

**ALÜMİNYUM ALAŞIMININ TALAŞLI İŞLENMESİNDE İLERLEME MİKTARI,
KESME HIZI VE KESME DERİNLİĞİNİN YÜZEY KALİTESİNE ETKİSİ**

TUGAY DIŞBUDAK

ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALINDA

YÜKSEK LİSANS

DERECESİ İÇİN GEREKLİ ÇALIŞMALARI YERİNE GETİREREK

ONAYA SUNULAN TEZ

OCAK 2015

Fen Bilimleri Enstitüsü'nün Onayı

Prof. Dr. Duran KARAKAŞ
Enstitü Müdürü

Bu tezin Yüksek Lisans derecesinde bir tez olarak gerekli çalışmaları yerine getirdiğini onaylarım.

Prof. Dr. Ali Naci ÇELİK
Bölüm Başkanı

Okuduğumuz bu tezin Yüksek Lisans derecesindeki bir olarak onaylanmasında, düşüncemize göre, amaç ve kalite olarak tamamen uygundur.

Yrd. Doç. Dr. Sabri ÖZTÜRK
Tez Danışmanı

Jüri Üyeleri

1. Yrd. Doç. Dr. Sabri ÖZTÜRK

2. Doç.Dr. Murat PAKDİL

3. Prof. Dr. Gürel ÇAM

ÖZET

ALÜMİNYUM ALAŞIMININ TALAŞLI İŞLENMESİNDE İLERLEME MİKTARI, KESME HIZI VE KESME DERİNLİĞİNİN YÜZEY KALİTESİNE ETKİSİ

Dişbudak,Tugay

Yüksek Lisans, Makine Mühendisliği Bölümü

Tez Danışman: Yrd.Doç.Dr. Sabri ÖZTÜRK

Ocak 2015, 154 sayfa

Bu çalışmada, 7075 alüminyum alaşımının ilk olarak universal torna tezgâhında, daha sonra universal freze tezgahında kaplamasız karbür kesici takımlarla işlenmesinde, ilerleme miktarı, kesme hızı ve talaş derinliğinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Kesici uç olarak tornada Böhler firmasına ait, 0,8 mm yarıçaplı kaplamasız tungsten karbür uç, frezede Sandvik firmasına ait 0,4 mm yarıçaplı kaplamasız tungsten karbür uç kullanılmıştır.

Deneylerde kesme parametrelerinin yüzey kalitesine olan etkisini analiz incelemek için Anova varyans analizi uygulanmıştır. Yüzey pürüzlülüğü ile faktörler arasındaki korelasyon Çoklu Regresyon Analizi ile belirlenmiştir. İlerleme miktarı ve talaş derinliği

arttıkça yüzey pürüzlülüğünün arttığı fakat kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün azaldığı tespit edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü üzerinde en çok ilerleme miktarının etkisinin olduğu daha sonra sırasıyla kesme hızı ve talaş derinliğinin geldiği görülmüştür. Deneysel çalışma ilerleme miktarındaki artışın kesici takımda alüminyumun yapışmasına neden olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Alüminyum alaşımı, yüzey pürüzlülüğü, kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği, yüzey pürüzlülüğü, tornalama

ABSTRACT

THE EFFECTS OF CUTTING DEPTH, CUTTING SPEED AND FEED RATE ON SURFACE QUALITY IN MACHINING ALUMINUM ALLOY

Dişbudak, Tugay

Master of Science, Mechanical Engineering Department

Thesis Advisor: Asst. Prof. Dr. Sabri ÖZTÜRK

January 2015, 154 pages

In this study, the effects of feed rate, cutting tool nose radius, cutting speed and cutting depth on surface roughness were investigated for 7075 aluminum alloy in turning machining with uncoated carbide cutting tools both on a universal turning machine and a universal milling machine. Uncoated tungsten carbide cutting tools of 0,8 mm nose radius, produced by Böhler and 0,4 mm nose radius produced by Sandvik were used in experiments.

In experiments, Analysis of variance (ANOVA) was employed to analyze the effect of cutting parameters on surface finish values. The correlations between the factors and surface roughness were conducted by Multivariable regression analysis. It is

found out that the surface roughness was increased when feed rate and cutting depth were increased on the other hand, the surface roughness was decreased when the cutting speed was increased. The most effective parameters on surface roughness were observed feed rate, cutting tool nose radius, cutting speed and cutting depth respectively. Experimental study indicated that an increase in feed rate caused adhesion of the aluminum on the tool insert.

Key Words: Aluminum alloy, surface roughness, cutting tool nose radius, milling

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada beni yönlendiren, değerli Danışman Hocam Yrd. Doç. Dr. Sabri ÖZTÜRK'e teşekkürlerimi sunarım.

Deneylerin yapılmasında büyük katkı sağlayan Ereğli Demir Çelik Fabrikaları Mekanik Atölye bölümü çalışanlarına ve atölye mühendisi Tamer Çobanoğlu'na teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	vii
İÇİNDEKİLER	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
SİMGELER DİZİNİ.....	xxi
KISALTMALAR DİZİNİ.....	xxiii
BÖLÜM 1	24
1.1. GİRİŞ	24
1.2. LİTERATÜR ÖZETLERİ	27
1.3. ALÜMİNYUM	39
1.3.1. Alüminyumun Tarihçesi.....	39
1.3.2. Alüminyum Hakkında Genel Bilgiler	40
1.3.3. 7XXX Serisi Alaşımlar	44
1.3.3.1. 7075 temper T6/T651 alaşımı	45
1.3.4. Alaşım Elementleri Ve Etkisi	46
1.3.5. Alüminyumun Endüstride Kullanımı.....	47
1.4. TALAŞLI İMALAT VE İŞLENEBİLİRLİK	50
1.4.1. Talaşlı İmalat İşlemi.....	50
1.4.2. İşlenebilirlik	53
1.4.3. Kesici Takım Malzemeleri.....	55
1.4.3.1. Karbon ve alaşımlı takım çelikleri	58
1.4.3.2. Yüksek hız çelikleri.....	60
1.4.3.3. Stellite'ler.....	61
1.4.3.4. Sinterlenmiş karbürler	62

1.4.3.5. Seramikler	64
1.4.3.6. Elmaslar.....	66
1.4.3.7. Kübik bor nitrürler	69
1.4.3.8. Kesici takım geometrisi	71
1.4.4. Yüzey Pürüzlülüğü.....	74
1.4.5. Takım Aşınması	77
1.4.5.1. Aşınma mekanizmaları.....	78
1.4.5.2. Takım aşınma tipleri	80
1.4.6. Yüzey Kalitesinin Sayısal Olarak Değerlendirilmesi	82
1.4.6.1. Yüzey pürüzlülük parametreleri.....	82
1.4.6.1.1. Örnekleme uzunluğu (ln) ve örnekleme sayısı (n).....	82
1.4.6.1.2. Ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a)	83
1.4.7. Alüminyum Ve Alaşımlarının Talaşlı İşlenebilirliği	84
BÖLÜM 2	88
2.1. MATERYAL VE YÖNTEM	88
2.1.1. Materyal	88
2.1.1.1. Deney malzemesi	88
2.1.1.2. Deney numunelerinin hazırlanması.....	88
2.1.1.3. Kesici uçlar.....	90
2.1.1.3.1. Torna kesici ucu	90
2.1.1.3.2. Freze kesici ucu.....	90
2.1.1.4. Takım tezgahları.....	91
2.1.1.4.1 Torna tezgahı.....	91
2.1.1.4.2 Freze tezgahı	92
2.1.2 Yöntem.....	93
2.1.2.1. Deneylerin yapılışı	93
BÖLÜM 3	96
3.1. ELDE EDİLEN DENEYSEL SONUÇLAR.....	96
3.1.1. Torna İşlemi Sonucu Elde Edilen Deneysel Sonuçlar	96
3.1.1.1. Tornalama için ilerleme miktarının yüzey pürüzlülüğüne etkisi	97
3.1.1.2. Tornalama için kesme hızının yüzey pürüzlülüğüne etkisi.....	105

3.1.1.3. Tornalama için kesme derinliğinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi	113
3.1.2. Freze İşlemi Sonucu Elde Edilen Deneysel Sonuçlar	116
3.1.2.1. Frezeleme için ilerleme miktarının yüzey pürüzlülüğüne etkisi	118
3.1.2.2. Frezeleme için kesme hızının yüzey pürüzlülüğüne etkisi	123
3.1.2.3. Frezeleme için kesme derinliğinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi	129
3.3. Kesme Parametrelerinin Kesici Takım Aşınmasına Etkisi	132
BÖLÜM 4	137
4.1. BULGULAR VE TARTIŞMA	137
4.1.1. Anova	137
4.1.1.1. Tornalama işlemi sonucu elde edilen değerlerin ANOVA analizi.....	137
4.1.1.2. Frezeleme işlemi sonucu elde edilen değerlerin ANOVA analizi	139
4.1.2. Çoklu Regresyon Analizi	139
4.1.2.1. Tornalama işlemi için çoklu regresyon analizi	140
4.1.2.2. Frezeleme işlemi için çoklu regresyon analizi	142
BÖLÜM 5	144
5.1. SONUÇ VE ÖNERİLER	144
KAYNAKLAR	148

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge.1.3.1. Alüminyumun fiziksel özellikleri.....	19
Çizelge.2.1. 7075 Alüminyum alaşımının kimyasal bileşimi.	88
Çizelge.2.2. Torna için deney parametreleri.	93
Çizelge.2.3. Freze için deney parametreleri.....	93
Çizelge.3.1. Torna için deney sonuçları.....	76
Çizelge.3.2. Freze için deney sonuçları.	96
Çizelge.4.1. Tornalama için Anova analizi.....	117
Çizelge.4.2. Frezeleme için Anova analizi.	118
Çizelge.4.3. Tornalama için çoklu regresyon analizi.....	120
Çizelge.4.4. Frezeleme için çoklu regresyon analizi.	122

ŞEKİLLER DİZİNİ

No	Sayfa
Şekil.1.2.1. Uç 1 ve Uç 2'nin kesme parametrelerine göre yüzey pürüzlülük değişimleri.....	11
Şekil.1.2.2. Matkap geometrisi.....	13
Şekil.1.2.3. Yüzey pürüzlülüğünün kesme hızına göre değişimi.....	14
Şekil.1.3.1. Alüminyum alaşım elementleri ile çeşitli kombinasyonlarda yapılan alaşımların şematik gösterimi.....	22
Şekil.1.4.1. Torna tezgahı ve tornalama işleminin şematik olarak gösterimi	28
Şekil.1.4.2. Freze tezgahı.....	29
Şekil.1.4.3. Takım seçimini etkileyen faktörler.....	32
Şekil.1.4.4. Karbon çeliğinin mikro yapısı.....	34
Şekil.1.4.5. YHÇ'nin mikro yapısı.....	35
Şekil.1.4.6. Çeşitli sinterlenmiş karbür yapılar.....	38
Şekil.1.4.7. Saf alüminyum oksit seramiğin yapısı.....	41
Şekil.1.4.8. Çok kristalli elmas.....	43
Şekil.1.4.9. Kübik bor nitrür.....	44
Şekil.1.4.10. Takım açılarının etkisi.....	45
Şekil.1.4.11. Uç açıları.....	47
Şekil.1.4.12. Yüzey kalitesi ve köşe radyüsü ilişkisi.....	48
Şekil.1.4.13. Yüzey pürüzlülüğünün üç boyutlu gösterimi ve yüzey profili.....	50

Şekil.1.4.14.	Tipik aşınma bölgeleri.....	53
Şekil.1.4.15.	Aşınma şekilleri.....	54
Şekil.1.4.16.	Kesici takımındaki aşınma tipleri.....	55
Şekil.1.4.17.	Örnekleme uzunluğu ve sayısı ile ölçüm uzunluğu.....	57
Şekil.1.4.18.	Ortalama yüzey pürüzlülüğü.	58
Şekil.2.1.	Deney numunesinin hazırlanması.....	63
Şekil.2.2.	Kesici uç ve teknik özellikleri.....	64
Şekil.2.3.	Freze için kesici uç.....	64
Şekil.2.4.	Toss SN55 universal torna tezgahı.....	65
Şekil.2.5.	Deckel FP33 freze tezgahı.....	66
Şekil.2.6.	Tornalama işlemi yapılırken.....	67
Şekil.2.7.	Yüzey pürüzlülük ölçme cihazı.....	68
Şekil.2.8.	Freze tezgahı.....	68
Şekil.3.1.	0,2 mm kesme derinliği ve 150 m/dak kesme hızında, ilerleme miktarına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değişimleri.....	72
Şekil.3.2.	0,2 mm kesme derinliği ve 300 m/dak kesme hızında, ilerleme miktarına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değişimleri.....	72
Şekil.3.3.	0,2 mm kesme derinliği ve 450 m/dak kesme hızında, ilerleme miktarına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değişimleri.....	73

Şekil.3.4.	0,4 mm kesme derinliği ve 150 m/dak kesme hızında, ilerleme miktarına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değişimleri.....	73
Şekil.3.5.	0,4 mm kesme derinliği ve 300 m/dak kesme hızında, ilerleme miktarına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değişimleri.....	74
Şekil.3.6.	0,4 mm kesme derinliği ve 450 m/dak kesme hızında, ilerleme miktarına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değişimleri.....	74
Şekil.3.7.	0,6 mm kesme derinliği ve 150 m/dak kesme hızında, ilerleme miktarına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değişimleri.....	75
Şekil.3.8.	0,6 mm kesme derinliği ve 300 m/dak kesme hızında, ilerleme miktarına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değişimleri.....	75
Şekil.3.9.	0,6 mm kesme derinliği ve 450 m/dak kesme hızında, ilerleme miktarına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değişimleri.....	76
Şekil.3.10.	0,8 mm kesme derinliği ve 150 m/dak kesme hızında, ilerleme miktarına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değişimleri.....	76

Şekil.3.11.	0,8 mm kesme derinliği ve 300 m/dak kesme hızında, ilerleme miktarına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değişimleri.....	77
Şekil.3.12.	0,8 mm kesme derinliği ve 450 m/dak kesme hızında, ilerleme miktarına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değişimleri.....	77
Şekil.3.13.	0,2 mm kesme derinliği ve 0,25 mm/dev ilerleme miktarında, kesme hızına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değişimleri.....	79
Şekil.3.14.	0,2 mm kesme derinliği ve 0,30 mm/dev ilerleme miktarında, kesme hızına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değişimleri.....	80
Şekil.3.15.	0,2 mm kesme derinliği ve 0,35 mm/dev ilerleme miktarında, kesme hızına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değişimleri.....	80
Şekil.3.16.	0,4 mm kesme derinliği ve 0,25 mm/dev ilerleme miktarında, kesme hızına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değişimleri.....	81
Şekil.3.17.	0,4 mm kesme derinliği ve 0,3 mm/dev ilerleme miktarında, kesme hızına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değişimleri.....	81

