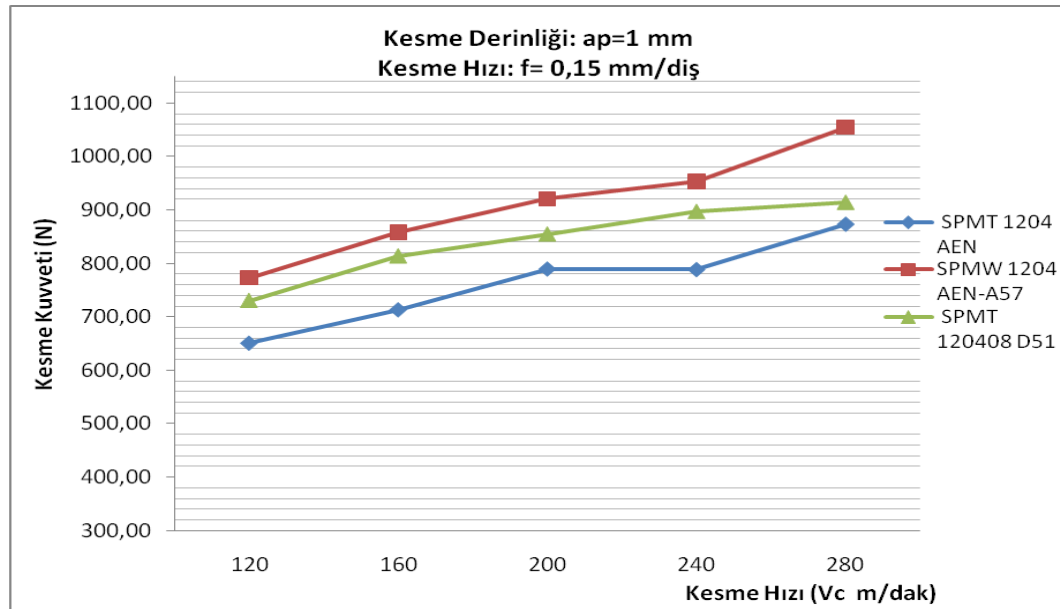
KESİCİ UÇ	Vc; (m/dak)	Kesme Kuvveti, Fc ;(N)
SPMT 1204 AEN (sadece 1,4 mm pahlı )	120	559,01
	160	594,25
	200	683,76
	240	689,44
	280	710,00
SPMW 1204 AEN-A57 (1,4 mm pahlı ve 0,5 mm radiuslu)	120	696,85
	160	738,06
	200	771,94
	240	770,00
	280	791,62
SPMT 120408 D51 (sadece 0,8 mm radiuslu)	120	623,78
	160	665,08
	200	717,33
	240	719,00
	280	737,24



Şekil 5.10. Kesicilerin  $a_p=1$  mm,  $f=0,1$  mm/diş ilerlemede Fc-Vc grafiği

Çizelge 5.14. Kesicilerin  $a_p=1$  mm kesme derinliği ve  $f=0,15$  mm/diş ilerlemede, kesme hızına bağlı olarak kesme kuvvetleri tablosu

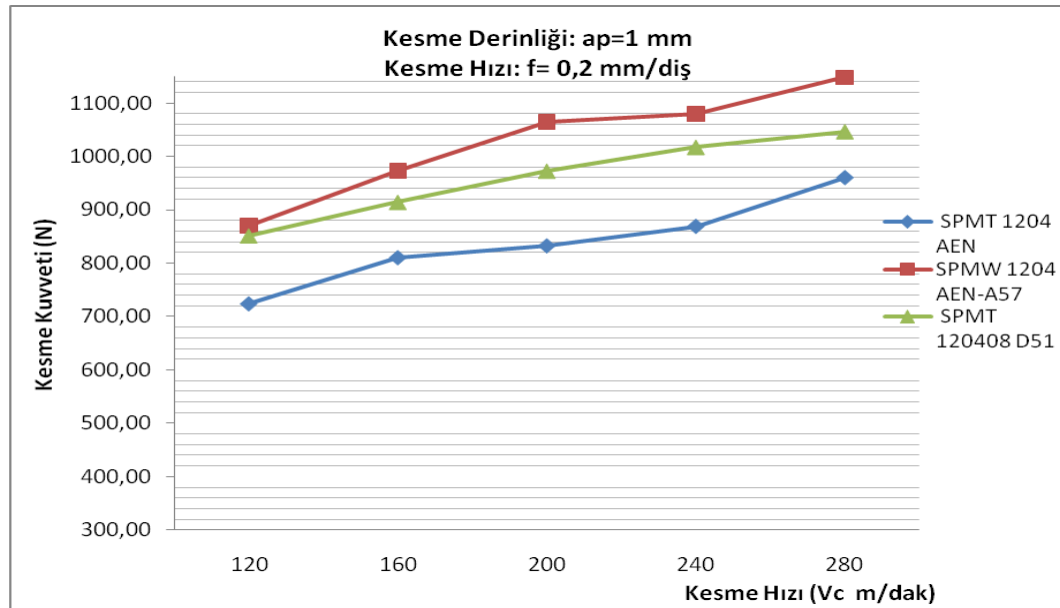
KESİCİ UÇ	Vc; (m/dak)	Kesme Kuvveti, Fc ;(N)
SPMT 1204 AEN (sadece 1,4 mm pahlı )	120	651,34
	160	713,39
	200	789,31
	240	788,20
	280	872,72
SPMW 1204 AEN-A57 (1,4 mm pahlı ve 0,5 mm radiuslu)	120	772,86
	160	857,92
	200	920,90
	240	953,32
	280	1054,65
SPMT 120408 D51 (sadece 0,8 mm radiuslu)	120	730,12
	160	813,69
	200	854,85
	240	897,19
	280	914,42



Şekil 5.11. Kesicilerin  $a_p=1$  mm,  $f=0,15$  mm/diş ilerlemede Fc-Vc grafiği

Çizelge 5.15. Kesicilerin  $a_p=1$  mm kesme derinliği ve  $f=0,2$  mm/diş ilerlemede, kesme hızına bağlı olarak kesme kuvvetleri tablosu

KESİCİ UÇ	Vc; (m/dak)	Kesme Kuvveti, Fc ;(N)
SPMT 1204 AEN (sadece 1,4 mm pahlı )	120	723,35
	160	810,00
	200	832,15
	240	868,84
	280	960,36
SPMW 1204 AEN-A57 (1,4 mm pahlı ve 0,5 mm radiuslu)	120	870,00
	160	973,21
	200	1064,48
	240	1080,00
SPMT 120408 D51 (sadece 0,8 mm radiuslu)	120	851,38
	160	914,10
	200	972,60
	240	1017,14
	280	1046,44



Şekil 5.12. Kesicilerin  $a_p=1$  mm,  $f=0,2$  mm/diş ilerlemede Fc-Vc grafiği

Şekil 5.7.-Şekil 5.12. incelendiğinde her iki kesme derinliği için de en yüksek kesme kuvvetinin; 280 m/dak kesme hızında 0,2 mm/diş ilerleme miktarında ve SPMW 1204 AEN-A57 kesici uç ile yapılan deneyde kaydedildiği görülmüştür. En düşük kesme kuvvetinin ise 120 m/dak kesme hızında, 0,1 mm/diş ilerleme miktarında ve SPMT 1204-AEN kesici uç ile yapılan deneyde olduğu görülmektedir. SPMT 120408-D51 ise ikisi arasında bir değer almıştır.

Kesme kuvvetleri genel olarak tüm şartlarda incelendiğinde, sadece “pahlı” olan kesici uç en iyi sonuçları vermiştir. “Pahlı ve radyuslu” olan kesicinin en yüksek kesme kuvvetlerini ortaya çıkardığı görülmektedir.