Şekil.3.18.	0,4 mm kesme derinliği ve 0,35 mm/dev ilerleme miktarında, kesme hızına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değişimleri.....	82
Şekil.3.19.	0,6 mm kesme derinliği ve 0,25 mm/dev ilerleme miktarında, kesme hızına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değişimleri.....	82
Şekil.3.20.	0,6 mm kesme derinliği ve 0,30 mm/dev ilerleme miktarında, kesme hızına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değişimleri.....	83
Şekil.3.21.	0,6 mm kesme derinliği ve 0,35 mm/dev ilerleme miktarında, kesme hızına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değişimleri.....	83
Şekil.3.22.	0,8 mm kesme derinliği ve 0,25 mm/dev ilerleme miktarında, kesme hızına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değişimleri.....	84
Şekil.3.23.	0,8 mm kesme derinliği ve 0,30 mm/dev ilerleme miktarında, kesme hızına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değişimleri.....	84
Şekil.3.24.	0,8 mm kesme derinliği ve 0,35 mm/dev ilerleme miktarında, kesme hızına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değişimleri.....	85

Şekil.3.25.	150 m/dak kesme hızı ve 0,25 mm/dev ilerleme miktarında, kesme derinliğine bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değişimleri.....	87
Şekil.3.26.	300 m/dak kesme hızı ve 0,25 mm/dev ilerleme miktarında, kesme derinliğine bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değişimleri.....	88
Şekil.3.27.	450 m/dak kesme hızı ve 0,25 mm/dev ilerleme miktarında, kesme derinliğine bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değişimleri.....	88
Şekil.3.28.	0,5 mm kesme derinliği ve 250 m/dak kesme hızında, ilerleme miktarına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değişimleri.....	91
Şekil.3.29.	0,5 mm kesme derinliği ve 600 m/dak kesme hızında, ilerleme miktarına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değişimleri.....	91
Şekil.3.30.	0,5 mm kesme derinliği ve 900 m/dak kesme hızında, ilerleme miktarına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değişimleri.....	92
Şekil.3.31.	1 mm kesme derinliği ve 250 m/dak kesme hızında, ilerleme miktarına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değişimleri.....	92

Şekil.3.32.	1 mm kesme derinliği ve 600 m/dak kesme hızında, ilerleme miktarına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değişimleri.....	93
Şekil.3.33.	1 mm kesme derinliği ve 900 m/dak kesme hızında, ilerleme miktarına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değişimleri.....	93
Şekil.3.34.	1,5 mm kesme derinliği ve 250 m/dak kesme hızında, ilerleme miktarına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değişimleri.....	94
Şekil.3.35.	1,5 mm kesme derinliği ve 600 m/dak kesme hızında, ilerleme miktarına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değişimleri.....	94
Şekil.3.36.	1,5 mm kesme derinliği ve 900 m/dak kesme hızında, ilerleme miktarına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değişimleri.....	95
Şekil.3.37.	0,5 mm kesme derinliği ve 0,1 mm/diş ilerleme miktarında, kesme hızına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değişimleri.....	97
Şekil.3.38.	0,5 mm kesme derinliği ve 0,2 mm/ diş ilerleme miktarında, kesme hızına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değişimleri.....	97

Şekil.3.39.	0,5 mm kesme derinliği ve 0,3 mm/ diş ilerleme miktarında, kesme hızına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değişimleri.....	98
Şekil.3.40.	1 mm kesme derinliği ve 0,1 mm/ diş ilerleme miktarında, kesme hızına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değişimleri.....	98
Şekil.3.41.	1 mm kesme derinliği ve 0,2 mm/ diş ilerleme miktarında, kesme hızına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değişimleri.....	99
Şekil.3.42.	1 mm kesme derinliği ve 0,3 mm/ diş ilerleme miktarında, kesme hızına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değişimleri.....	99
Şekil.3.43.	1,5 mm kesme derinliği ve 0,1 mm/ diş ilerleme miktarında, kesme hızına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değişimleri.....	100
Şekil.3.44.	1,5 mm kesme derinliği ve 0,2 mm/ diş ilerleme miktarında, kesme hızına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değişimleri.....	100
Şekil.3.45.	Kesici Takım Ucu Kaplama Bölgesinden Alınmış SEM ve (EDS) Kimyasal Analizi.....	101
Şekil.3.46.	Kesici Takım Ucunda Sıvanmış Al için Alınan SEM Görüntüsü ve (EDS) Kimyasal Analizi.....	102

Şekil.3.47.	600 m/dak kesme hızı ve 0,1 mm/diş İlerleme miktarında, kesme derinliğine bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değişimleri.....	103
Şekil.3.48.	900 m/dak kesme hızı ve 0,1 mm/diş İlerleme miktarında, kesme derinliğine bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değişimleri.....	103
Şekil.3.49.	Nokta Referans Bölgeden Alınan SEM Görüntüsü ve (EDS) Kimyasal Analizi.....	105
Şekil.3.50.	Kesici Takım Ucu Kaplama Bölgesinden Alınmış SEM ve (EDS)Kimyasal Analizi.....	106
Şekil.3.51.	Kesici Takım Ucunda Sıvanmış Al için Alınan SEM Görüntüsü ve (EDS) Kimyasal Analizi.....	107

SİMGELER DİZİNİ

A	: Talaş kesit alanı, mm ²
Al	: Alüminyum
Al ₂ O ₃	: Alüminyum Oksit
Ap	: Radyal talaş derinliği, mm
b	: Talaş Genişliği
Cu	: Bakır
D	: Takım çapı, mm
f	: İlerleme mm/dev
F	: İtme kuvveti (N)
F _{f,r}	: Kesici takım üzerinde talaş akışı yönündeki kuvvet bileşeni
F _z	: Matkap eksenine paralel kesici takım üstündeki kuvvet bileşeni
F _a	: Eksenel kuvvet
F _c	: Kesici takımın kesme yönündeki kuvvetin bileşeni
F _e	: Toplam teğetsel kuvvet (N)
F _{rz}	: Radyal kuvvet, N
F _{sz}	: Kesme kuvveti, N
F _{vz}	: İlerleme kuvveti, N
h ₀	: Talaş derinliği
h ₁	: Deformasyona uğramış talaş kalınlığı, mm
h ₂	: Teorik talaş kalınlığı, mm
L	: İlerleme uzunluğu, mm
n	: Devir sayısı, dev/min
N	: Newton
P	: Güç (kw)
Q	: Talaş Hacmi

R_a	: Ortalama yüzey pürüzlülüğü (mikrometre)
Si	: Silisyum
t	: Zaman
T_o	: Ortam sıcaklığı
$T_{\text{takım}}$	: Takım –talaş temas alanı üzerinde takımın ortalama sıcaklığı
$T_{\text{talaş}}$	: Takım -talaş temas alanı üzerinde talaşın ortalama sıcaklığı
t_2	: Talaş kalınlığı
TiC	: Titanyum Karbür
TiCN	: Titanyum Karbür Nitrür
TiN	: Titanyum Nitrür
u	: Takımın ilerlemesi
v	: Takımın dönmesi
V_c	: Kesme hızı, m/dak
V_f	: İlerleme hızı, mm/dak
V_{kesme}	: Kesme hızı
$V_{\text{talaş}}$	: Talaş hızı
Z	: Takım ömrü (dak)
α	: Yan açısı
η	: Talaş açısı
λ	: Eğim açısı

KISALTMALAR DİZİNİ

AISI	: Amerika Demir ve Çelik Standartları Kurumu
ANOVA	: Varyans Analizi (Analysis of Variance)
BUE	: Kesici Köşelerde Kenar Birikimleri Oluşumu
KBN	: Kübik Bor Nitrür
CNC	: Bilgisayarlı Sayısal Kontrol
CVD	: Kimyasal Buhar Biriktirme
HSS	: Yüksek Hız Çeliği
MQL	: Minimum Yağlayıcı Miktarı
MW	: Mikro Dalga Frekansı
PVD	: Fiziksel Buhar Biriktirme
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu (Scanning Elektron Microscope)

BÖLÜM 1

1.1. GİRİŞ

Günümüzde gelişen teknolojiyle birlikte çok çeşitli talaşlı imalat yöntemleri mevcuttur. Endüstride kullanılan birçok parçanın istenilen yüzey, boyut ve şekil kalitesinde olması için; yüzeylerinin bir kısmı veya tamamının talaşlı imalat yöntemleriyle tekrar işlenmesi gerekir.

Talaşlı imalat; takım tezgâhları kullanarak kesici vasıtasıyla malzemelerin talaş kaldırılarak istenilen ölçülerde imal edilmesidir. Talaş kaldırma işlemi, eski çağlardan beri kullanılan bir yöntemdir. Talaşlı imalatta tornalama, frezeleme, delme, vargelleme, broşlama, honlama ve taşlama gibi, her biri çok farklı amaca sahip, çok çeşitli talaş kaldırma yöntemleri mevcuttur. Tornalama işlemi imalatı bitirme işlemi değildir ancak diğer işlemlere geçiş işlemi olduğundan; imal edilen parçaların yüzey kalitesi önemlidir. İmalatta esas olan malzemeleri, deformasyona uğratmadan en kısa sürede, en az maliyetle üretilmektedir.

Her işleme tekniğinin doğrudan veya dolaylı olarak etkilendiği işleme parametreleri vardır. Bu parametrelerin işleme sırasında her birinin ayrı ayrı etkilerinin yanı sıra, birbiriyle de etkileşimi söz konusudur. Eğer bu parametrelerin ilişkileri iyi bilinmez ve büyüklükleri doğru seçilmezse, yapılacak işlemin sonucu önceden tahmin edilemeyecektir. El yordamına ve göz kararına bırakılacak parametre seçimi, bir

önceki ve bir sonraki işleme göre aynı değerde olmayacağından, genellikle farklı sonuçlar elde edilecektir. Bu durum ise; çözülmesi gereken bir problem olarak ortaya çıkmaktadır (Güllü 1995).

Frezeleme işleminde olduğu gibi verimli bir tornalama işlemine etki eden en önemli faktörler; kesme hızı, ilerleme miktarı ve talaş derinliğidir. Kesici çok düşük hızda çalıştırılırsa çok zaman kaybolurken, yüksek hızda çabuk aşınmadan dolayı kesici ucun değiştirilmesi de zaman kaybına yol açar. Bu sebeplerden kesilen malzemeler için uygun kesme hızının seçimi önemlidir. Buna ilaveten, ilerleme miktarı da önemli olup, iş parçası çok yavaş ilerlerse tornalama işlemi çok geç bitecek, tırlama oluşacak ve kesici ucun ömrü azalabilecektir. İş parçası çok hızlı ilerlerse kesme ucu kırılabilir ya da yeterli talaş derinliği verilmezse işlemi tamamlamak için daha fazla işlem yapılabilir. Bu zaman kaybına neden olur. İlerleme miktarı, kesme hızı ve talaş derinliği tornalama işleminde dikkat edilmesi gereken en önemli üç faktördür (Şahin 2000).

Talaşlı imalatta amaç parçalara belirli bir şekli vermenin yanında, aynı zamanda parçayı önceden belirlenen boyut ve yüzey kalitesinde üretmektir. Üretimi yapılan parçanın istenen yüzey kalitesinde olmaması parçanın hurdaya gitmesine sebep olmakla beraber; kesici takım, enerji, işçilik giderlerinin artması ve zaman kayıplarına neden olmaktadır. Böylece işlem maliyeti artmaktadır. Bununla birlikte üretilen parçaların gereğinden fazla yüzey kalitesine sahip olması da istenilen bir durum değildir. Çünkü yüzey kalitesi arttıkça işlem maliyeti de artmaktadır. İmal edilen parçaların kullanım amacına göre yeteri kadar yüzey pürüzlülüğüne sahip olması gerekir. İstenen yüzey kalitesine hangi geometriye sahip takım ve

parametrelerin seçimi ile ulaşılacağıının önceden bilinmesi gereklidir. İşlem sonunda düşük yüzey pürüzlülük değerleri elde etmek için genel olarak yüksek kesme hızı, düşük ilerleme miktarı ve talaş derinliği ile büyük uç yarıçapına sahip takım seçilmelidir. İyi seçilmeyen parametreler kesicilerin kırılması, hızlı aşınması ve yanması gibi ekonomik kayıpların yanında, iş parçasının bozulması veya yeni bir işlem gerektirecek derecede iş parçası yüzey kalitesinin yetersizliği gibi yine ekonomik kayba ve zaman israfına sebep olacaktır (Güllü 1995).

Günümüzde artık otomotiv, uzay, uçak, silah, eşya, inşaat, ısıtma-soğutma vb. sanayinin birçok alanında alüminyum alaşımları kullanılmaktadır. Dünyada ve ülkemizde alüminyum kullanımı giderek artmaktadır. Alüminyumun avantajlı özellikleri bu metalin endüstrisinin hızlı büyümesine sebep olmuştur. Bu özellikler alüminyumu çok çeşitli kullanılabilen mühendislik ve yapı malzemelerinden biri yapmaktadır. Alüminyum ağırlıkça hafiftir ve alaşımları yapı çeliklerinden daha fazla mukavemetlendirilmiştir. Alüminyumun ısıl iletkenliği ve elektrik iletkenliği yüksektir. Korozyon direnci de gayet iyidir. Alüminyum dökülebilir ve pek çok şekle getirilebilir. Geniş bir aralıkta iyi yüzey kalitesi verir. Bu üstün özellikleri sayesinde alüminyumun mühendislik malzemesi olarak büyük önem kazanması şaşırtıcı değildir (Smith 2001).

Yapılan literatür taramasında alüminyum alaşımlarının frezeleme yöntemiyle talaşlı olarak işlenmesi üzerine detaylı çalışmaların olmadığı görülmüştür. Gerçekleştirilen bu çalışmanın amacı, alüminyum alaşımının talaşlı olarak işlenmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkilerini araştırmaktır. Yüzey pürüzlülüğüne etkileyen kesme parametrelerin belirlenmesi ve kesici takımında oluşacak olan değişimin

irdelenmesi ile alüminyumun işlenmesinde optimum çözüme ulaşılacak, zaman ve maliyet kaybının önüne geçilecektir.

1.2. LİTERATÜR ÖZETLERİ

Talaş kaldırma işlemi eski çağlardan beri tanınmasına rağmen, sadece son yüzyılda, sistematik çabalar bu prosesi bilimsel hale getirmiştir. Talaş kaldırma işlemi çok dar bölgede görünmesine rağmen, araştırmacılar için oldukça geniş alana sahiptir. Talaş kaldırma prosesinin ekonomikliği için büyük çabalar sarf edilmiştir.

Yapılan çalışmalarda kesme parametreleriyle yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişki bulunmaya çalışılmıştır. Hız çeliği takımlar için kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkilerini deneysel olarak incelenmiştir (Işık ve Çakır 2001). Bu çalışmada talaş kaldırma işlemlerinde yüzey pürüzlülüğünün önceden tahmini için bir model geliştirilmiştir. Teorik olarak bulunan yüzey pürüzlülüğü değerleri deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmış ve ikisi arasında uygunluk olduğu görülmüştür. Yapılan deneyler sonunda, ilerleme ve talaş derinliğinin yüzey pürüzlülüğünü arttırdığı, köşe radyüsünün artmasının ise pürüzlülüğü azalttığı görülmüştür. Hız çeliği için belirlenen kesme hızlarının yüzey pürüzlülüğü üzerinde herhangi bir etkisi tespit edilmemiştir.

Çiftçi (2005), yaptığı çalışmada östenitik paslanmaz çeliklerin işlenmesinde kesici takım kaplamasının ve kesme hızının kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğüne etkisini araştırmıştır. Bu çalışmada iki farklı östenitik paslanmaz çelik (AISI 304 ve

AISI 316) soğutma sıvısı kullanılmadan tornalama metoduyla, TiC/TiCN/TiN ve TiCN/TiC/Al₂O₃ katmanlarıyla çok katlı kaplanmış sementit karbür kesici takım kullanarak işlenmiştir. Deneyler dört farklı kesme hızında (120, 150, 180 ve 210 m/dak), ilerleme hızı 0,16 mm/dev ve talaş derinliği 1,6 mm sabit tutularak yapılmıştır. Kesme hızının kesme kuvvetlerini önemli derecede etkilemediği ancak yüzey pürüzlülüğüne etkisinin önemli olduğu görülmüştür. 180 m/dak kesme hızına kadar yüzey pürüzlülük değerinde azalma olmuş, bu değerden sonra yüzey pürüzlülüğünde artış görülmüştür. Bu durum yüksek kesme hızlarında kesici takım ucundaki muhtemel küçük kırılmalarla açıklanmıştır.

Güllü ve Özdemir (2003), prizmatik parçaların talaşlı işlenmesinde kesme parametreleri ile yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişkiyi deneysel olarak belirlemek için yaptıkları çalışmada, beş farklı kesme hızı, dört farklı ilerleme ve üç farklı kesme derinliği kullanmışlardır. Çalışma sonunda 0,8 mm kesme derinliğinde, ilerleme arttıkça pürüzlülük değerinin de arttığını, 0,6 mm kesme derinliği ve yüksek ilerlemelerde 0,8 mm'nin tersine pürüzlülükte iyileşme görüldüğünü, 0,4 mm'de ise yüzey pürüzlülük değerinin daha da iyileştiğini belirlemişlerdir.

Gökkaya vd. (2004), AISI 1030 çeliğini PVD ve CVD kaplamalı sementit karbür kesici takımlarla, 2 mm sabit kesme derinliğinde işleyerek, kesme hızı ve ilerleme miktarının yüzey pürüzlülüğüne etkisini araştırmışlardır. Deneylerde, 0,25-0,45 mm/dev arasında beş farklı ilerleme ile 100, 200 ve 300 m/dak olmak üzere üç farklı kesme hızı kullanmışlardır. İlerleme miktarının % 80 azaltılmasıyla % 176, kesme hızının % 200

arttırılması ile de % 13 yüzey pürüzlülüğünde iyileşme sağlanmıştır. En düşük yüzey pürüzlülüğünü TiN kaplı kesici takım ile elde etmişlerdir. Ayrıca Gökkaya vd. (2006), aynı malzeme ve kesme parametreleri, fakat kaplamasız sementit karbür kesici takım kullanarak yaptıkları bir başka çalışmada ise, en düşük yüzey pürüzlülüğünü 100 m/dak kesme hızında elde etmişlerdir. Yüzey pürüzlülüğünde, ilerleme değerinin % 80 azaltılmasıyla % 215, kesme hızının % 200 azaltılmasıyla % 13 iyileşme olduğu görülmüştür.

Eriksen (1999) “İmalat parametrelerinin, kısa fiberlerle güçlendirilmiş termoplastikler üzerindeki etkileri” adlı çalışmada, kısa fiberlerle güçlendirilmiş termoplastiklerin torna ile işlenmesinde kesme hızı, ilerleme hızı, kesici takım yarıçapı ve fiber doğrultusunun yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisini incelemiştir. İlerleme miktarının 0,1 mm/dev değerinin üzerinde olduğu durumlarda yüzey pürüzlülüğünün arttığı, takım uç yarıçapı büyüdüğünde yüzey pürüzlülüğünün azaldığı görülmüştür. Ayrıca kesme hızı 500 m/dak’ya ulaştığında yüzey pürüzlülüğünün arttığı, 1500 m/dak’ya varan yüksek kesme hızı değerlerinde ise; yüzey pürüzlülüğünün kesme hızından etkilenmediği belirtilmiştir.

Kopac ve Bahor (1999) tarafından yapılan diğer çalışmada ise, sanayide çok kullanılan temperlenmiş Ç106 ve Ç4140 çeliklerinde, işleme parametrelerinin rastgele seçimi ile ne tür durumlarla karşılaşılabilceği üzerinde durulmuştur. Çalışmalarında her iki çelik malzeme için büyük uç yarıçaplı takım kullanıldığında, düşük yüzey pürüzlülüğü elde edildiği sonucuna ulaşmışlardır.

Korkut ve Dönertaş (2007) AISI 1020 ve AISI 1040 çeliklerini kullanarak yaptıkları çalışmada, yüzey frezelemede kesme hızı ve ilerleme miktarının kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve takım-talaş temas uzunluğu üzerine etkilerini araştırmışlardır. Aynı kesme şartlarında AISI 1020 çeliğinde, AISI 1040 çeliğine göre daha düşük yüzey pürüzlülüğü elde edilmiş ve kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülük değerlerinin azaldığı rapor edilmiştir.

Korkut vd. (2004) tarafından yapılan bir başka çalışmada ise; sinterlenmiş karbür kesici takım kullanarak AISI 304 östenitik çeliğin tornalanmasında kesme hızının takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi araştırmışlardır. Farklı kesme hızları kullandıkları çalışmada, kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün azaldığı ve düşük kesme hızlarında BUE (talaş sıvanması ve yapışması) oluştuğu bildirilmiştir.

Sai vd. (2001) karbon ve paslanmaz çeliği kullandıkları çalışmada ise, bitirme yüzeyi frezelemede, işlenebilirlik parametrelerinin yüzey oluşumları üzerine etkilerini incelemişlerdir. Her iki deney malzemesi içinde, R_a pürüzlülük değeri ilerleme miktarının artmasıyla artmış, kesme hızının artmasıyla azalmıştır. Araştırmacılar artan kesme hızıyla yüzey pürüzlülük değerinin azalmasını, hız artışıyla birlikte takım talaş temas uzunluğunun kısılmasına ve kesme kuvvetlerinin azalmasına, bu yüzden de deformasyonların küçülmesine bağlamışlardır. Araştırmacılar ayrıca; düşük kesme hızlarında BUE oluştuğunu ve yüzey pürüzlülüğünün arttığını belirtmişlerdir. Bunu yanında paslanmaz çelikteki yüzey kalitesinin, malzemeler arasındaki sertlik ve makro yapının farklı olmasından dolayı, karbon çeliğinden daha kötü olduğu rapor edilmiştir.

Ghani ve Choudhury (2002) alışmalarında, kesme hızı, ilerleme hızı ile talaş derinliği gibi kesme parametrelerinin ve takım üzerindeki titreşimin yan kenar aşınması ve yüzey pürüzlölüğüne etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Kesme hızı, ilerleme hızı ve talaş derinliğinin arttırılmasıyla yan kenar aşınması hızlanmıştır. Yan kenar aşınmasının artışıyla yüzey pürüzlölüğü ile takım üzerinde oluşan titreşim genliği ve ivmesi de artmıştır.

Gezgin (2007) AISI D3 soğuk iş takım eliğinin CNC dikey işleme merkezinde kaplamalı karbür takımlarla işlenmesinde, kesici uç sayısı, kesme hızı ve ilerleme miktarının, takım ömrü, kaldırılan talaş hacmi ve yüzey pürüzlölüğü üzerindeki etkilerini incelemiştir. Yapılan deneyler sonunda kesici uç sayısı, kesme hızı ve ilerleme miktarının artmasıyla takım ömrünün azaldığı belirtilmiştir. Ayrıca yüzey pürüzlölük değerlerine, kesme hızının önemli bir etkisi olmazken, kesici uç sayısı ve ilerleme miktarının artmasıyla yüzey pürüzlölük değerleri artmıştır.

Baek vd. (2001) düzlem yüzey frezeleme işleminde dinamik bir model üzerinde çalışmışlardır. Yüzey pürüzlölüğünü analitik olarak hesap edebilmek için matematiksek bir model geliştirmişlerdir. Deneylerde yüzey düzgünlüğü ve kesme parametrelerinin yüzey pürüzlölüğüne etkileri incelenmiştir.

Sağlam (2001) “Frezelemede kesme parametreleri ile kesme kuvvetlerinin değişimi ve bunların takım aşınması ile yüzey pürüzlölüğü üzerindeki etkilerinin deneysel incelenmesi” adlı çalışmasında, kesme parametreleri, kesme kuvvetleri, serbest yüzey

aşınması ve yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişkileri araştırmıştır. Kesme kuvvetleri üzerinde talaş derinliği ve ilerlemenin daha etkili olduğunu belirtmiştir. Ayrıca aşınmadan dolayı takım uç kavisinin artmasıyla, aşınmanın belli bir değerine kadar yüzey pürüzlülüğü değerinin azaldığı, bu değerden sonra yükseldiği ve takım ömrünü tamamladıktan sonra ise aşırı arttığı rapor edilmiştir.

Özçelik ve Bayramoğlu (2006) yaptıkları çalışmada ise, düzlem yüzeylerin yüksek hızda en son frezelenmesinde, yüzey pürüzlülüğünün önceden tahmini için bir model geliştirmişlerdir. Çalışmada modeli geliştirmek için kesme hızı, ilerleme oranı, kesme derinliği ve kesici takımın iş parçası üzerine basma miktarı değişken olarak kullanılmıştır. Testler ve analizler sonucunda modelin başarı oranı % 87,9 bulunmuş, toplam işleme zamanının dâhil edilmesiyle de başarı oranı % 94'e yükselmiştir.

Benzer bir çalışma da Reddy ve Rao (2005) tarafından yapılmıştır. Çalışmada orta karbonlu çeliklerin frezelenmesinde yüzey pürüzlülüğünün önceden tahmini için uygun kesici takım geometrisi ve kesme parametrelerinin seçimiyle ilgili bir model geliştirmişlerdir. Yüzey pürüzlülüğü modelini optimize etmek için genetik algoritmalar kullanılarak bir de deneme yapılmıştır. Araştırma sonunda kesme hızı, ilerleme, radyal uç açısı ve kesici takım burun yarıçapının yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en önemli faktörler olduğu belirtilmiştir.

Benardos ve Vosniakos (2002) ise; CNC yüzey frezelemede yapay sinir ağlarını kullanarak Taguchi metoduyla yüzey pürüzlülüğünün tahmini için bir model geliştirmişlerdir. Çalışmada faktör olarak kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği, kesici

takım kaplaması, kesme kuvvetleri ve kesme sıvısı kullanımı ele alınmıştır. Modelin yüzey pürüzlülüğü tahmininde hata oranı % 1,86 olarak bulunmuş ve başarılı olduğu bildirilmiştir. Çalışma sonunda yüzey pürüzlülüğünde sırasıyla ilerleme, kesme kuvvetleri, kesme derinliği, kesici takım kaplaması ve kesme sıvısı kullanımı en etkili faktörler olarak rapor edilmiştir.

Lamikiz vd. (2001) alüminyum-silisyum alaşımlarının yüksek hızda frezelenmesi üzerine yaptıkları araştırmada ise; değişik kesici takımların performansını ve minimum soğutma sıvısı (MSS) kullanımını değerlendirmişlerdir. Çalışma sonunda MSS kullanımı talaşların uzaklaştırılmasına yardım ettiği ve işlem maliyetini düşürdüğü için tavsiye edilmiştir.

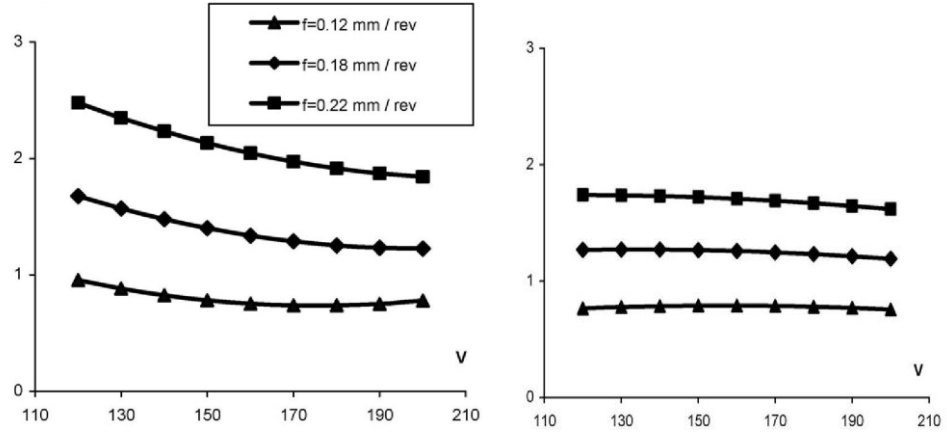
Lahres vd. (1997) tarafından yapılan çalışmada, alüminyum alaşımlarının kuru frezelenmesinde farklı kaplamaya sahip kesici takımların kullanılabilirliği incelenmiştir. Çalışma sonunda alüminyum alaşımlarının frezelenmesinde, WC/C, CrC/C, Tin+ MoS₂ ve elmas kaplamalı kesici takımların kullanılabileceğini rapor etmişlerdir.