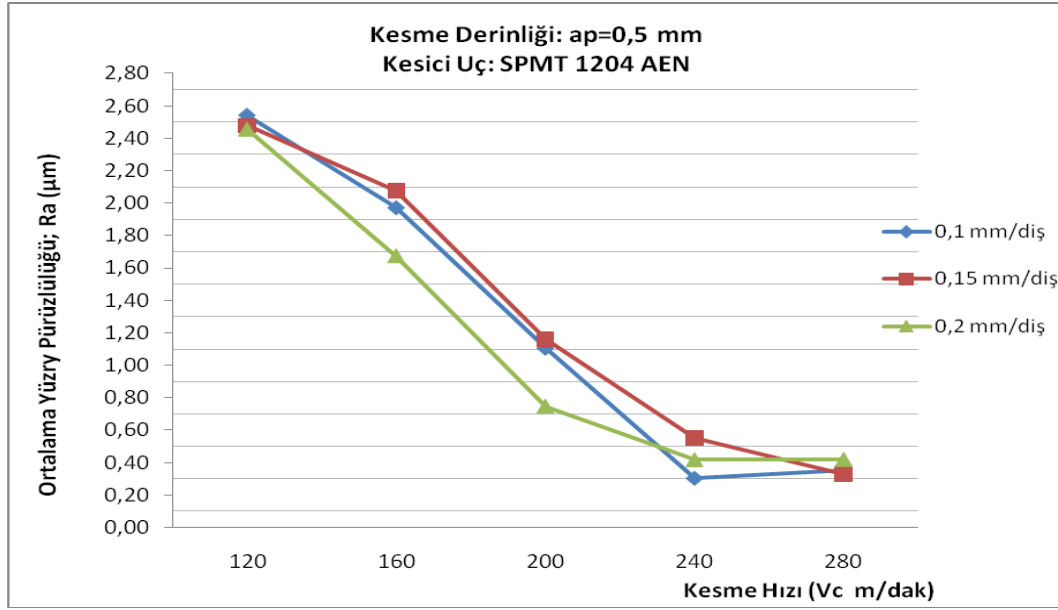
Grafikler incelendiğinde kesme derinliğinin artması ile tüm kesici takımlarda ve tüm ilerleme değerlerinde kesme kuvvetleri de belirli miktarda artış göstermektedir. Bu artışı kesme derinliğinin artması ile kaldırılan talaş hacminin artmasına bağlamak mümkündür.

Kesme kuvvetleri açısından, AISI 1040 çeliğinde yapılan işlenebilirlik deneyleri sonucunda optimum kesme hızı tüm kesiciler için 120 m/dak olarak belirlenmiştir.

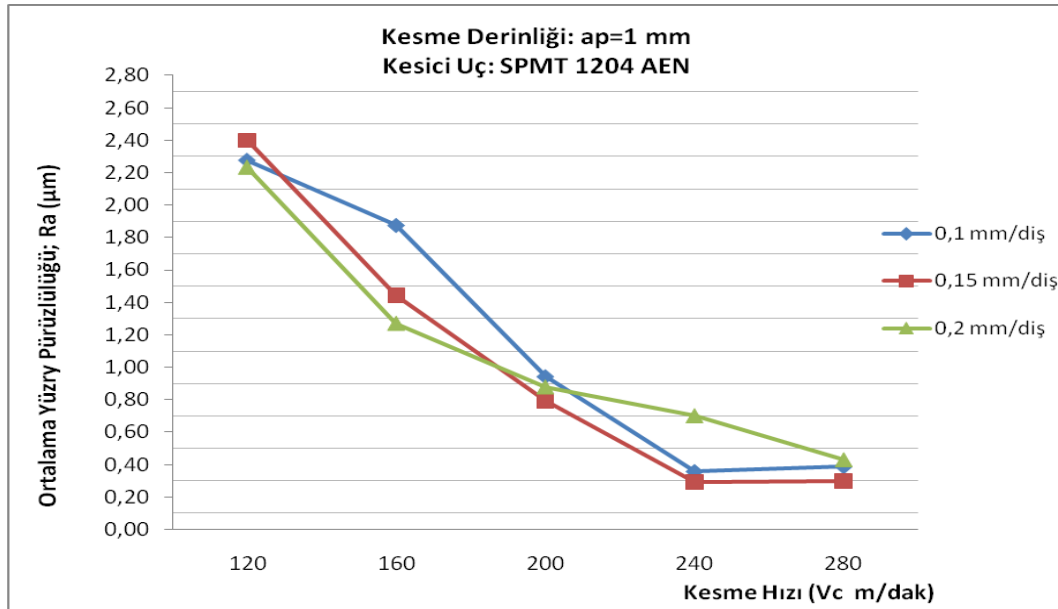
## **5.2. Yüzey Pürüzlülüğünün Değerlendirilmesi**

Yüzey pürüzlülük değerleri belirlenirken, her bir deney sonunda işlenen yüzeylerin beş farklı yerinde pürüzlülük ölçümü yapılmış, en yüksek ve en düşük değer dikkate alınmadan üç değer aritmetik ortalaması alınmıştır. Deneylerde yüzey pürüzlülüğünde ilerleme miktarının etkisinin kesme hızı ve kesme derinliğinin etkisinden daha belirgin olduğu görülmüştür. Bu bağlamda deneyler sonucu elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük (Ra) değerlerine göre tüm takımlar için ayrı ayrı grafikler oluşturulmuştur.

Farklı kesici takımlara ait kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değişimi Şekil 5.13 - Şekil 5.27’deki grafiklerde gösterilmiştir.

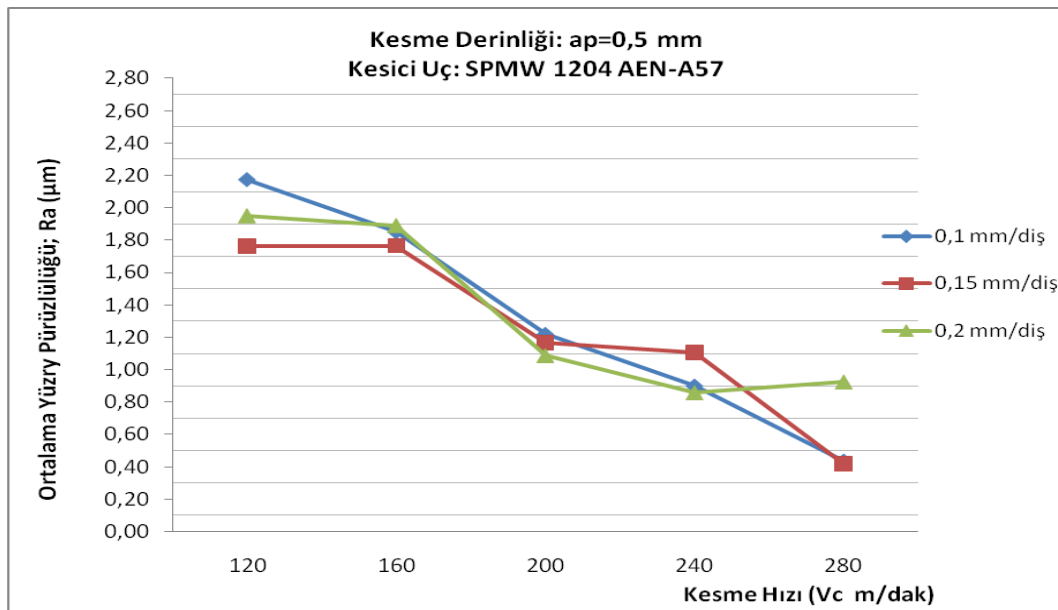


şekil 5.13. SPMT 1204 AEN kesicisinin  $a_p=0,5$  mm'de, kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak (Ra) değişim grafiği

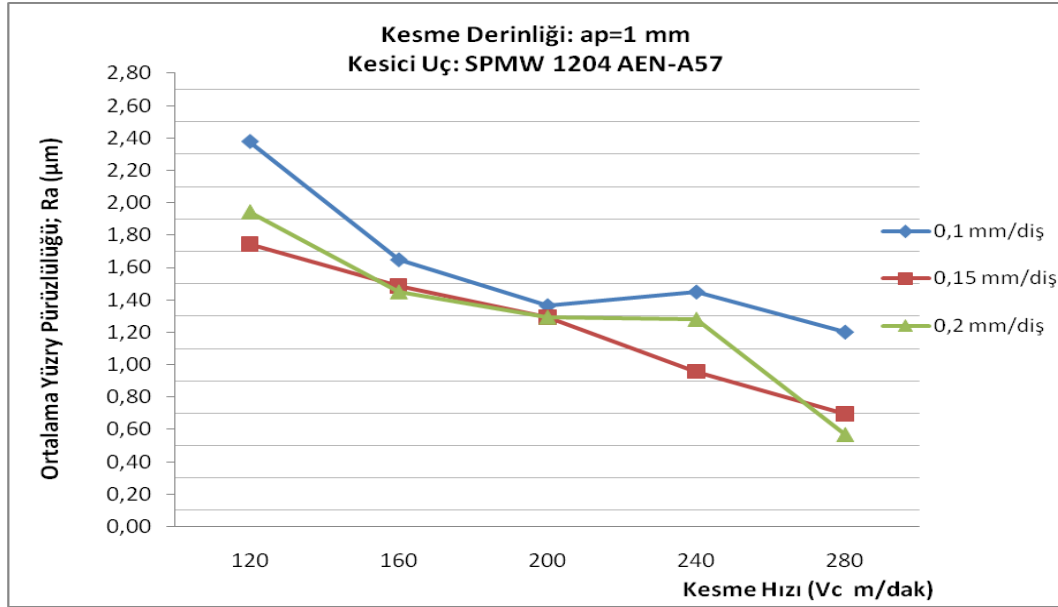


şekil 5.14. SPMT 1204 AEN kesicisinin  $a_p=1$  mm'de, kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak (Ra) değişim grafiği