Hüseyinoğlu (2008) “7075 Alüminyum alaşımın freze ile işlenmesinde minimum soğutma sıvısı kullanmanın performans karakteristiklerine etkisi” adlı çalışmasında, minimum soğutma sıvısı ve geleneksel soğutma tekniği kullanarak frezeleme işleminde kesme parametreleri ile kesici takım çeşidinin çapak oluşumu ve yüzey pürüzlülüğüne etkilerini araştırmıştır. Deneylerde üç farklı kesici takım (HSS, TiN ve Karbür), devir sayısı (260, 780 ve 1330 dev/dak) ve ilerleme miktarı (20, 40 ve 80mm/diş)

kullanılmıştır. İlerleme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün arttığı fakat devir sayısı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca karbür takımlarla yapılan deneylerde TiN ve HSS takımlara göre daha düşük yüzey pürüzlülük değerlerine ulaşıldığı bildirilmiştir.

Çakır vd. (2009) ise yaptıkları çalışmada, soğuk iş takım çeliğinin tornada işlenmesinde kaplama malzemesi ve kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkilerini değerlendirmek için matematiksel bir model oluşturmuşlardır. Kesici takım olarak aynı geometriye sahip (CNMG 120408) CVD yöntemiyle kaplanmış, TiCN, Al₂O₃ ve TiN katmanlarına sahip “Uç 1” ile PVD yöntemiyle kaplanmış, TiAlN katmanına sahip “Uç 2” kullanılmıştır. Benzer çalışmalarda olduğu gibi ilerleme miktarının artmasıyla yüzey pürüzlülüğü artmış, kesme hızının artmasıyla azalmıştır.

Kesme derinliğinin pürüzlülüğe önemli bir etkisi olmamıştır. Uç 1’in kullanıldığı deneylerde Uç 2’nin kullanıldığı deneylere göre genel olarak daha düşük yüzey pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. Şekil 1.2.1’de Uç 1 ve Uç 2’nin kesme parametrelerine göre yüzey pürüzlülük değişimleri görülmektedir.



Şekil 1.2.1. Uç 1 ve Uç 2'nin kesme parametrelerine göre yüzey pürüzlülük değişimleri (Çakır vd. 2009).

Sağlam (2001) “Talaşlı işlemede kesme parametreleri ile kesme kuvvetlerinin değişimi ve bunların takım aşınması ile yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerinin deneysel incelenmesi” adlı çalışmasında, kesme parametreleri, kesme kuvvetleri, serbest yüzey aşınması ve yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişkileri araştırmıştır. Kesme kuvvetleri üzerinde talaş derinliği ve ilerlemenin daha etkili olduğunu belirtmiştir.

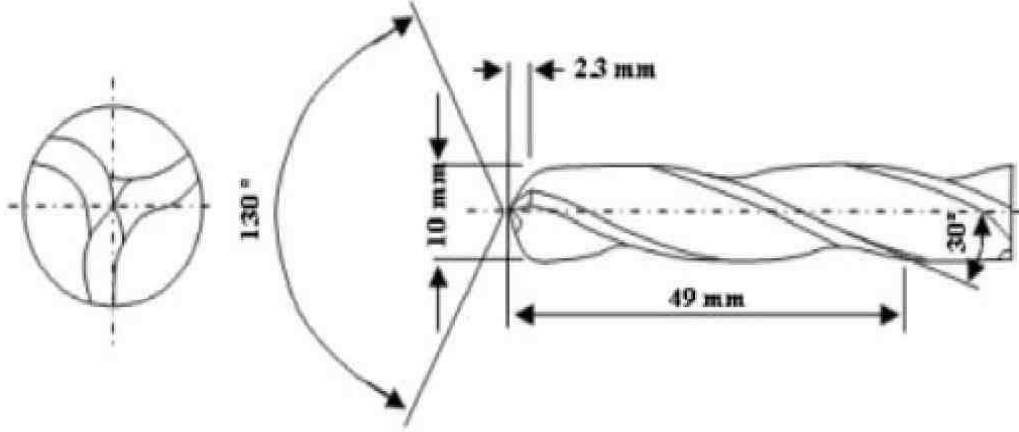
Reis ve Abrao (2005), 6351-T6 alüminyum alaşımının torna ile işlenirken, sementit karbür, elmas kaplı karbür ve çok kristalli elmas (PCD) olmak üzere üç farklı kesici takım kullanarak, kesme kuvvetleri, bitirme yüzeyi kalitesi ve işleme sıcaklığını araştırmışlardır. Deneyler sonucunda, kesme hızının artmasıyla kesme kuvvetinin düştüğü, ilerleme oranı ve kesme derinliğinin artmasıyla kesme kuvvetinin yükseldiğini tespit etmişlerdir. Çok kristalli elmas kesici takımı en düşük teğetsel ve eksenel kuvvetler ile en yüksek radyal kuvveti ortaya koymuş ve bu takımla en iyi yüzey kalitesi elde edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü en fazla ilerleme miktarından etkilenmiştir. Kesici

takım-talaş ara yüzey sıcaklığı; kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesme derinliğinin üçünden de doğrusal olarak etkilenmesine rağmen, en fazla kesme hızından etkilenmiştir.

Nalbant vd. (2007) Inconel 718 süper alaşımının CNC tornada işlenmesinde, kaplama malzemesi, kesme hızı ve kesici takım geometrisinin işlenebilme özelliklerine etkisini incelemişlerdir. Talaş derinliği ve ilerleme miktarı sabit tutularak, beş farklı kesme hızı uygulanmıştır. Kesme hızı artınca kesme kuvveti azalırken yüzey pürüzlülüğü artmıştır. En az yüzey pürüzlülüğü tek katmanlı (TiN) sinterlenmiş karbür uçlarla elde edilmiştir. Minimum kesme kuvveti çok katmanlı (Al_2O_3) karbür takımla elde edilirken; maksimum kesme kuvveti tek katmanlı (TiN) karbür takımla sağlanmıştır. Ayrıca; yüzey pürüzlülüğünün azaltılması açısından yuvarlak burunlu takımların uygun olduğu tespit edilmiştir.

Rivero vd. (2006), 7075-T6 alüminyum alaşımlarının kuru delme performansı üzerine kesici takım kaplamasının ve kesme parametrelerinin etkisini deneysel olarak araştırmışlardır. Çalışmada üç farklı kesme hızı (150-200 ve 250 m/dak), beş farklı ilerleme miktarı (0,2-0,3-0,4-0,5 ve 0,6 mm/dev) ile kaplamalı ve kaplamasız olmak üzere 10 mm çapında matkaplar kullanılmıştır. Kullanılan matkap geometrisi Şekil 1.2.2’de görülmektedir. Deneyler sonunda araştırmacılar, kesme alanının sıcaklığı, kuru delme işleminin performansını fazlasıyla etkilediği için, düşük işlem sıcaklıklarına erişmeyi hedeflemişlerdir. Bütün ilerleme oranları için 200 m/dak kesme hızında, kesici takım sıcaklığı en aza düşürülmüştür. Alüminyum

alaşımlarının etkin bir şekilde kuru olarak delinmesinin mümkün olduğunu tespit etmişlerdir.

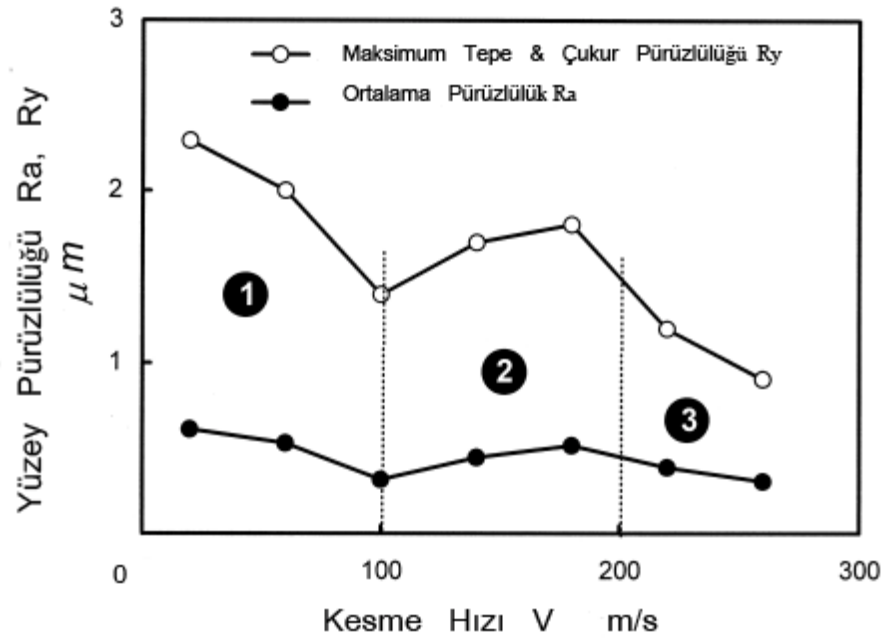


Şekil 1. 2. 2. Matkap geometrisi (Rivero vd. 2006).

Benzer bir başka çalışmada Nouari vd. (2005) tarafından yapılmıştır. AA 2024 alüminyum alaşımlarının kuru olarak tornada delme işleminde, işleme parametreleri ve kesici takım çeşidinin aşınma mekanizmalarına etkisini incelemişlerdir. Çalışmalar sinterlenmiş tungsten karbür ile HSS kesici takımlar kullanılarak, 0,04 mm/dev sabit ilerleme miktarı ve üç değişik kesme hızında (25-65 ve 165 m/dak) yapılmıştır. Deneyler sonunda sinterlenmiş tungsten karbür takımın HSS takımına göre; kuru delme şartlarında delik çapında sapma ve yüzey pürüzlülüğü açısından daha uygun olduğu belirtilmiştir.

Yousefi ve Ichida (2000) yaptıkları çalışmada ise; alüminyum alaşımlarının yüksek hızda torna tezgâhında işlenmesinde kesme hızının yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvvetleri, talaş tipi ve talaş genişliğine olan etkilerini araştırmışlardır. 20-260 m/s arasında kesme hızları uygulanmıştır. Tüm deneylerde genel olarak kesme hızının

artmasıyla yüzey pürüzlülüğü azalmaya yönelmiştir. Fakat 100-200 m/s hız aralığında takım kesme kenarında meydana gelen talaş yapışması yüzey pürüzlülüğünde artışa neden olmuştur. Şekil 1.2.3 kesme hızına göre; yüzey pürüzlülüğü değişimini göstermektedir. 20-260 m/s hız aralığında sürekli talaş tipi görülmüş olup; 100-200 m/s hız aralığında talaş genişliği azalmıştır. Kesme kuvvetlerinin ise; 100 m/s' ye kadar hızın artmasıyla azaldığı fakat 100 m/s' den sonra kesme kuvvetlerinin biraz artış eğilimi gösterdiği tespit edilmiştir.



Şekil 1. 2. 3. Yüzey pürüzlülüğünün kesme hızına göre değişimi (Yousefi ve Ichida 2000).

Belirtilen bilgilerin ışığında, kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne ve kesici takıma olan etkilerinin anlaşılması için, ilk önce farklı kesme parametreler içeren deneyler gerçekleştirilecektir. Bu parametrelerin etkisi analiz yöntemleriyle irdelenip en çok etki eden parametre belirlenecektir ve bu değişkenin takım aşınmasına olan etkisi araştırılacaktır. Bu sayede literatürdeki eksiklik giderilecektir.

1.3. ALÜMİNYUM

1.3.1. Alüminyumun Tarihçesi

Alüminyum demirden sonra en fazla kullanılan metal olmasına rağmen tarihçesi çok eski değildir. Alüminyumun endüstriyel çapta üretimi ise, 1886 yılında ABD'de Charles Martin Hall ve Fransa'da Paul T. Heroult'un birbirlerinden habersiz olarak yaptıkları elektroliz yöntemi ile başlamıştır. 1886 yılında Werner von Siemens'in dinamoyu keşfi ve 1892 yılında K.J.Bayer'in, boksitten alümina eldesini sağlayan Bayer prosesini bulması ile alüminyumun üretimi çok kolaylaşmış ve demir çelikten sonra dünyada en çok kullanılan ikinci metal olmuştur. Günümüzde, Fransız Paul.T. Herault ve Amerikalı Charles Martin Hall üretim yöntemi patentleri (1892) kullanılmaktadır.

Alüminyum kullanımının hızla yaygınlaşmasının nedenleri; demir ve bakırın 1/3'ü oranında hafif olması ve bakıra kıyasla daha iletken olmasıdır. Alaşımlandırma ile de, korozyona karşı mukavemetli, yüksek dayanım dirençli ve kolay işlenebilme ile biçimlendirilebilme kabiliyeti olan alaşımlar geliştirilmiştir. Günümüzde alüminyum, mimari amaçla yapı endüstrisi, elektrik ileten malzeme, taşıt araçlarının birçok parçaları hatta motor bloğu dökümü, uçak ve uzay araçları, metalin boya pigmentleri, mutfak eşyaları ve ambalaj malzemesi gibi yüzlerce uygulama alanlarında kullanılmakta ayrıca her geçen gün yeni kullanım alanları bulunmaktadır.

1.3.2. Alüminyum Hakkında Genel Bilgiler

Alüminyum, yumuşak ve hafif bir metal olup mat gümüşümsü renktedir, alüminyum, yer kabuğunda en çok bulunan üçüncü elementtir. Saf alüminyumun çekme dayanımı yaklaşık 49 mega pascal (MPa) iken alaşımlandırıldığında bu değer 700 MPa'a çıkar. Yoğunluğu, çeliğin veya bakırın yaklaşık üçte biri kadardır. Çok üstün korozyon özelliklerine sahip olması, üzerinde oluşan oksit tabakasının koruyucu olmasındandır. Saf alüminyumun çekme dayanımı düşük olmakla birlikte, bakır, çinko, magnezyum, manganez ve silisyum gibi pek çok elementle alaşımlandırılarak mekanik özellikleri geliştirilebilir. Yüksek dayanım/ağırlık oranlarından ötürü alüminyum alaşımları uçak ve uzay araçlarının vazgeçilmez bileşenidir. Tüm bu nedenlerden dolayı günümüzde alüminyum aksanlı materyal kullanımı artmaktadır. Dünyadaki metaller içerisinde en fazla kullanım alanına sahip olan demirin kolay korozyona uğradığı ve ağırlığının alüminyuma göre fazla olduğu düşünülürse alüminyum kullanımının sanayide her geçen gün daha da fazla artacağı görülmektedir. Endüstrinin pek çok kolunda milyonlarca farklı ürünün yapımında kullanılmakta olup dünya ekonomisi içinde çok önemli bir yeri vardır.

Alüminyum hafif olması yanında, yüksek elektrik ve ısı iletkenliği, korozyona dayanıklılığı, imal kolaylığı ve diğer metaller ile yüksek çekme mukavemetine sahip alaşımlar oluşturabilmesi önemini artırmaktadır. Isı ve ışığa çok iyi yansıtmakta olup, manyetik değildir. Alüminyumun fiziksel özellikleri Çizelge 1.3.1.'de görülmektedir.

Çizelge 1.3.1. Alüminyumun fiziksel özellikleri

Fiziksel Özellik	Değeri
Atom Ağırlığı, r(gr)	26,97
Özgül ağırlığı (gr/cm ³)	2,7
Ergime Noktası (°C)	658
Kaynama Noktası (°C)	1800
Isı geçirgenlik katsayısı, k(W/mK)	173
Katı halden sıvı hale geçerken meydana gelen hacim büyümesi (%)	6,5

Alüminyum ve alaşımlarının gösterdiği mukavemet özellikleri malzemenin saflığına ve imal edildiği yöntem şekline göre farklılıklar gösterir.

Alüminyum oksijene karşı ilgisi çok fazladır. Hava ile temas neticesinde, kısa zamanda oksijen ile birleşerek alüminyum oksit (Al_2O_3) oluşturur. Bunun sonucu bütün yüzeyi çok renkli alümin tabakası ile örtülür. Alüminyum bu özellikleri korozyona karşı mukavemetini yükseltmektedir. Oluşan bu oksit tabakası su ile yıkamak suretiyle çıkartılmaz. Alüminyum bu özelliği kullanma sahasını genişletmiştir. Soğuk şekil değiştirme korozyon mukavemetini düşürür. Alüminyum saflık derecesi azaldığı takdirde de korozyon mukavemeti düşer. Yabancı elemanlar korozyon mukavemetini azaltmaktadır. Alüminyuma katılan alaşım elemanları, mukavemet özelliklerini yükseltir. Başlıca alaşım elemanları: Magnezyum (Mg), manganez (Mn), silisyum (Si), bakır (Cu), çinko (Zn) ve bazen de kurşun (Pb), nikel (Ni) ve titanyumdan (Ti) ibarettir.

Alüminyum alaşımları başlıca aşağıdaki özelliklere sahiptir:

1-Belirli bir hacim için yoğunluğu düşüktür.

2-İyi bir akıcılığı vardır. Bu da ince kesitlerin doldurulmasında önemlidir.

3-Mekanik özelliklerinin geniş dağılım aralığı vardır. Mukavemet, sertlik ve diğer özellikler ısıtıl işlem ile çok değişik değerlere ulaşabilir.

4-Hafifliğinden ötürü taşıma kolaylığı ve ucuzluğu vardır.

5-Elektrik iletkenliği ve hafif olması nedeni ile yüksek gerilim hatlarında kablo ve iletken parça olarak kullanılmaktadır. İşlenebilmesi kolaydır.

6-Düşük ergime ve döküm sıcaklıkları nedeniyle özellikle çelik, dökme demir gibi malzemeler göre eritme işlemi ve dökümü kolaydır.

7-Kimyasal stabilitesi nispeten iyidir.

8-Sıvı alüminyumdan kalıba ısı transferi hızlıdır.

9-Atmosferik ve nemli ortama karşı korozyon direnci yüksektir.

10-İyi yüzey düzgünlüğü ve parlaklığı vardır. Bu nedenle de mimari ve dekoratif değeri iyidir.

11-Zehirleme özelliği yoktur. Bu özelliğinden dolayı gıda endüstrisinde yaygın olarak koruma amacı ile kullanılır.

İlk kullanıldığından beri alüminyum alaşımlarının fiyatı, dökme demir ve birçok çeliğe nazaran daha yüksektir. Bu özellik, alüminyumun çok geniş bir alanda kullanımını sınırlamaktadır. Ancak, birim ağırlığa düşen fiyat bakımından alüminyum daha ucuz olması önemli bir avantajdır.

Mühendislik açısından alüminyum alaşımlarının kullanımının dezavantajları şöyle sıralanabilir:

- 1) Sürtünme ve aşınmaya karşı direnci düşüktür.
- 2) Korozyon direnci; paslanmaz çelik, bakır esaslı alaşımlara ve nikel esaslı alaşımlara göre düşüktür.
- 3) Alüminyum alaşımlarında kopma mukavemeti, tokluk ve sertlik düşük değerdedir. Ancak özel alaşımlandırma ile geliştirilebilir.

Alüminyum “İşlem ve döküm“ alaşımı olarak iki ana gruba ayrılır ve alaşımlar dört rakam ile ifade edilir.

İşlem alaşımlarında aşağıda verildiği gibi ilk rakam bileşikteki ana elementi belirtir.

1. 1xxx %99.0 veya daha fazla Al
2. 2xxx Cu ana alaşım elementi
3. 3xxx Mn ana alaşım elementi
4. 4xxx Si ve Cu ve /veya Mg ana alaşım elementi
5. 5xxx Mg ana alaşım elementi
6. 6xxx Mg,Si ana alaşım elementi
7. 7xxx Zn ana alaşım elementi
8. 8xxx Diğer elementler
9. 9xxx Yaygın olarak kullanılmayan seriler.

Döküm alaşımlarında da dört rakam vardır. Yalnız üçüncü rakamdan sonra bir nokta konulmuştur. Bu rakam döküm parçasını veya dökümhanede kullanılacak ingotu ifade eder. İlk rakam alaşım grubunu belirler.

1. 1xx.x %99.00 minimum alüminyum
2. 2xx.x Cu ana alaşım elementi
3. 3xx.x Si, Cu ilaveli ve/veya Mg
4. 4xx.x Si ana alaşım elementi
5. 5xx.x Mg ana alaşım elementi
6. 7xx.x Zn ana alaşım elementi
7. 8xx.x Sn ana alaşım elementi
8. 9xx.x Diğer elementler
9. 6xx.x yaygın kullanılmayan alaşımlar

Sonraki iki rakam alüminyumun saflığını, nokta ile ayrılan son rakam ise ürünün şeklini (döküm parçası veya ingot) belirtir. 0: Döküm, 1: İngot, 2: Modifiye edilmiş ingot

1.3.3. 7XXX Serisi Alaşımlar

7xxx = Zn ana alaşım elementidir. Alüminyuma ilave edilen alaşım elemanlarının temel görevi süneklik ve korozyon direnci gibi özelliklerini etkilemeden alüminyumun düşük akma dayanımını yükseltmektir. Zn %1 ile %8 arasında bir oranda bulunur. Alüminyuma ilave temel çökeltiler $MgZn_2$ intermetalik bileşiğinden

oluşur. Genellikle mukavemetini daha çok artırmak için Mg, Cu ve düşük oranda Mn ve Cr ile birlikte kullanılır. Çinkonun ve magnezyumun alüminyum içerisinde yüksek çözünübilirliği yüksek yoğunluklu çökeltilerin oluşmasını, bu da dayanımın oldukça yükselmesini sağlar. Bu serinin en önemli alaşımı 7075'tir ve bu alaşım %5,6 çinko, %2,5 magnezyum, %1,6 bakır ve %0,25 krom ihtiva eder. 7075-T6 alaşımının çekme dayanımı 504 MPa'dır. Bu seri yüksek dayanımın gerekli olduğu yerlerde kendisine uygulama alanı bulur. T kararlı bir temper işlemini gösterir. Kararlı temperi ifade eden T harfinden sonra 1'den 10'a kadar rakam kullanılır. 7075 yüksek gerilim ve altındaki mükemmel mukavemetleri ile uçak sanayinin vazgeçilemez alüminyum alaşımıdır.

1.3.3.1. 7075 temper T6/T651 alaşımı

% 5.5Zn - % 2.5 Mn - % 1.5Cu - % 0.3Cr)Yüksek mukavemetin ve korozyona iyi bir direncin gerektiği durumlarda kullanılır. Uçak yapı elemanlarının büyük bir kısmı 7075 alaşımından yapılır. 20°C'deki yoğunluğu 2.80 gr/cm³ 'tür. Rijitide modülü 14927 N/cm²'dir. Poisson oranı 0.33'tür. Kesme gerilmesi mukavemeti, çekme gerilmesi mukavemetinin yaklaşık %55'dir. 260–455°C arasında sıcak çalışabilir. Tam tavlama 413°C' de 2–3 saat bekletmeye yapılır. Sonra havada soğutulur. Eğer malzeme kullanılmadan önce bir süre depolanacaksa, 232°C' de yeni bir ısıtmaya tabi tutulmalıdır. Çinko, Magnezyum alaşımları içinde en mukavemetli olanlarıdır ve ikinci dünya savaşı esnasında hava kuvvetlerinde kullanılmak üzere geliştirilmiştir. Bileşim bakımından % 8'e kadar çinko, % 4 magnezyum, % 3 bakır ve küçük miktarlarda krom, titan manganez veya nikel ihtiva ederler. Yüksek mukavemeti ve

korozyon direnci ile hafifliğin ve mukavemetin önemli olduğu havacılık gemi sanayi, otomotiv endüstrisi ve ordu donanma malzemesi olarak kullanılır.

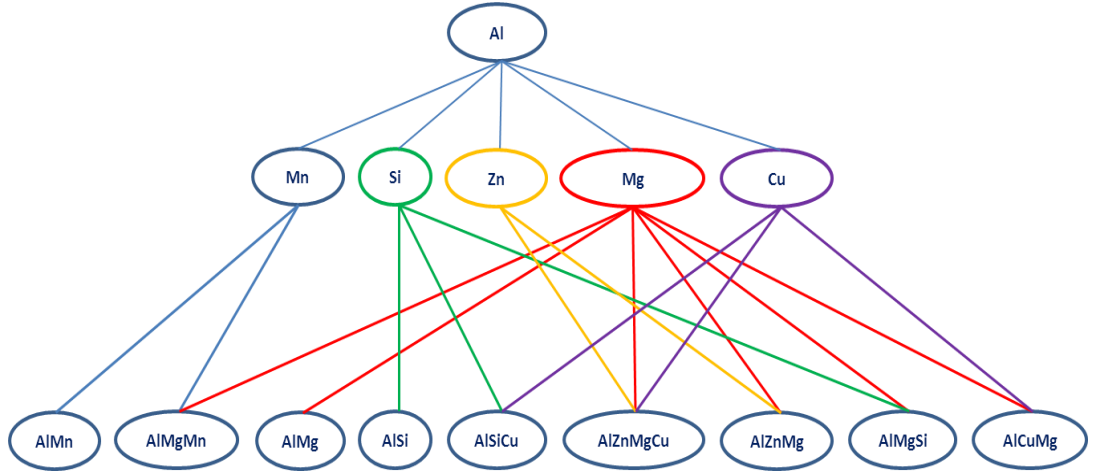
1.3.4. Alaşım Elementleri Ve Etkisi

Saf haldeki alüminyum yumuşak ve elastiktir. Alüminyumun zayıf olan özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla alüminyum alaşımları geliştirilmiştir. Şekil 1.3.1’de alüminyum alaşım elementleri ile çeşitli kombinasyonlarda yapılan alaşımlar görülmektedir. Alaşım elementlerinin ilk görevi yüksek uzama kabiliyeti ve korozyona dayanıklılık gibi faydalı özellikleri kötü yönde etkilemeden saf alüminyumun düşük akma sınırını yükseltmektir. En genel alaşım elementleri, bakır, çinko, silisyum, magnezyum ve mangandır. İlave edilen diğer elementler (krom, zirkonyum, vanadyum vb.) ince tane yapısı, yüksek yeniden kristalleşme sıcaklığı, ana empürite elementlerine karşı blok etkisi sağlamak gibi yapısal özellikleri sağlamak amacıyla kullanılırlar (Çetin 2005).

Alüminyum birçok metal ile sıvı halde kolayca karışabilir. Katı halde ise metallerin alüminyum içindeki katı çözünürlükleri yalnızca yüzde birkaç değerindedir. Birçok alaşımda metaller arası bileşikler oluşur ve alaşımların özelliklerini önemli ölçüde etkiler. Alüminyum içinde katı halde hiçbir element tam olarak (%100) çözünemez.

Yukarıda değinilen metaller arası bileşikler daha çok yüksek alaşım katılımlarından oluşurlar. Çok sert ve gevrek olduklarından dolayı mekanik özellikleri olumsuz yönde etkilerler. Genellikle alaşım elementlerinin toplam katılımı % 15 düzeyini

aşmaz. Alaşımlar arasında en önemli ve yaygın olanlar 2XXX, 3XXX, 4XXX, 5XXX ve 7XXX dizilerinden çıkarlar (Turbaloğlu 2008).



Şekil 1.3.1. Alüminyum alaşım elementleri ile çeşitli kombinasyonlarda yapılan alaşımların şematik gösterimi (Çetin 2005).

1.3.5. Alüminyumun Endüstride Kullanımı

Alüminyum havacılıkta hemen hemen tüm parçalarda kullanılan bir alaşımdır. Havacılıkta; motor aksamalarında, aksesuarlarda, petrol tankı kullanıldığı başlıca yerlerdir. Metalin ikinci önemli özelliği ise yüksek elektrik iletibilme kabiliyetidir.

Kolayca yassılaşabilen ve oldukça metin olan alüminyum, şekillendirme tel imalatına çok elverişlidir.

1. İnşaat
2. Ambalaj
3. Taşıt Araçları

4. İletken olarak
5. Mühendislik Uygulamaları
6. Su arıtma
7. Dayanıklı tüketim aletleri (cihazlar, mutfak araç gereçleri, vs.)
8. Makine imalatı
9. Yüksek saflıkta alüminyum, elektronik ve CD lerde toz haline getirilmiş alüminyum boyalara gümüşümsü renk vermede kullanılır. Alüminyum pulcukları (özellikle ahşap boyamada), astar boyalarına da katılabilir. Böylece kurumayla birlikte alüminyum pulcuklar su geçirmez bir tabaka oluşturur.
10. Kolay şekillendirilebilir oluşu ve yüksek ısı iletkenliğinden ötürü, yeni bilgisayarların CPU'larının ısı uzaklaştırıcılarında alüminyum kullanılır. Bakır ısı uzaklaştırıcıları daha küçük olmalarına karşın daha pahalı ve yapımları daha zordur.
11. Alüminyumun çok hızlı oksitlenme özelliği, katı roket yakıtı olarak ve diğer piroteknik kompozisyonların üretiminde kullanılmasına yol açar.