SPMT 1204 AEN kodlu, sadece “pahlı” kesicinin grafiklerinde kesme hızını artırması ile yüzey pürüzlülüğü değerinde oldukça belirgin bir azalma görülmektedir. Ancak 240 m/dak kesme hızına kadar tüm ilerleme değerlerinde elde edilen yüzey pürüzlülüğündeki düşüş, 240 ve 280 m/dak kesme hızı aralığında (1 mm derinlikte ve 0,2 mm/diş ilerleme hariç) artışa geçmektedir. Yüksek kesme hızındaki bu pürüzlülük artışının takım aşınmasından kaynaklanana birdurum olduğu düşünülmektedir.

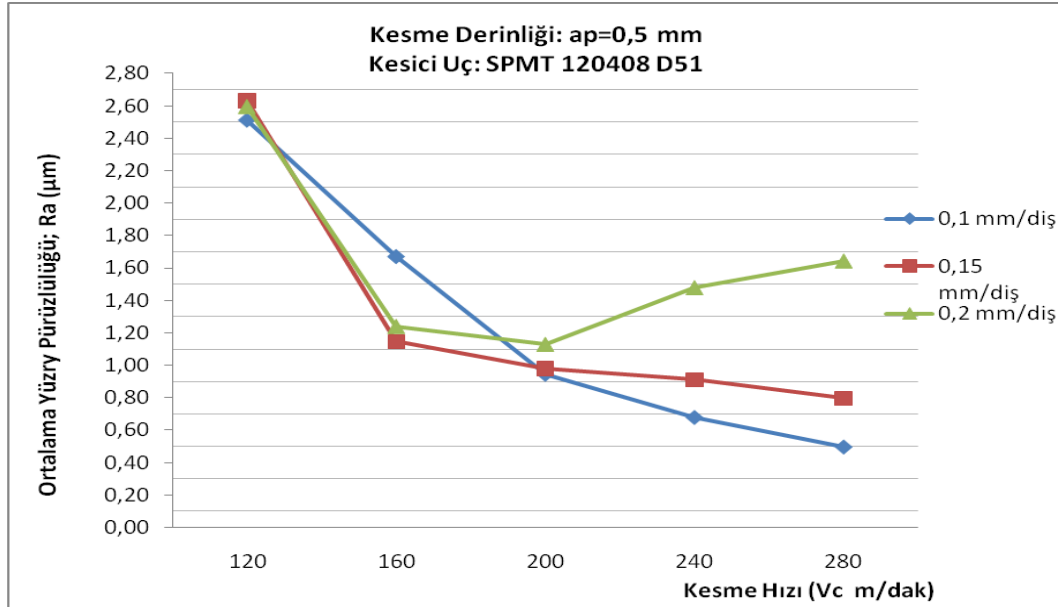


Şekil 5.15. SPMW 1204 AEN-A57 kesicisinin  $a_p=0,5$  mm’de, kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak (Ra) değişim grafiği

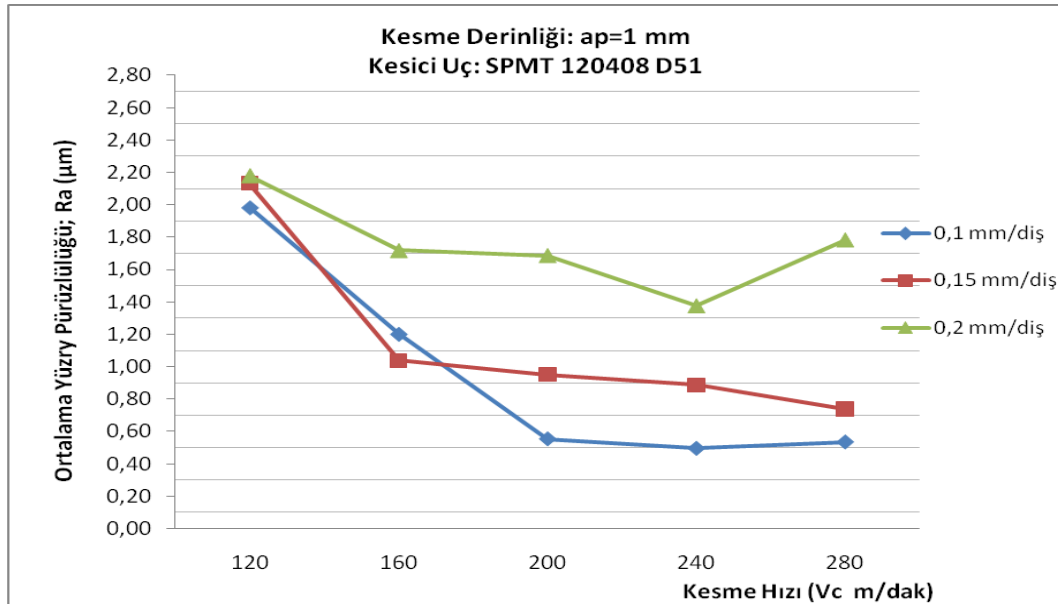


şekil 5.16. SPMW 1204 AEN-A57 kesicisinin  $a_p=1$  mm'de, kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak (Ra) değişim grafiği

SPMW 1204 AEN-A57 kodlu, "pahlı ve radiuslu" kesicinin grafiklerinde kesme hızının artması ile yüzey pürüzlülüğü değerinde genelde azalma görölmektedir. Ancak sadece "pahlı" kesicideki gibi çok hızlı bir düşüş değildir. Ayrıca bu kesicide 240-280 m/dak hızlarında pürüzlülükte ani bir artış görölmemiştir. Bunun sebebi olarak uç aşınmasının daha az olduğu düşünölmektedir.



Şekil 5.17. SPMT 120408-D51 kesicisinin  $a_p=0,5$  mm’de kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra)



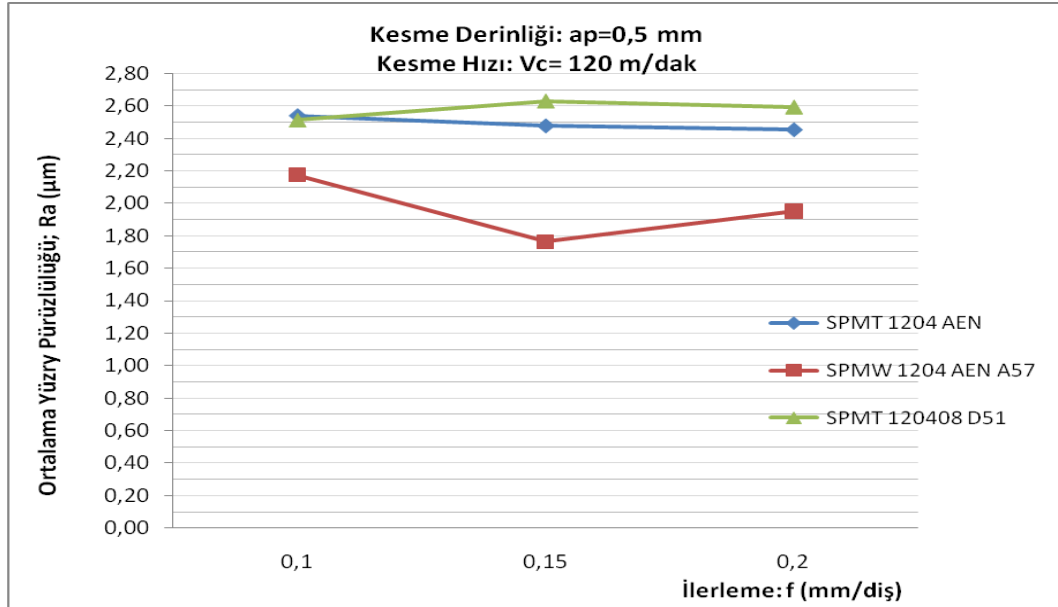
Şekil 5.18. SPMT 120408-D51 kesicisinin  $a_p=1$  mm’de kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra)