Dünyada kullanılan tüm içecek kutularının % 80'i alüminyum kutularıdır. Bunun nedeni, hafif açılması kolay, darbeye dayanıklı, sağlam, çabuk soğutma özelliği ve geri kazanılabilir olmalarıdır. Alüminyum, en kullanışlı ambalaj malzemelerinden birisidir.

Alüminyum, ulaşım sektöründe taşıt araçlarının üretiminde kullanılan en önemli malzemelerden birisidir. Alüminyum kullanımının yaklaşık % 25'i taşıt araçlarının üretimine aittir. Günümüzde bir otomobilde 50 kg alüminyum kullanılmaktadır

tasarrufu yapılmaktadır. Yapılan hesaplar ve deneyimler sonucunda, alüminyum kullanılan bir otomobilin, yeterince alüminyum kullanılmamış bir otomobile kıyasla, ekonomik ömrü boyunca 1500 litre daha az yakıt harcadığı anlaşılmıştır. Bir uçağın ağırlıkça % 70'i alüminyumdan oluşmaktadır. Alüminyum alaşımlarının hafifliği yanı sıra sağlamlığı, uçakların ve dolayısı ile havacılık sektörünün gelişmesine en büyük katkıyı yapmıştır. Duralüminyum (alüminyumbakır) alaşımlarından sonra gelecekte en önemli uçak malzemesi alüminyum-lityum alaşımları olacaktır. Alüminyum-lityum alaşımları ile uçakların % 15 hafiflemesi mümkündür.

Alüminyum son derece iletken bir metaldir. Bu nedenle, tüm alüminyum kullanımının Avrupa'da % 10'u, ABD'de % 9'u, Japonya'da % 7'si elektrik ve elektronik sektöründe kullanılmaktadır.

Makine elemanları uygulamalarında, yüksek dayanım/ağırlık oranı, korozyona dayanımı ve işleme kolaylığı, alüminyumun üstün özellikleridir. Vites kutuları, motor blokları ve silindir kafaları kolaylıkla alüminyum döküm ile yapılır.

Endüstri ve teknoloji geliştikçe, alüminyum kullanımı artmaktadır. Daha hafif, daha sağlam, daha verimli, daha uzun ömürlü ve sonuçta daha ekonomik ürünler için, alüminyum tercih edilmektedir. Uzay araçları dahil olmak üzere hava taşıtları, daha iyi binalar ve köprüler, elektrik nakil hatları, diğer mühendislik uygulamaları için alüminyum vazgeçilmez malzemedir. Alüminyum endüstrisi; yeni alaşımlar,

teknolojik gelişmeler, üretim metotları, ürün tasarımı ve kalite kontrol için araştırma geliştirme çalışmalarına devam etmektedir.

1.4. TALAŞLI İMALAT VE İŞLENEBİLİRLİK

1.4.1. Talaşlı İmalat İşlemi

Talaşlı üretim işlemi en önemli imalat yöntemlerinden biridir. Talaşlı imalat işleminde iş parçasını (yarı mamul; haddelenmiş, döküm, dövülmüş) istenilen geometriye getirmek için üzerindeki fazlalıklar uygun takım tezgahı (torna, matkap, freze) ve kesici takım kullanılarak talaşlar şeklinde uzaklaştırılıp, istenilen boyutlar ve yüzey kalitesi sağlanır. 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 (Çiftçi 2007).

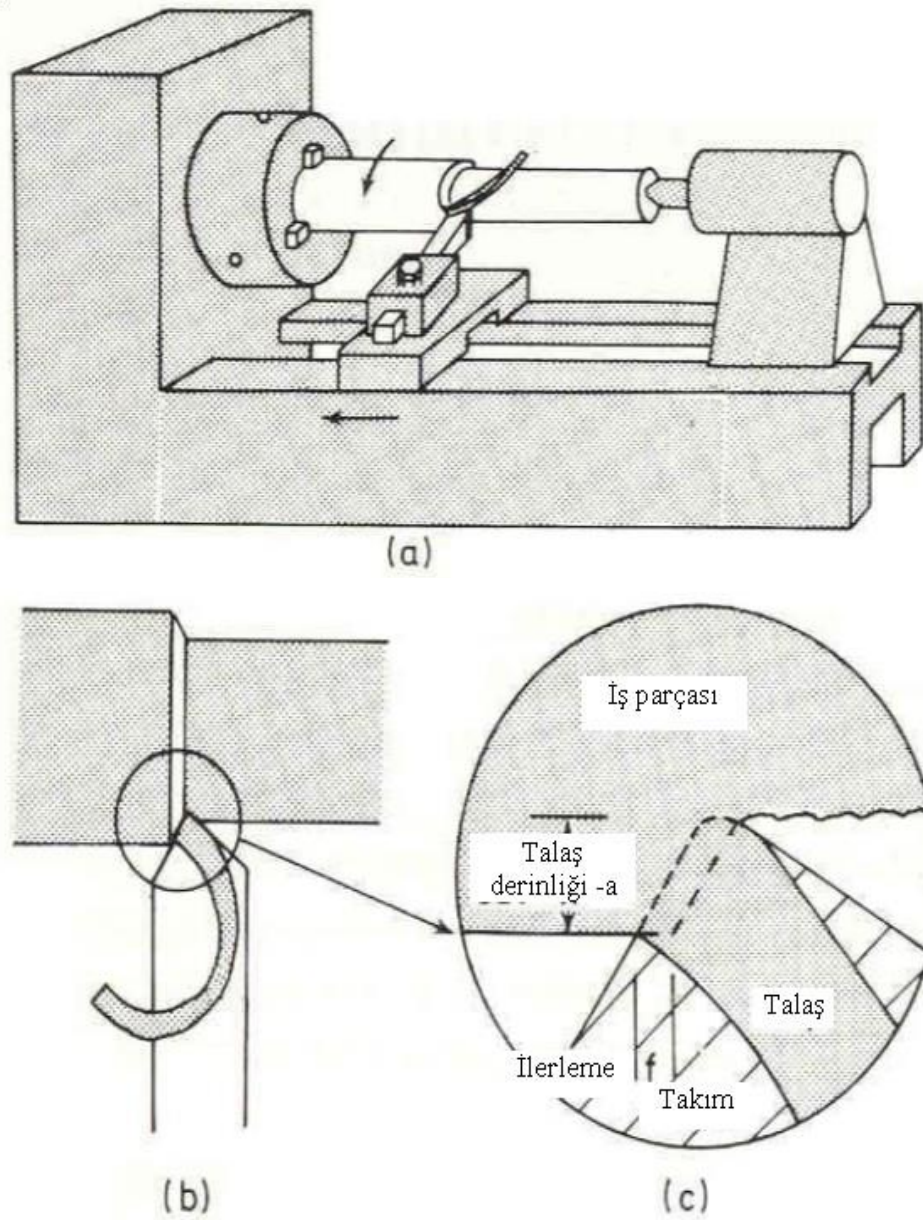
Aşağıdaki sebepler dikkate alındığında talaşlı imalat işleminin en önemli imalat yöntemlerinden biri olduğu anlaşılır:

1. Çok çeşitli malzemeler talaşlı imalat yöntemiyle şekillendirilebilir. Gerçekte bütün katı malzemeler işlenebilir.
2. Talaşlı imalat işlemiyle düz ve dairesel yüzeyler gibi düzenli geometriler oluşturulabilir. Birkaç talaşlı imalat işlemi sırayla uygulanarak çok çeşitli karmaşık geometriler elde edilebilir.

3. Talaşlı imalat işlemiyle iş parçası ölçüleri çok yakın toleranslarda elde edilebilir ve çok iyi yüzey kalitesi elde edilebilir (Groover 1996).

Farklı geometrilerdeki iş parçalarını talaşlı imalat yöntemiyle şekillendirmek için çeşitli talaşlı imalat işlemleri ve bu işlemlere özgü takım tezgâhları geliştirilmiştir.

Talaşlı imalat ile ilgili yapılan deneysel çalışmalarda en çok kullanılan talaşlı imalat yöntemi tornalamadır. Tornalama işlemi dairesel iş parçalarının işlenmesinde kullanılır. İş parçası genelde bir aynaya bağlanarak döndürülür. Bir takım tutucu üzerine rijit olarak bağlanmış kesici takım, dönen iş parçası ekseninde ilerletilerek ve iş parçasından talaş kaldırılarak, dairesel veya daha kompleks profilli yüzeyler oluşturulur. Şekil 1.4.1’de torna tezgahı ve tornalama işlemi şematik olarak gösterilmektedir. Kesme hızı (v), kesilmemiş iş parçası yüzeyindeki bir noktanın kesici takım önünde birim zamanda aldığı yol olarak tanımlanır ve çoğunlukla m/dk olarak ifade edilir. İlerleme hızı (f), iş parçası malzemesinin her bir dönüşünde kesici takımın iş parçası eksenine paralel olarak kat ettiği mesafedir. Talaş kalınlığı (a), iş parçası malzemesinden kaldırılan malzemenin derinliğidir ve iş parçası eksenine dik yönde ölçülür. Bu üç kesme parametresinin çarpımıyla genellikle metal kesme işleminin verimliliğini ifade eden talaş kaldırma oranı bulunur (Trent 1989).



Şekil 1.4.1 Torna tezgahı ve tornalama işleminin şematik olarak gösterimi (Trent 1989).

Kendi eksenini etrafında dönen bir kesici takımın ilerleme hareketi yapan malzeme üzerinden talaş kaldırması olayına frezeleme denir. Frezelemenin tornalamadan farkı: tornalamada malzeme aksinel hareket yaparken takım doğrusal hareket yapar. Frezeleme ise bu durumun tam tersidir. Frezeleme işlemi freze çakısı olarak

isimlendirdiğimiz özel kesiciler aracılığıyla yapılmaktadır. Frezeleme yatay ve dikey olarak iki sınıfta isimlendirilir. Frezelemenin yatay veya dikey olduğu takımın bağlı olduğu milin konumuna göre belirlenir. Mil dikey bir şekildeyse yapılan frezeleme dikey frezeleme, mil yatay konumdaysa yapılan frezeleme işlemi yatay frezeleme olarak isimlendirilir. Yapılan bu işlem türü de tezgah isimlerine yansımıştır. Yatay işlem yapan frezelere yatay freze denilirken dikey frezeleme yapanlara da dikey freze denilmektedir. Her iki işlemi de yapma kabiliyeti olan tezgahlara da universal tezgah denilmektedir. Şekil 1.4.2’de freze tezgahı görülmektedir.



Şekil 1.4.2 Freze tezgahı

1.4.2. İşlenebilirlik

İşlenebilirlik, iş parçasının kesici bir takımla şekillendirilmesinin kolaylığı veya zorluğudur (Çakır, 1999). İşlenebilirlik, genellikle malzemenin özgül bir özelliği olarak algılansa da, işlenebilirlik sadece işlenen malzemeye bağlı olmayıp aynı

zamanda işleme yöntemi ve işleme parametrelerine de bağlıdır (DeGarmo et. al, 1997). İşlenebilirliği değerlendirmek için bazı kriterler kullanılır. Bunlardan en yaygın olanları:

1. Takım ömrü;
2. Kesme kuvvetleri ve harcanan enerji veya güç;
3. İşlenen yüzey kalitesidir (Shaw 1989).

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

olarak uzaklaştırılması demektir. Bu nedenle, yüksek ısı iletkenlik işlenebilirlik yönünden genelde faydalıdır (Kopaci and Bahor 1999).

Ayrıca, bir malzemenin kimyasal bileşimi, maruz kaldığı ısı işlem ve içerisindeki bileşim takım üzerinde etkin olan aşınma mekanizmalarını da belirler (Groover 1996, Sandvik Coromant 1994).

1.4.3. Kesici Takım Malzemeleri

Talaş kaldırma yöntemlerinin çeşitliliği ve farklılığı, takımların kullanılmasında gerekli olan farklılıklar ve aşırı artan ihtiyaçlar nedeniyle teknolojik rekabet ortaya çıkmış, metalik ve metalik olmayan çok sayıda takım malzemesinin geliştirilmesini sağlamıştır. Takımlar bir takım tezgâhına monte edilerek iş malzemesine şekil veren aletler olduklarından, bu şekil verme işlemi genellikle malzemedan talaş kaldırılarak gerçekleştirilir. Talaş kaldırma işlemlerinde, ya tornalama ve delme işleminde olduğu gibi tek noktalı takımlarla sürekli kesme işlemi, ya da frezeleme işleminde olduğu gibi çok uçlu takımlarla fasıllı kesme yapılır. Sürekli kesme işleminde kesici uçta yüksek sıcaklıklar oluşurken, süreksiz kesme işleminde ise kesici uçlar darbeli yüklere maruz kaldığından daha büyük kuvvet ve sıcaklık değişimleri meydana gelir (Şahin 2000).

Kesici takım malzemelerinden istenen ortak özellikler tokluk, sertlik, aşınma direnci ve ekonomikliktir. İşlenen malzemeye uygun takım malzemesinin seçimi ile kesici takım-iş parçası malzemeleri arasında sürtünme sonucu oluşan yüksek sıcaklık

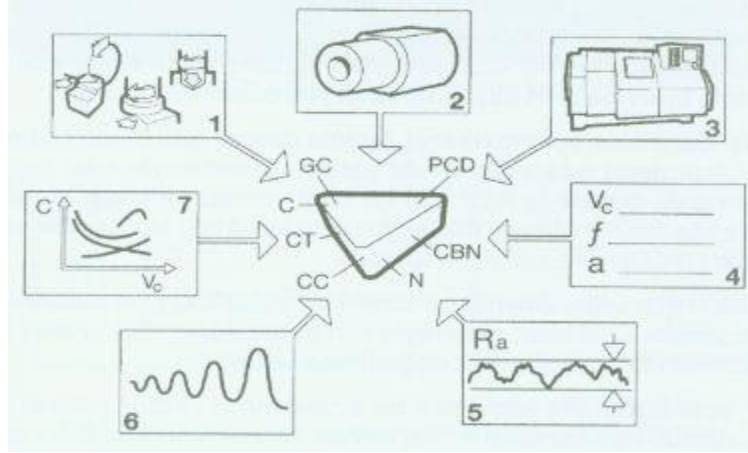
aşınma mekanizmalarının (difüzyon, oksidasyon vb.) yok edilmesi ile yüksek kesme hızlarına ulaşılır. Böylece takım ömrü ve üretim hızı arttırılarak ekonomiklik sağlanır. Takım malzemeleri üç ana grupta toplanabilir:

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

Günümüzde genellikle takım malzemesi olarak yüksek hız çelikleri ve sementit karbürler kullanılır. Yüzey kalitesinin iyileştirilmesi ve takım ömrünün artırılması amacıyla yapılan çalışmalar sonucunda, elmas kaplanmış takımlar ve kübik bor nitrür kullanılmaya başlanmıştır (Özdemir vd. 2000).

Uygun kesici takımın seçimi, takım malzemesi ve geometrisinin yanı sıra aşağıdaki faktörler de etkilidir (Şekil 1.4.3).

1. İşlemin tipi,
 2. İş parçasının şekli ve malzemesi,
 3. Takım tezgâhı,
 4. Kesme verileri,
 5. Arzu edilen yüzey kalitesi,
 6. Genel rijitlik,
 7. İşleme maliyetleri
- (Çakır,2006).



Şekil 1.4.3. Takım seçimini etkileyen faktörler (Çakır 2006).

Talaş kaldırma esnasında oluşan kuvvetler, ısı oluşumu, basınç, ısı oluşumu, aşınma ve ısı oluşumu vb. olaylar ve ekonomiklik dikkate alınırsa, genellikle bir kesici takımında bulunması gereken özellikler şu şekilde sıralanabilir:

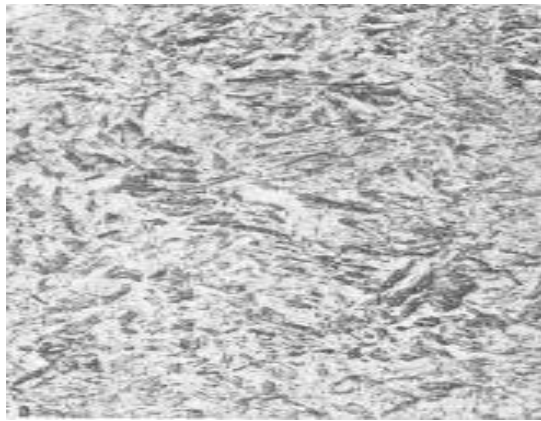
- Yüksek basma ve eğilme mukavemeti,
- Yüksek sertlik ve abrazyon direnci,
- Yüksek sıcaklıkta aşınmaya karşı dayanıklılık ve iyi kimyasal karalılığa sahip olması,
- Isı birikiminin önlenmesi için yüksek ısı iletim yeteneğine sahip olması, ucuz olması yanında darbe etkisine karşı yeterli derecede tok olmasıdır. Ancak bütün bu özelliklere sahip bir kesici takım malzemesi yoktur, çünkü bu özellikler birbiri ile ters düşebilmektedir. Yüksek sıcaklık ve aşınmaya karşı dirençli olan takım malzemelerinin eğilme ve darbelere karşı dayanımları düşüktür. Burada önemli olan işlenecek iş parçasına göre teknik ve ekonomik koşulları bağdaştıracak en uygun

takım malzemesinin seçimidir. Bu takım malzemeleri; içyapıları, ömürleri, imalat şekilleri ve mekanik özelliklerine göre 8 grupta incelenebilir:

- Karbon çelikleri ve takım çelikleri,
- Hız çelikleri
- Stellite'ler (Kobalt esaslı döküm alaşımları),
- Sert metaller,
- Seramikler,
- Elmaslar,
- Kübik bor nitrürlerdir (Şahin 2000).

1.4.3.1. Karbon ve alaşımlı takım çelikleri

Karbon çelikleri, kesici takım malzemesi olarak kullanılan en eski tip çeliklerdir. Karbonlu ve alaşımlı takım çelikleri; temel olarak % 0,8-2 oranında karbon içeren demir alaşımıdır (Şekil 1.4.4).



Şekil 1.4.4 Karbon çeliğinin mikro yapısı (Trent 1984).

Düşük alaşımlı çeliklerde, kesme özelliklerini iyileştirmek amacıyla az miktarda krom (Cr), vanadyum (V), tungsten (W), molibden (Mo), mangan (Mn) gibi alaşım elementleri bulunmaktadır. Çelikler, tavlama şartlarında kolayca şekillendirilebilir ve takiben su verme ve temperleme ile yüzeyi sertleştirilir. Takım kesitinin tamamı martenzite dönüşmez, iç kısım tok ve yüksek şok direncine sahip olur (Trent 1984).

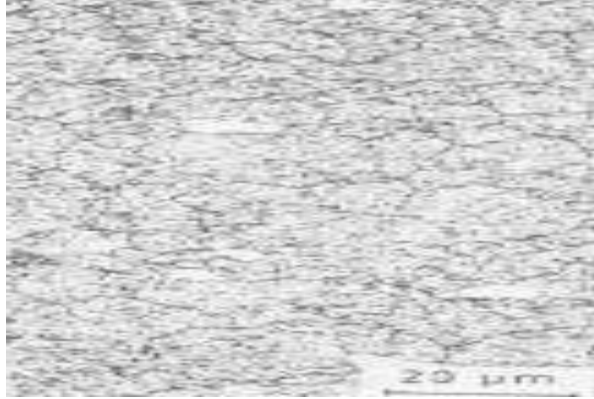
Karbon çeliklerinin sertliği martenzitik yapısından ileri gelir (58-64 HRc). 250 °C üzerindeki sıcaklıklarda temperleme sonucu martenzit yumuşar; bu nedenle karbon çelikleri sadece ahşap gibi yumuşak malzemelerin işlenmesi için uygundur ve sadece düşük kesme hızlarında (10 m/dak) kullanılırlar. Karbon çeliklerinin en önemli avantajı, kolay işlenmesi ve ucuz olmasıdır. Ayrıca çalışma sıcaklıklarında (maksimum 200-250 °C) sertliklerini ve keskinliklerini korurlar. Düşük alaşımlı çeliklerin sertliği, su verme ve temperlemeden sonra yaklaşık 700 HV'dir. Temperlenmiş çeliğin mukavemeti, ince demir karbür partiküllerinden ileri gelmektedir. 350 °C'nin üzerinde demir karbür partikülleri hızla kabalaşarak çelik yumuşar ve aşınma direnci giderek azalır. Bu nedenle düşük kesme hızlarında kullanılmaktadır. Düşük alaşımlı çelikler hızlı aşınır, çünkü sert partiküllerin hacmi sadece % 5 civarındadır. Genellikle bu sert partiküller en yumuşak karbürlerden biri olan Fe₃C esaslıdır. Bütün bu dezavantajlarından dolayı metallerin işlenmesinde sınırlı kullanım alanına sahiptir. Bununla birlikte ucuz olmalarından dolayı, karbon çeliklerinde olduğu gibi ağaç işleme takımlarında kullanılırlar (Özdemir vd. 2000).

1.4.3.2. Yüksek hız çelikleri

20. yüzyılın başından beri bilinen ve sürekli geliştirilen kesici takım malzemesi grubu olup, diğer takım malzemelerine oranla düşük maliyeti ve işlenebilme kabiliyeti nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır (Trent, 1984). Şekil 1.4.5’de yüksek hız çeliklerinin (YHÇ) mikro yapısı görülmektedir.

Yüksek hız çelikleri, oda ve yüksek sıcaklıklarda yüksek sertliği ve yüksek şok direnci sayesinde iyi performansıyla kesici takım malzemesi olarak kullanılmaktadır.

Yüksek hız çelikleri önemli miktarda W, Mo, V ve Cr gibi karbür yapıcı elementlerle alaşımlandırılmıştır (Özdemir vd. 2000).



Şekil 1.4.5. YHÇ’nin mikro yapısı (Trent 1984).

Esas itibarıyla yüksek hız çelikleri T ve M olmak üzere iki gruptan oluşmaktadır. Bunlar ilk alaşım elementi olarak tungstene (T) sahip ve diğer öncelikli element ise molibden (M) dir. Bu nedenle yüksek hız çelikleri M1, M2, M41, T1, T2, T15 gibi işaretlerle gösterilir. Bunlar kullanıcı takım seçimini kolaylaştırır ve istenilen cinsi

ayırt etmeyi sağlar. M ve T türüne bakılmaksızın yüksek hız çeliklerinde fiziksel olarak fazla benzerliklere sahiptirler. Bunlar şöyle sıralanabilir:

- Hepsi yüksek alaşım içeriğine sahiptir,
- Genellikle 64 HRC sertliğine müsaade etmesi için yeterli oranda karbon içermektedir,
- Merkezden yüzeye uniform sertliğe sahiptir,
- Hepsi yüksek sıcaklıkta sertleştirilebilir.

Temel olarak, bir YHÇ'nin en önemli özelliği kesme yeteneği olup bu özellik şu dört önemli özelliğin bileşimine bağlıdır. Bunlar; sertlik, yüksek sıcaklık sertliği, aşınma direnci ve tokluk olarak ifade edilebilir. Bu özellikler her uygulamaya bağlı olarak değişebilir. Yüksek hızlarda kesme, yüksek hız ve yüksek sıcaklıklarda maksimum yumuşama direncinin birleşimini gerektirir. Belirli malzemeler kesici takım ucunu aşırı şekilde aşındırır. Bu nedenle, takım aşınma direnci onun yüksek sıcaklıklara karşı direncinden daha önemlidir. Sertlik, sert malzemelerin kesilmesi için gereklidir ve genellikle takım ömrünü artırır; fakat bu uygulama için gerekli tokluğa karşı dengelenmelidir. Bir YHÇ'de istenilen kombinasyon özellikler, ilk önce uygun kaliteyi belirleme ve ikinci olarak da ısıtılma işlemi seçmekle elde edilir (Şahin, 2000).

1.4.3.3. Stellite

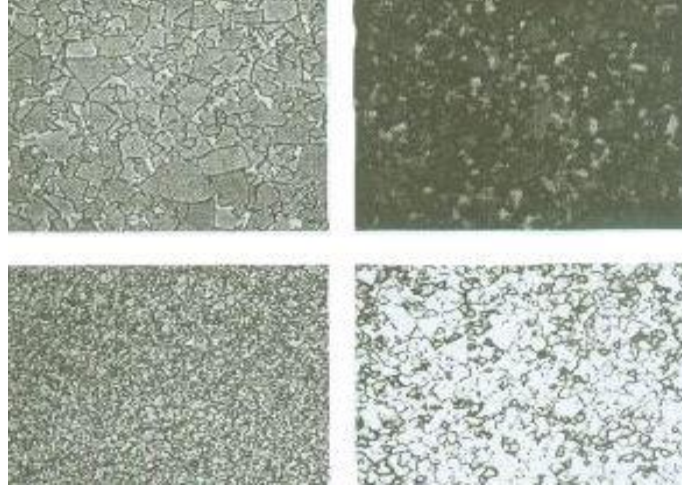
Sert alaşımlar, tungsten, krom ve kobalt alaşımı olup ticari olarak "Stellite" olarak adlandırılır ve döküm veya kaynak ile imal edilirler (Şahin, 2000). İstenilen özelliğe

bağlı olarak, alaşımların genel bileşimi; % 38-46 Co, % 25-35 Cr, % 4-25 W ve % 1-3 C şeklindedir. Isıl işlem uygulanmasına gerek yoktur. Mikroskopik olarak alaşım, tungsten esaslı bileşikler ve toplam miktarı % 45 mertebesinde karbürlerden ibarettir. Bu alaşımın özelliği; yüksek sertliği, yüksek aşınma, oksidasyon ve korozyon direnci ile mükemmel kızıl sertliğidir. Bu özelliklerin kombinasyonu, bu alaşımı kesme uygulamaları için uygun kılmaktadır. Dökme alaşımlar, kesici uçta hasar olmaksızın yüksek hız çeliklerinden daha yüksek hızlarda çalışabilmektedir. Stellite kesici takım olarak uygulanabilirliği YHÇ'nden daha sınırlıdır. Zira döküm alaşımları daha gevrek ve takım tasarımı sınırlıdır. Ayrıca maliyeti de daha yüksektir. Stellite metal kesme takımları yaygın olarak çelik, pirinç ve bazı diğer işlenebilir malzemelerin işlenmesinde kullanılır. Çoğunlukla tek noktalı torna tezgâhlarında, şekillendirici takımlarda ve freze bıçağında kullanılmaktadır (Özdemir vd., 2000).

1.4.3.4. Sinterlenmiş karbürler

Adından da anlaşılacağı gibi sinterlenmiş karbür, sert karbür parçacıklarının ve parçacıklar arasında bulunan bir bağlayıcının sinterleme yoluyla bir araya getirilmesi sonucu elde edilir. Sinterlenmiş karbür bir bağlayıcı içerisindeki farklı karbürlerden oluşmuş bir toz metalürjisi ürünüdür (Şekil 1.4.6).

İdeal bir takım malzemesinin sahip olması gereken özellikler sinterlenmiş karbürün özellikleri ile karşılaştırıldığında sinterlenmiş karbürün hala vazgeçilmez bir takım malzemesi olmasının nedeni kolaylıkla anlaşılabilir (Çakır 2006).



Şekil 1.4.6 Çeşitli sinterlenmiş karbür yapıları (Çakır 2006).

Karbür üretiminin yaklaşık % 50'si talaş kaldırma işlemlerinde kullanılmaktadır. Talaş kaldırma işlemlerinin dışında madencilik, inşaat, kaya delme ve metal şekillendirme gibi aşınmaya dirençli yerlerde geniş bir uygulama alanı bulmuştur. Bunlar iyi aşınma direnci gösterdiklerinden sanayi tarafından kabul görmüş ve 40 m/dak' dan 350 m/dak kesme hızına kadar sertliğini ve kesiciliğini kaybetmeden etkili şekilde kullanılabilmektedir (Şahin 2000).

Üretimde kullanılan karbürler çok sert olan tungsten karbür (WC), titanyum karbür (TiC), tantal karbür (TaC) ve niyobyum karbür (NbC)'dür. Bağlayıcı olarak genellikle kobalt kullanılır. Sert parçacıkların büyüklükleri 1-10 mikron arasında değişir ve bu parçacıklar toplam hacmin % 60 - % 95'ini kaplarlar. Sinterlenmiş karbür son derece kontrollü bir işlem sonucunda üretilirler. Sinterlenmiş karbür üretimi beş ana aşamada gerçekleştirilir (Çakır 2006).