SPMT 120408-D51 kodlu, “sadece radyuslu” kesicinin grafiklerinde kesme hızının artması ile yüzey pürüzlülüğü değerinde 160 - 200 m/dak kesme hızlarına kadar ani

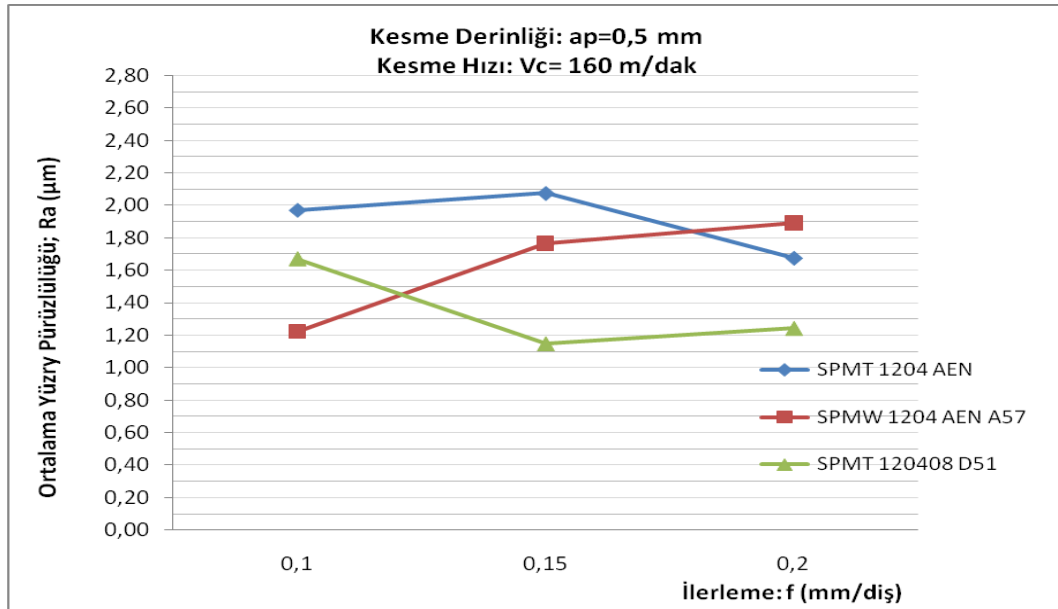
bir azalma görülmektedir. 200 m/dak hızdan sonra yüzey pürüzlülüğündeki iyileşme yavaşlamakta, özellikle 0,2 mm/diş ilerlemede 240 m/dak'dan yüksek hızlarda pürüzlülük belirgin bir şekilde artmaktadır. Bunun sebebinin “sadece radyuslu” olan kesicideki aşınma olabileceği düşünülmektedir

Genel olarak, kesme hızının artması ile iyileşen yüzey pürüzlülüğü, yüksek hızlarda artan sıcaklıkla deformasyon işleminin kolaylaşması, iş parçası malzemesinin kesici kenar ve uç radyusu çevresinde rahat bir şekilde deforme edilmesi ve bu yüksek sıcaklıklarda oluşan akma bölgesine bağlı olarak açıklanabilir. Kolay deforme edilen malzeme, herhangi bir yırtılma olmadan şekillendirilebilmektedir [61,62].

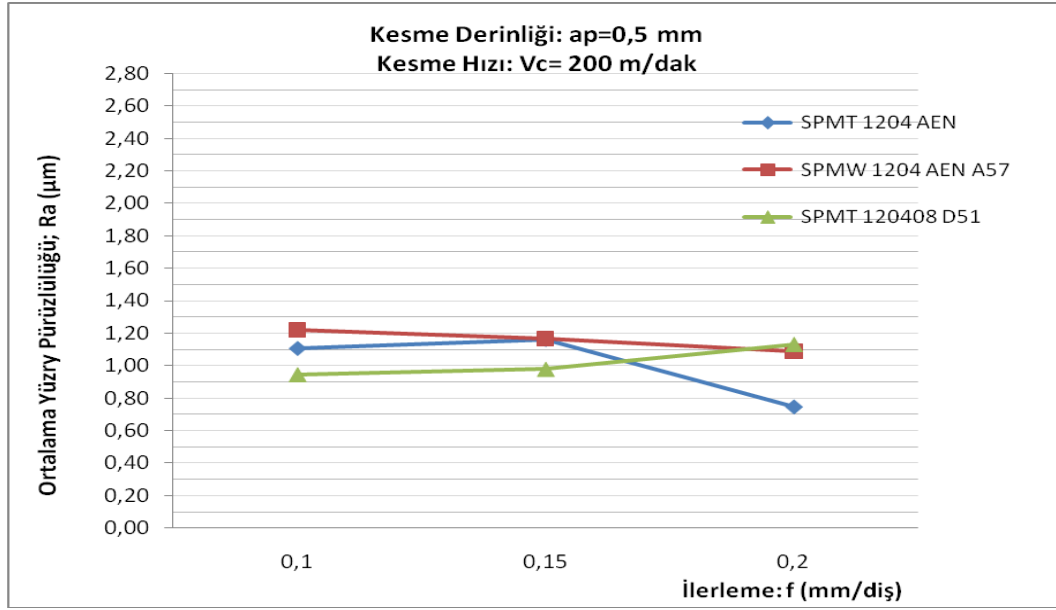
Şekil 5.13. - Şekil 5.18. incelendiğinde SPMT 1204 AEN ve SPMW 1204 AEN-A57 kesicilerinde kesme hızının artması ile bütün ilerlemelerde ortalama yüzey pürüzlülüğü azalmıştır. Bu durum AISI 1040'ın yüksek kesme hızlarında oluşumu azalan BUE ile açıklanabilir. İşleme sırasında kesici uçta oluşan BUE kararsız bir yapıda olduğu için yüzey pürüzlülük değerini artırır. Bu nedenle düşük kesme hızında yığıntı talaşın büyük ve kararsız olması durumunda pürüzlülük değeri artar. Kesme hızının artmasıyla BUE oluşumu azaldığı için yüzey pürüzlülüğü üzerinde olumsuz etkisi de azalır ve yüzey düzgünleşir [8,10,63]. Ancak SPMT 120408-D51 kesicisi ile işleme yaparken, kesme hızının artması ile ilerlemenin 0,1mm/diş ve 0,15 mm/diş olduğu durumlarda ortalama yüzey pürüzlülüğü azalmış, ilerlemenin 0,2 mm/diş olduğu durumda 200 m/dak kesme hızından sonra ortalama yüzey pürüzlülüğünde bir artış olmuştur. Bu durumun sadece radyuslu ucun bir özelliği olduğu düşünülmektedir.



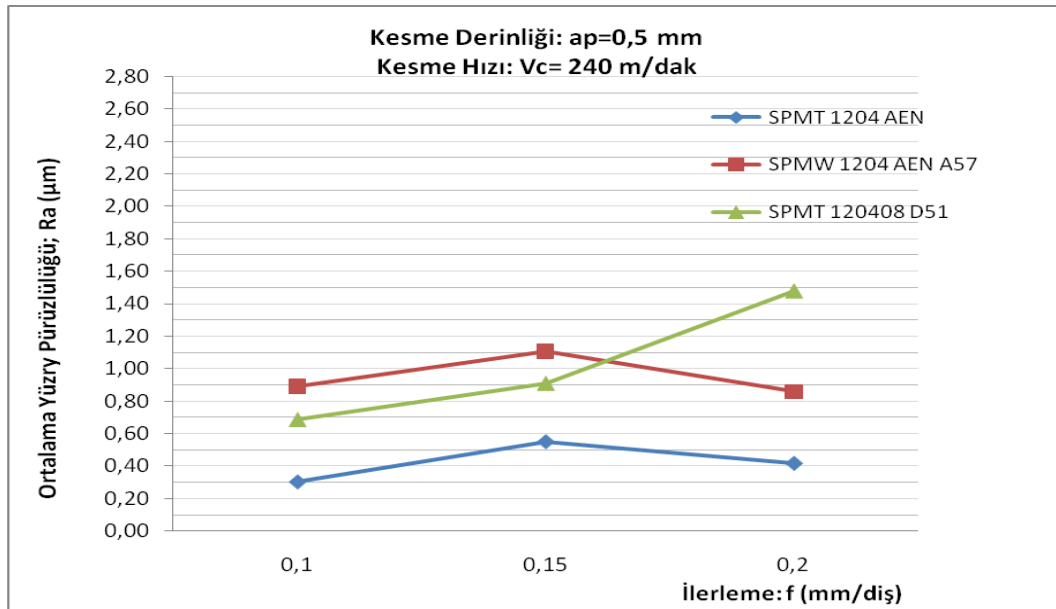
şekil 5.19.  $a_p=0,5$  mm ve  $V_c=120$  m/dak kesme hızında, ilerleme ve kesici takıma bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğü



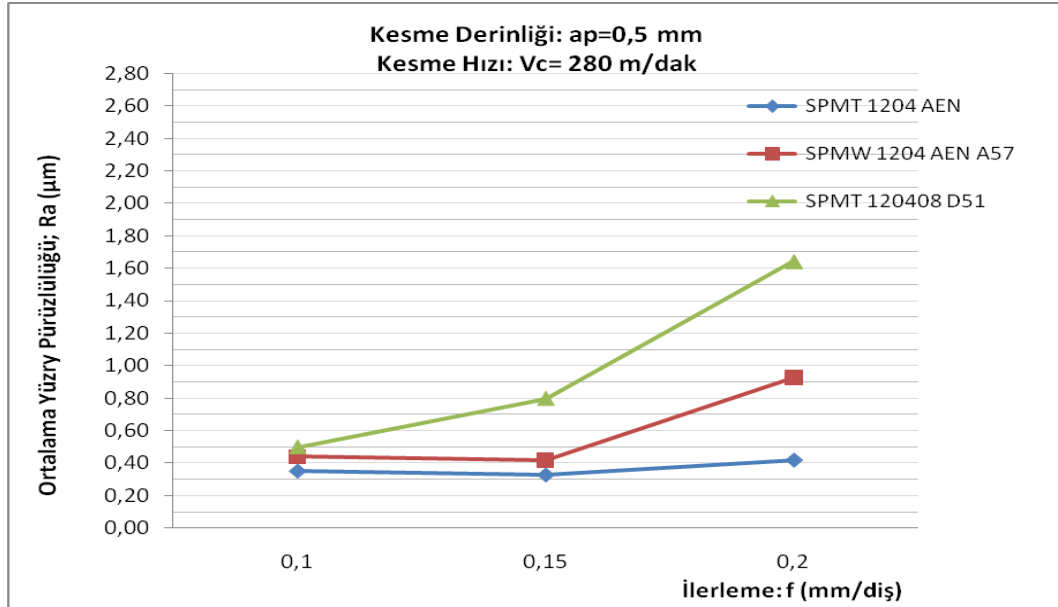
şekil 5.20.  $a_p=0,5$  mm ve  $V_c=160$  m/dak kesme hızında, ilerleme ve kesici takıma bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğü



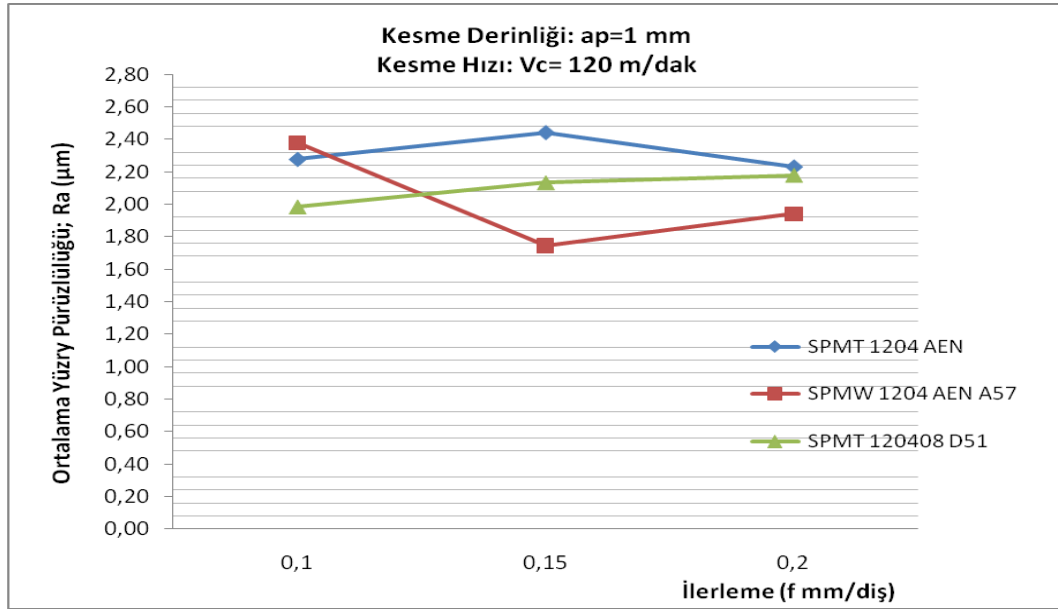
şekil 5.21.  $a_p=0,5$  mm ve  $V_c= 200$  m/dak kesme hızında, ilerleme ve kesici takıma bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğü



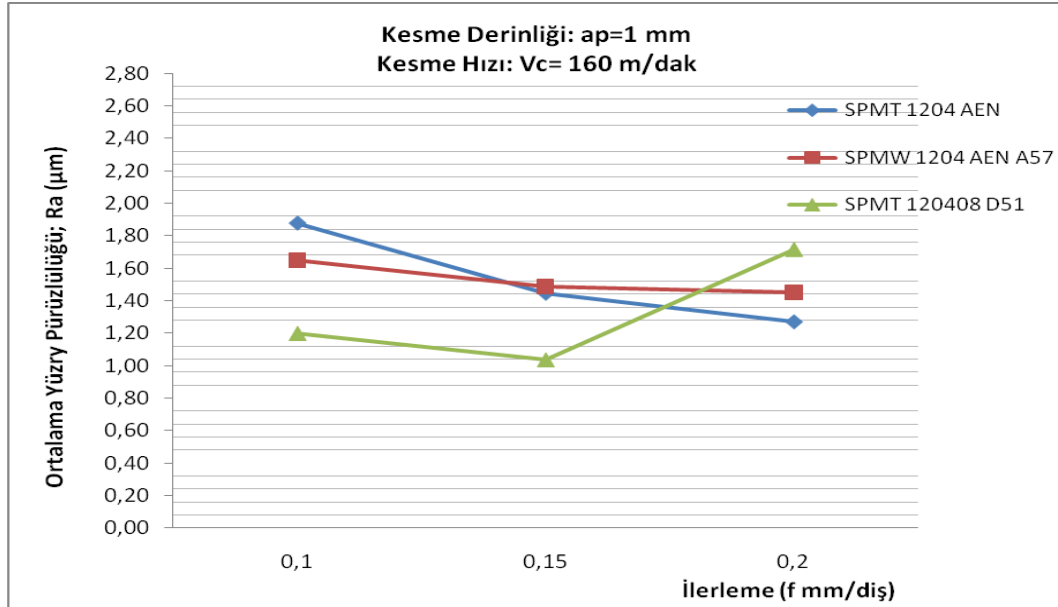
şekil 5.22.  $a_p=0,5$  mm ve  $V_c= 240$  m/dak kesme hızında, ilerleme ve kesici takıma bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğü



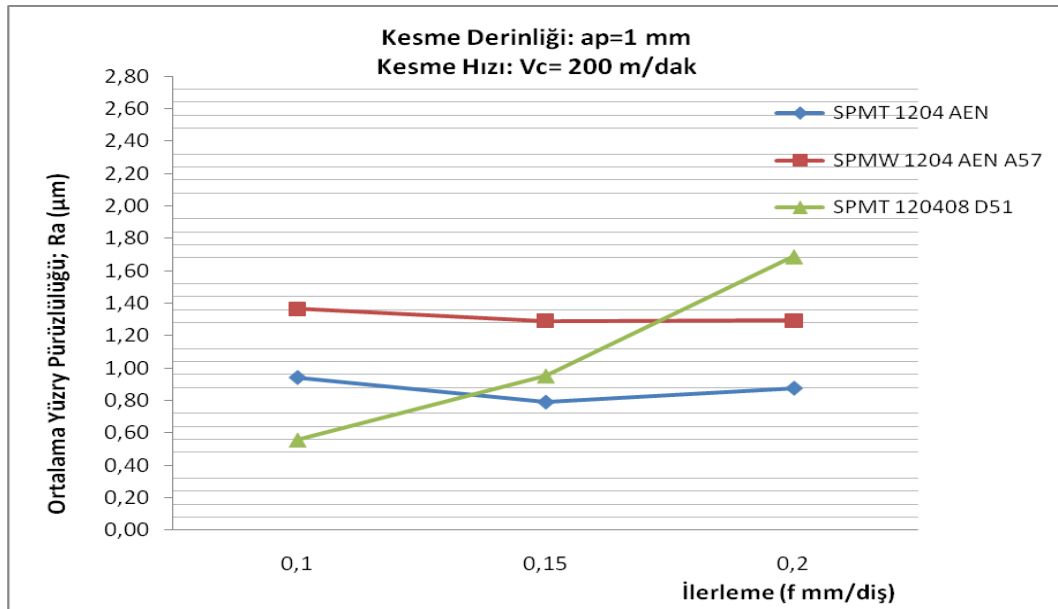
şekil 5.23.  $a_p=0,5$  mm ve  $V_c= 280$  m/dak kesme hızında, ilerleme ve kesici takıma bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğü



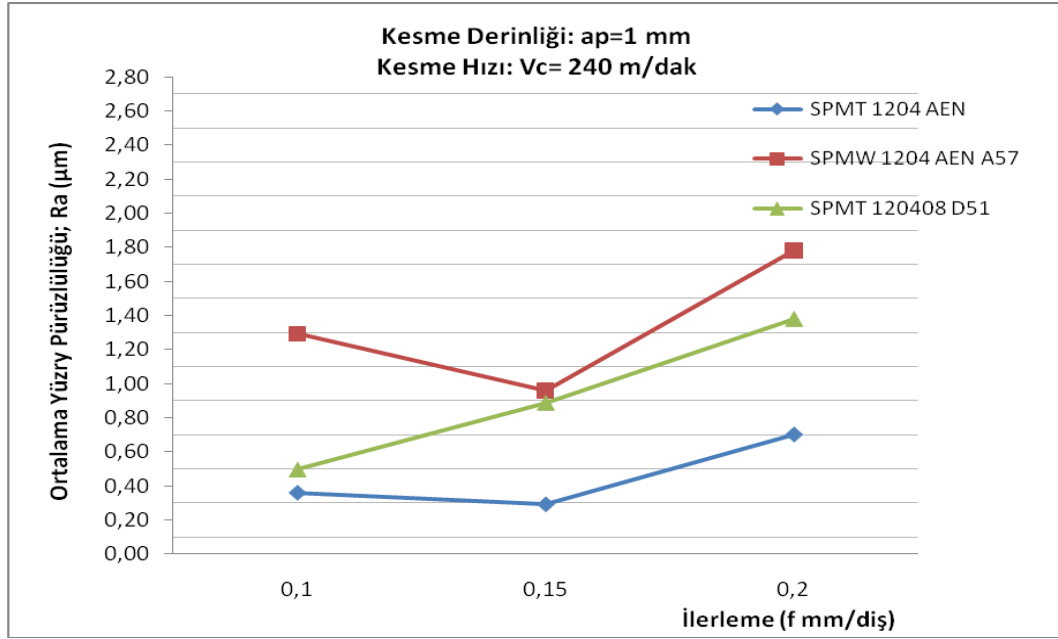
şekil 5.24.  $a_p=1$  mm ve  $V_c= 120$  m/dak kesme hızında, ilerleme ve kesici takıma bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğü



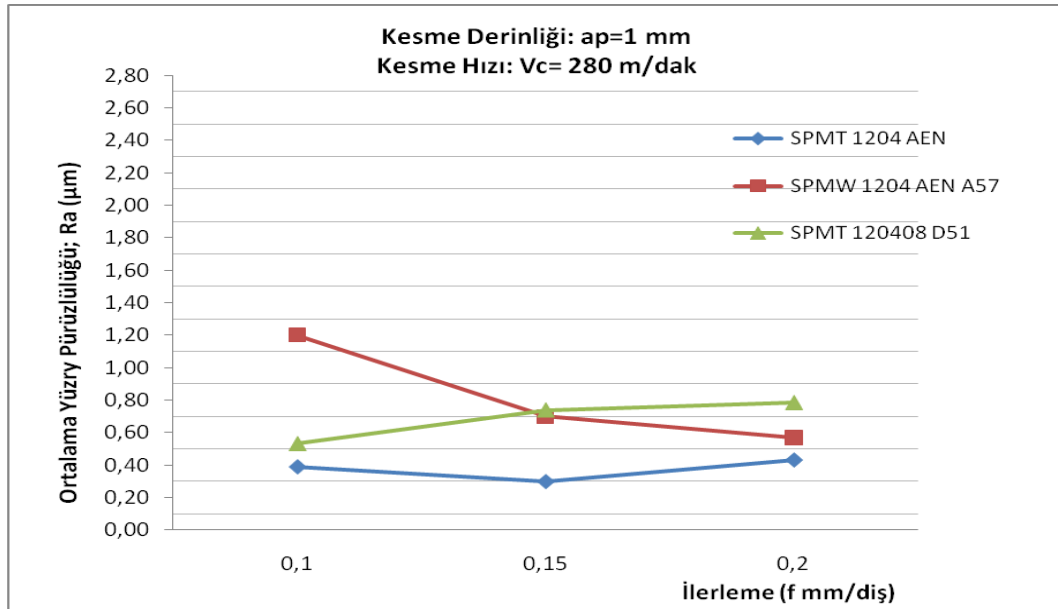
Şekil 5.25.  $a_p=1$  mm ve  $V_c=160$  m/dak kesme hızında, ilerleme ve kesici takıma bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğü



Şekil 5.26.  $a_p=1$  mm ve  $V_c=200$  m/dak kesme hızında, ilerleme ve kesici takıma bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğü



şekil 5.27.  $a_p=1$  mm ve  $V_c=240$  m/dak kesme hızında, ilerleme ve kesici takıma bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğü



şekil 5.28.  $a_p=1$  mm ve  $V_c=280$  m/dak kesme hızında, ilerleme ve kesici takıma bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğü

Şekil 5.19.-Şekil 5.28. grafikleri incelendiğinde tüm kesme hızında, artan ilerleme miktarlarına bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin de arttığı görülmektedir. En iyi yüzey pürüzlülük değeri 0,5 mm kesme derinliğinde, SPMT 1204 AEN kodlu sadece “pahlı” kesici ile 280 m/dak kesme hızında, 0,1 mm/diş ilerleme değerinde elde edilmiş. En kötü yüzey pürüzlülük değeri ise yine 0,5 mm kesme derinliğinde, SPMW 1204 AEN-A57 kodlu “pahlı ve radyuslu” kesici ile 120 m/dak kesme hızında, 0,2 mm/diş ilerleme değerlerinde elde edilmiştir.

Kesici takımlar incelendiğinde tüm deneylerde en iyi yüzey pürüzlülük değerleri sadece “pahlı” SPMT 1204 AEN kesicisi ile ölçülürken, en kötü yüzey pürüzlülük değerleri “pahlı ve radyusu” olan SPMW 1204 AEN-A57 kesicisi ile ölçülmüştür. Sadece “radyuslu” SPMT 120408-D51 kesicisi ise bu ikisi arasında değerler almıştır.

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada; AISI 1040 çeliğinin freze tezgâhında, birbirinden farklı geometrilere sahip üç kesici takımla işlenmesinde, kesme parametrelerinin kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla deneyler yapılmıştır. Deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Kesme kuvvetlerinde en düşük değer, 120 m/dak kesme hızında, 0,1 mm/diş ilerleme miktarında ve sadece “pahlı” SPMT 1204 AEN kesici uç ile yapılan deneyde olduğu görülmektedir. Aynı şekilde en büyük kesme kuvveti değeri de 280 m/dak kesme hızında 0,2 mm/diş ilerleme miktarında ve “pahlı radyusa” sahip SPMW 1204 AEN-A57 kesici uç ile yapılan deneyde elde edilmiştir.
- Her üç kesici içinde, artan kesme hızı değerlerinde artan kesme kuvvetleri oluşurken, artan ilerleme değerlerine paralel olarak artan kesme kuvvetleri elde edilmiştir
- Kesme kuvvetleri açısından, AISI 1040 çeliğinde yapılan işlenebilirlik deneyleri sonucunda optimum kesme hızı tüm kesiciler için 120 m/dak olarak belirlenmiştir.
- Deneylerde ölçülen en iyi yüzey pürüzlülük değerleri, çoğu kesme hızında ve her iki kesme derinliğinde, yalnızca “pahlı” bir geometriye sahip kesici uç ile yapılan frezelemelerde elde edilmiştir.
- Sadece “radyusa” sahip olan kesici ucun, “pahlı ve radyuslu” uçtan daha iyi yüzey ortaya çıkardığı tespit edilmiştir.
- Üç tip uç içerisinde en kötü pürüzlülük değerlerinin, “pahlı ve radyuslu” olan kesici uçtan kaynaklandığı görülmüştür.

- Deneyler sonucunda, ilerleme miktarının yüzey pürüzlülüğü üzerinde en önemli parametre olduğu görülmüştür. Tüm kesici takımında, en düşük yüzey pürüzlülük değerleri 0,1 mm/diş değerinde elde edilirken en büyük pürüzlülük değeri 0,2 mm/diş değerinde elde edilmiştir.
- Deneyler sonucunda, en iyi yüzey pürüzlülük değeri; 0,5 mm kesme derinliğinde, sadece “pahlı” SPMT 1204 AEN kesicisinde 280 m/dak kesme hızında 0,1 mm/diş ilerleme değerinde elde edilmiş. En kötü yüzey pürüzlülük değeri ise yine 0,5 mm kesme derinliğinde, “pahlı ve radyuslu” SPMW 1204 AEN-A57 kesicisi ile 120 m/dak kesme hızında 0,2 mm/diş ilerleme değerlerinde elde edilmiştir.

Yapılan deneyler sonucu bundan sonraki çalışmalara ışık tutması açısından şu tavsiyelerde bulunulabilir;

- Bu çalışmada kullanılan kesici takımların dışında farklı geometri tiplerine sahip kesici takımlar ile çeşitli malzemelerin işlenebilirliği araştırılabilir.
- Yüzey pürüzlülüğü (Ra) ölçülerek takım aşınması ve ömrü ile ortalama yüzey pürüzlülüğü arasındaki bağıntı ortaya konulabilir.
- Kesme kuvvetleri, ortalama yüzey pürüzlülüğü ve takım ömrü için matematiksel model oluşturulup minimum üretim zamanını veren kesme hızı ve ilerleme değerleri hesaplanabilir.
- Talaş kaldırma esnasında meydana gelen titreşimler, kesme kuvvetleri ile beraber ölçülebilir ve titreşimlerin etkisi araştırılabilir.

## KAYNAKLAR

1. Akkurt, M., “Talaş kaldırma yöntemleri ve takım tezgahları”, *Birsen Yayınevi*, İstanbul, 214-221, (1996).
2. Korkut, İ., Dönertaş, 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 & Design*, 28: 308-312, (2007).
3. Sağlam, H., “Frezelemede kesme parametreleri ile kesme kuvvetlerinin değişimi ve bunların takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerinin deneysel incelenmesi”, *Selçuk-Teknik Online Dergisi*, ISSN 1302-6178 1, 3-(2001).
4. Özçatalbaş, Y., Aydın B., “Mekanik özellik ve kesme geometrisinin AA2014 alaşımının işlenebilirlik özelliklerine etkileri”, *G.Ü. Müh. Mim. Fak. Der.*, 21 (1): 21-27 (2006).
5. Gökkaya, H., Sur G., Dilipak, H., “Kaplama-sız sementit karbür kesici takım ve kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisinin deneysel olarak incelenmesi”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 12 (1): 59-64 (2006).
6. Demir, H., Ulaş, H., Zeyveli M., “Stavax ESR çeliğinin yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri açısından değerlendirilmesi”, *V. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu*, Karabük, (2009).
7. Boy, M., Demir, H., Korkut, İ., “Vanadis 10 soğuk iş takım çeliğinin işlenmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi”, *V. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu*, Karabük, (2009).
8. Zeyveli, M., Demir, H., “AISI H13 sıcak iş takım çeliğinin işlenmesinde yüzey pürüzlülüğünün deneysel incelenmesi”, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 25 (1-2): 251-261 (2009).
9. Özel, T., Hsu, T.K., Zeren, E., “Effects of cutting edge geometry, workpiece hardness, feed rate and cutting speed on surface roughness and forces in finish turning of hardened AISI H13 steel”, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 25: 262-269, (2005).
10. Güllü, A., Özdemir, A., “Prizmatik parçaların frezelenmesinde kesme parametreleri ile yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişkilerin deneysel olarak bulunması”, *G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi*, 16(1): 127-134, (2003).

11. Demir, H., Özlü, B., “Sertleştirilmiş 30MnVS6 mikroalaşımli çeliğin kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü açısından işlenebilirliğinin araştırılması”, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 25 (1-2), 262-271 (2009).
12. Işık, Y., Çakır, M.C., “Hız çeliği takımlar için kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkilerini deneysel olarak incelenmesi”, *Teknoloji*, 1-2, 111-118, (2001).
13. Özdemir, K., Çakır, M.C., “Kesme parametrelerinin başlangıç aşınmasına olan etkisinin deneysel olarak incelenmesi”, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 13, 2, (2008).
14. Nalbant, M., Altın, A., Gökkaya, H., “The effect of cutting speed and cutting tool geometry on machinability properties of nickel-base Inconel 718 super alloys”, *Materials and Design*, 33:27-35 (2006).
15. Aydemir, A. O., “Torna Ve Freze Tezgahlarında bilgisayar destekli kesici takım seçimi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 10-40 (2006).
16. Toh, C.K., “Static and dynamic cutting force analysis when high speed rough milling hardened steel“, *Materials and Design*, 25: 41–50 (2004).
17. Gülmez, S., Gürler, M., Boztoprak, Y., “ZF-7B Bor alaşımli çelik malzemenin düzlem yüzey frezelenmesinde kesme parametrelerinin işlenebilirliğine etkisi”, *3.Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu*, Ankara, 292-307 (2003).
18. Ghani, J. A., Choudhury, A., Masjuki, H. H., “Performance of P10 TiN coated carbide tools when end milling AISI H13 tool steel at high cutting speed”, *Journal of Materials Processing Technology*, 153–154, 1062–1066(2004).
19. Ay, M., Eldoğan, O., Kurt, M., “CNC freze tezgahlarında yüzey pürüzlülüğüne etki eden faktörlerin belirlenmesi”, *3.Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu*, Ankara, 317-329 (2003).
20. Aslan, E., “Experimental investigation of cutting tool performance in high speed cutting of hardened X210 Cr12 cold-work tool steel (62 HRC)”, *Materials and Design*, 26: 21–27(2005).
21. Wang, J. J., Junz, Z. M. Y., “On the machining characteristics of H13 tool steel in different hardness states in ball end milling”, *Int J Adv Manuf Technology*, 22: 855–863(2003).
22. Arunachalam, R. M., Mannan, M. A., Spowage, A.C., “Residual stress and surface roughness when facing age hardened Inconel 718 with CBN and

- ceramic cutting tools”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 44 :879–887(2004).
23. Alauddin, M., Mazid, M.A., El Baradi, M. A., Hashmi M. S. J., “Cutting forces in the end milling of Inconel 718”, *Journal of Materials Processing Technology*, 77: 153–159(1998).
  24. Kuo, C.P., Ling, C.C. Chen, S.H. Chang, C.W., “The prediction of cutting force in milling Inconel–718” *Int J Adv Manuf Technol.*, 27: 655–660(2006).
  25. Lacalle, L. N. Lopez de, P. J., Llorente, J. I., Sanchez, J.A., “Advanced cutting conditions for the milling of aeronautical alloys”, *Journal of Materials Processing Technology*, 100: 1–11(2000).
  26. Mantle, A. L., Aspinwall, D. K., “Surface integrity of a high speed milled gamma titanium aluminide”, *Journal of Materials Processing Technology*, 118: 143–150(2001).
  27. Kopac, J., Bahor, M., “Interaction of the technological history of a workpiece material and the machining parameters on the desired quality of the surface roughness of a product”, *Journal of Materials Processing Technology*, 92-93 (1999)
  28. Jawaid, A., Köksal, S., Saharif S. “Cutting performance and wear characteristics of PVD coated and uncoated carbide tools in face milling Inconel 718 aerospace alloy”, *Journal of Proccesing Technology*, 116: 2–9 (2001).
  29. Jawaid, A., Sharif, S., Koksals, S. “Evaluation of wear mechanisms of coated carbide tools when face milling titanium alloy”, *Journal of Materials Processing Technology*, 99: 266–274(2000).
  30. Yan, H., Hua J., Shivpuri, R., “Numerical simulation of finish hard turning for AISI H13 die steel”, *Science and Technology of Advenced Materials*, 6, 540-547,( 2005).
  31. Chou, Y.K., Song, H. “Hard turning with different nose-radius ceramic tools”, *SME Tech. Pap. Ser.* 13-26 (2001).
  32. DeGarmo, E. P., “Face Milling Of Nickel-Based Superalloys With Coated And Uncoated Carbide Tools”, PhD Thesis, *School Of Engineering, Coventry Universty*, England, Coventry, 1-60 (2000).
  33. Groover, M. P., “Fundamentals Of Modern Manufacturing- Materials, Processes And Systems”, *Prentice-Hall Inc.*, New Jersey, 220-639 (1996).

34. DeGarmo, E. P., Black, J. T., Kohser, R. A., “Materials And Processes In Manufacturing”, **Prentice-Hall Inc.**, New Jersey, 214-652 (1997).
35. Shaw, M. C., “Metal Cutting Principles”, **Oxford University Pres.**, Oxford, 1-9 (1994).
36. Çakır, M.C., “Modern Talaşlı İmalat Yöntemleri”, **VİPAS A.Ş.**, Bursa, (2000).
37. Galyer, J.F.W., Shotbolt, C.R., “Metrology For Engineers”, **Cassel Publishers Limited**, London, 9: 191-194 (1993).
38. Sandvik Coromant., “Sandvik Coromant El Kitabı, Talaşlı İmalat Teknik Kılavuzu”, **Türkçe Basım, Elanders**, İsveç, D5-D9 (2005).
39. İpekçioğlu, N., “Frezecilik”, **Devlet Kitapları Basımevi**, Ankara, 25-47 (1984).
40. Sandvik Coromant., “Modern Metal Cutting – A Practical Handbook”, **English Edition, Sandvik Coromant**, Sweden, 1-3 (1994).
41. Çakır, M. C., “Modern Talaşlı İmalatın Esasları”, **Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı** Yayın No: 140, Ceylan Matbaacılık, Bursa, 35-56 (1999).
42. Şahin, Y., “İmal Usulleri”, **Gazi Yayınevi**, Ankara, 269–280 (2003).
43. Şahin, Y., “Talaş Kaldırma Prensipleri Cilt-1”, **Gazi Yayınevi**, Ankara, 39-78 (2000).
44. Güllü, A., “Silindirik Taşlamada İstenen Yüzey Pürüzlülüğünü Elde Etmek İçin Taşlama Parametrelerinin Bilgisayar Yardımıyla Optimizasyonu”, Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Ankara, 1–5 (1995).
45. Özses, B., “Bilgisayar Sayısal Denetimli Takım Tezgahlarında Değişik İşleme Koşullarının Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Makine Mühendisliği Bölümü, Ankara, 6-25 (2002).
46. Bayrak, M., “Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi ve Uzman Sistemle Karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, 1-35 (2002).
47. Scar, A. J. T. “Metrology and Precision Engineering”, **Mc. Graw-Hill Publishing Company Limited**, New York, 126-167 (1991).
48. Sandvik Coromant “Modern Metal Cutting, Part: Milling”, **Sandvik Coromant**, Sweden, 5, 12-67 (1994).

49. Saxena, J. P., "Effect of machining conditions on cutting tool vibrations, Advances in Machine Tool Design and Manufacturing Technology", *Proceedings of the 10th All India Machine Tool Design and Research Conference (Durgapur, India)*, 98:106 (1982).
50. Beauchamp, Y., Thomas, M., Youssef, J. Masounave, A.Y., "Investigation of cutting parameter effects on surface roughness in lathe boring operation by use of a full factorial design", *Computers and Industrial Engineerin.*, 31:645-651 (1995).
51. Doolan, P., Phadke, M. S., Wu, S. M., "Computer design of a minimum vibration face milling cutter using an improved cutting force model", *Journal of Engineer for Industry*, 16:807-810 (1976).
52. Hashimoto, M., Marui, E., Kato, S., "Experimental research on cutting force variation during primary chatter vibration occurring in plain milling operation", *Int. Mach. Tools Manufact*, 36 (2): 183-201 (1996).
53. Lang, J. L., Tarng, Y. S., "A study of the active vibration control of a cutting tool", *Journal Materials Processing Tech*, 95: 78-82 (1999).
54. Hamdan, M. N., "An approach to study the effects the tool geometry on the primary chatter vibration in orthogonal cutting", *Journal of Sound andVibration*, 128: 451-469 (1989).
55. Movahhedy, M. R., Mosaddegh, P., "Prediction of chatter in high speed milling including gyroscopic effects", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 46: 996–1001 (2006).
56. Nakkiew, W., Lin, C., Tu, J., "A new method to quantify radial error of a motorized end-milling cutter/spindle system at very high speed rotations", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 46: 877–889 (2006).
57. Jayaram, S., Kapoor, S. G., DeVor, R. E., "Estimation of specific cutting pressures for mechanistic cutting force models", *Journal Machine Tools and Manufacture*, 41: 265-281 (2001).
58. Cheng, P. J., Tsoy, J. T., Lin, S. C., "A study on instantaneous cuttin force coefficients in face milling", *Int. J. Machine Tools and Manufac.*, 37(10): 1393-1408 (1997).
59. El-Sinawi, A. H. Reza K., "Improving surface roughness in turning using optimal control of tool's radial position", *Journal of Materials Processing Technology*, 167(1): 54-61 (2005).

60. Seker, U., “ Makine eğitimi ders notları”, *Gazi Üniversitesi*, Ankara, 5-8 (2003).
61. Günay, M., “Talaş Kaldırma İşlemlerinde Kesici Takım Talaş Açısının Kesme Kuvvetlerine Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 18-33 (2003).
62. Kurt, A., “Talaş Kaldırma Sırasında Oluşan Kesme Kuvvetleri ve Mekanik Gerilmelerin Deneysel Olarak İncelenmesi ve Matematiksel Modellerinin Oluşturulması”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 12-43 (2006).
63. Amerikan Foundry Society, “Mechanical properties of compacted graphite iron”, *Engineered Casting Solutions*, 6, 36 (2004).
64. Yiğın, A., “Makine Mühendisliği El Kitabı-Üretim ve Tasarım” *TMMOB Makine Mühendisleri Odası*, Yayın No: 140, Ankara, 2: 223-270 (1996)

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : DOMAÇ, Hakan  
Uyruğu : T.C.  
Doğum tarihi ve yeri : 11.09.1976, Ankara  
Medeni hali : Evli  
Telefon : 0 (312) 395 2832  
e-mail : [hdomac@hotmail.com](mailto:hdomac@hotmail.com).

### Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Gazi Üniversitesi/ Makine Mühendisliği	2000
Lise	Gazi Anadolu Lisesi	1994

### İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
11.2007-	K.K.K. 5. Ana Bakım Merkezi	Makine Mühendisi
04.2007 - 11.2007	Grup Teknik Makine San. Tic. Ltd.	İmalat Mühendis
11.2006 - 04.2007	Troya Doğalgaz Petrol Mühendislik	Makina Mühendisi
02.2005 - 11.2005	Besmak Lab. Test Mak. San. Tic. Ltd.	Üretim Müdürü
05.2000 - 07.2004	Hasaş Makina San. Tic. Ltd.	İmalat Müdürü
05.1999 - 05.2000	Mogan AŞ. CNC ve Kalıp	CNC Operatörü

### Yabancı Dil

İngilizce

### Hobiler

Akvaryum, Satranç, Futbol, Basketbol