1. Toz üretimi
2. Presleme
3. Sinterleme
4. Kesici uç üzerindeki işlemler
5. Kaplama

Daha iyi kesme işlemi için yapılan araştırmalar, sinterlenmiş karbürü takımların TiC, TiN ve Al₂O₃ gibi malzemelerle değişik metotlarla kaplanmasına yöneliktir. Kaplanmış karbür uçlar daha uzun takım ömrü, daha fazla üretim, daha kolay talaş akmasını sağlamaktadır. Kaplama; kesme kuvvetini, kullanılan sıvıyı ve aşınmayı büyük oranda azaltarak geçici bir yağlayıcı görevi yapmaktadır. Kaplamanın yağlayıcı ve talaş yapışmasını önleme özelliği talaş kaldırmada oluşan gerilim ve ısı miktarını büyük oranda azaltır, dolayısıyla takım ömrünü hayli arttırmaktadır. Tabakalı bu uçların kullanımıyla klasik sinterlenmiş karbürlere göre hem çelik hem de dökme demirin işlenmesinde, daha yüksek kesme hızıyla daha az aşınma miktarı sağlanmaktadır (Şahin 2000).

1.4.3.5. Seramikler

Metal işleme teknolojisinin gelişmesi, işleme hızlarının artması, daha uzun ömürlü, yüksek hızlarda çalışan ve iş parçası ile etkileşmesi minimize edilmiş takım malzemesi arayışlarını hızlandırmıştır. Seramik malzemeler, tokluk dezavantajlarına

karşılık yüksek sıcaklıklardaki mekanik ve kimyasal kararlılıkları ile özellikle sürekli çalışan takımlar olarak kullanım alanı bulmaktadır (Özdemir vd. 2000).

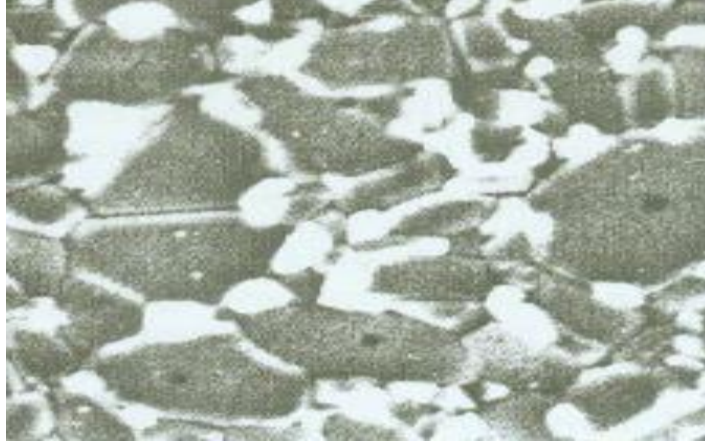
Sinterlenmiş tungsten karbür esaslı kesici uçlar 800 °C sıcaklıklara kadar yüksek performans göstermektedir. Fakat daha fazla sıcaklık yükselmelerinde sertlik düşmektedir. Yüksek sıcaklıklara karşı dayanma direnci dikkate alındığında seramikler, çok daha iyi performans göstermektedirler. Çünkü bu kesiciler sertliklerini 1200 °C'ye kadar koruyabilmektedir. Fakat bununla birlikte seramik kesiciler, diğer kesicilere oranla daha sert ve dolayısıyla da daha kırılgan bir yapıya sahiptir. Bu nedenle bu kesiciler, sürekli bir talaş kaldırma işleminin olduğu yerlerde ve sert metallerin son bitirme pasolarında tercih edilmektedir. Son bitirme pasolarında yüksek kesme hızlarında kullanılabilen seramik kesicilerle, taşlama kalitesinde yüzeyler elde edilmektedir.

Fakat seramik kesicilerin kullanılabilmesinde daha yüksek devir sayılarına sahip rijit takım tezgâhları ve yüksek güçlere ihtiyaç duyulmaktadır (Şahin 2000).

Seramiğin esası alüminyum oksittir (Al_2O_3). İki temel seramik tipi mevcuttur:

1. Alüminyum oksit esaslı (Al_2O_3)
2. Silisyum nitrür esaslı (Si_3N_4)

Şekil 4.7'de saf alüminyum oksit seramiğin yapısı görülmektedir. Silisyum nitrür esaslı seramik tamamıyla farklı bir malzeme olup ısıl şoklara dayanım ve tokluk açısından alüminyum oksit esaslı seramiklerden daha iyidir (Çakır, 2006).



Şekil 1.4.7. Saf alüminyum oksit seramiğin yapısı (Çakır 2006).

Alüminyum oksit esaslı seramikler soğuk ve sıcak presleme olmak üzere iki farklı teknikle üretilirken, silisyum nitrür esaslı seramikler, sadece sıcak presleme ve kimyasal bağ oluşturma teknikleriyle üretilmektedir. Silisyum nitrür seramikleri ile 1500 m/dak kesme hızında, özellikle dökme demirler işlenebilmektedir.

1.4.3.6. Elmaslar

Elmas, karbonun tetrahedral formu olup, en sert ve çizilme direnci en yüksek malzeme olarak bilinir. Mohs ölçeğinde sertlik numarası 10'dur. Bu özellikler elması takım malzemesi olarak çekici kılar. Ne var ki, endüstriyel alanda kullanılan doğal tek kristal elmasın küçük miktarları bile oldukça pahalıdır. Ayrıca elmas çok gevrekler. Elmas 650 °C'de hızla okside olmaya başlar ve atmosferik basınçta 1500°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda tekrar grafit dönüşür (Özdemir vd. 2000).

Elmasın, endüstride kullanılan tabii ve yapay olmak üzere iki çeşidi bulunmaktadır. Doğal elmaslar, metal olmayan veya demirsiz metallerin işlenmesinde yaygın olarak

kullanılarak süper performans göstermektedirler. Fakat yapay elmas bunların yerini çoğu yerde almaktadır. Bu elmaslar işlenmesi zor olan malzemeleri kesmek için kullanılarak mükemmel son bitirme yüzeyi meydana getirirler. Bu tek noktalı elmas uçlu kesicilerin tornalama, delik büyütme, kanal açma ve özel profil oluşturmada kullanılan değişik şekilleri mevcuttur. Bu kesicilerin avantajları şöyle sıralanabilir:

- Yüksek kesme hızlarında kesme yapabilmesi ve diğer takımlara göre üretimi 10-15 kat arttırabilmesi,
- 0,128 μm ve daha az yüzey hassasiyeti kolaylıkla elde edilebilmesi ve çoğu zaman iş parçası üzerinde gerekli diğer yüzey bitirme işlemi elimine edebilmesi,
- Çok sert ve abrazyona dirençli olduğundan, abrasive malzemelerin işlenmesinde daha uzun takım ömrü elde edilmesi,
- 0,012 mm'ye kadar düşük talaş derinliğinde hem iç hem de dış yüzey tornalaması yapabilmesi,
- Daha yakın toleranslı parçalar üretilbilmesi ve kesici uç üzerinde metalik parçaların kaynak olması veya yapışmasının önlenmesidir.

Elmas kesiciler genellikle demir içermeyen metaller ve metal olmayan malzemelerin işlenmesinde başarılı olarak kullanılmaktadır. Metalik malzemeler olarak; alüminyum, duraluminyum, magnezyum gibi hafif metaller; bakır, çinko, çinko alaşımları gibi yumuşak malzemeler, bronz ve kurşun alaşımları ile beyaz metal olarak adlandırılan yatak malzemeleri sayılabilir. Bu metalik malzemelerin üretimi, elmasla bitirme işleminde diğer takımlara göre 10-15 kat artabilmektedir. Elmasla

işlenen metal olmayan malzemelerin bazıları ise sert ve yumuşak kauçuk, her çeşit plastik, grafit, karbon ve seramik malzemelerdir (Şahin, 2000). Doğal tek kristalli elmas kadar sert bir malzeme ise sentetik çok kristalli elmastır (ÇKE) (Şekil 1.4.8). Çok yüksek sertliği, çok yüksek aşınma direncine sahip olmasını sağlar ve bu özelliğinden dolayı taşlama işleminde kullanılan taşların üst yüzeyinde kullanılır. İnce elmas kristallerinin yüksek basınç ve sıcaklık altında bir araya getirilmesi ile oluşturulmuştur. Herhangi bir yöndeki çatlağın yayılmasının önüne geçebilmek için kristaller yapı içerisinde gelişigüzel dağıtılmıştır. Bu durum sertliğin ve aşınma direncinin her yönde yüksek olmasını sağlar. Takım ömrü sinterlenmiş karbür bir kesici ucun ömrünü hemen hemen yüz katıdır.



Şekil 1.4.8. Çok kristalli elmas (Çakır 2006).

ÇKE'nin çok kırılgan yapısından dolayı ÇKE ile yapılan işlemler çok kararlı koşullar, rijit tezgâh ve takımlar ile çok yüksek kesme hızları gerektirir. Soğutma sıvısı genellikle soğutma amacıyla kullanılabilir. İnce ve yarı ince tornalama ve delik işleme tipik ÇKE işlemleridir. Alın frezeleme işleminde ÇKE uçlu takımlar kesici uç veya silici uç olarak kullanılabilir. Düşük ilerlemeler, düşük talaş derinlikleri, darbeli

talaş kaldırma işlemlerinden ve şoklardan kaçınılması son derece önemlidir (Çakır 2006).

1.4.3.7. Kübik bor nitrürler

Kübik bor nitrür elmaştan sonra ikinci en sert kesici takım malzemesidir (Şekil 1.4.9). Çok yüksek sertlik, çok yüksek kızıl sertlik (2000 °C), mükemmel aşınma direnci ve işleme esnasında genellikle iyi kimyasal kararlılık gibi özellikleri sayesinde mükemmel bir kesici takım malzemesidir. Kırılgan bir malzeme olmasına karşın seramiğe göre daha toktur. Seramikle karşılaştırıldığında daha sert, ancak daha kötü ısıl ve kimyasal dirence sahip bir malzemedir. Dövme çelik, serleştirilmiş çelik ve dökme demir, yüzeyi sertleştirilmiş iş parçaları, kobalt ve demir esaslı toz metallere, perlitik dökme demir ve ısıl dirençli alaşımlar KBN takımların yaygın olarak kullanıldığı iş parçası malzemeleridir.

KBN sertlikleri 48 HRC' nin üzerinde olan sert iş parçası malzemelerine uygulanmalıdır. İş parçaları çok yumuşaksa takım aşırı derecede aşınır. Malzeme ne kadar sertse takım aşınması da o derece azdır. KBN kesici kenarlar sağladıkları mükemmel yüzey kaliteleri sayesinde tornalama işlemlerini taşlama işlemlerine alternatif haline getirmişlerdir (Çakır, 2006)



Şekil 1.4.9. Kübik bor nitrür (Çakır 2006).

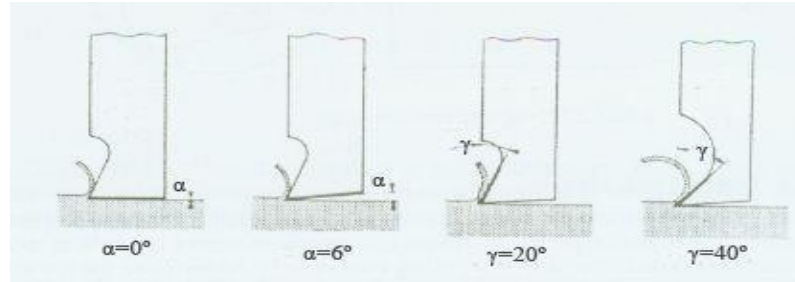
Çok kristalli kübik bor nitrür (ÇKKBN) yönlü olmayan bütün doğrultularda uniform sertlik ve abrasive direnci sağlayan yapısı, çatlamaya karşıda uygun özelliklere sahiptir. ÇKKBN kesici takımlar yüksek talaş kaldırma miktarında, abrasive malzemeleri ve aşırı sert malzemeleri kesmek için dört temel özelliğe sahiptir. Temel özellikler şöyle özetlenebilir:

- Yüksek sertlik,
- Yüksek abrasyon direnci,
- İyi basma dayanımı,
- Yüksek termal iletkenliktir.

Bu özellikleri sayesinde ÇKKBN uçlar ile daha yüksek kesme hızlarında, daha fazla talaş derinliğinde kesme yapılabilir ve sertleştirilmiş çeliklerin ve sertliği 35 HRC ve daha yukarı olan sert Ni, Cr-Ni alaşımlı Inconel, Rene, Waspalay, Stellite gibi yüksek sıcaklık alaşımlarının işlenmesinde kullanılabilmektedir (Şahin 2000).

1.4.3.8. Kesici takım geometrisi

Takım geometrisini tayin eden faktörler α , β , γ gibi ana açılar ve takım ucunun r yuvarlatma yarıçapıdır. Şekil 1.4.10.'da talaş kaldırma olayına takım açılarının etkisi görülmektedir.



Şekil 1.4.10. Takım açılarının etkisi (Akkurt 2004).

Ana açıların yanı sıra, kesici takımlarda başka açılar da vardır. Genellikle talaş açısı γ talaşın parçadan uzaklaşmasını, kama açısı β takımın parçaya nüfuz etmesini ve serbest açı α 'da takımın işlenen yüzeye sürtünmemesini sağlar. Pratikte α açısı, takım ve parça malzemesine bağlı olarak genellikle $\alpha = 3^\circ \dots 7^\circ$ arasında alınır. Dolayısıyla talaş kaldırma olayını esas olarak β ve γ açıları etkiler.

$$\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ \quad (4.1)$$

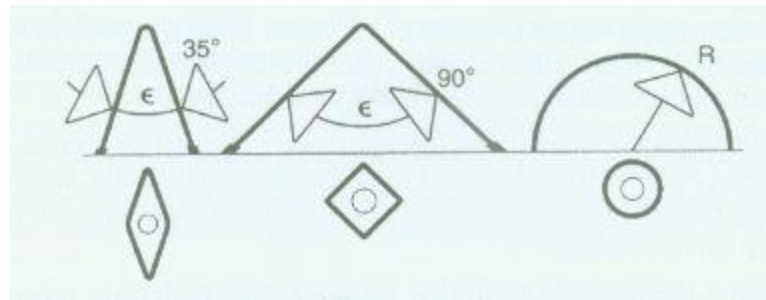
bağıntısı göz önüne alınırsa, iki durum ortaya çıkabilir:

1. α açısı küçük, β açısı büyük ise; takımın ucu küt olduğundan malzemeye nüfuz etmesi zorlaşır. Kesme kuvvetleri büyür, ısı oluşumu artar ve takımın ucu kısa zamanda bozulur. Buna karşın takım kuvvetlere karşı daha dayanıklıdır.

2. α açısı büyük, β açısı küçük ise; takım ucu ince olduğundan malzemeye daha kolay bir şekilde nüfuz eder, daha düşük kesme kuvvetleri ile talaş kaldırılır, talaş kolaylıkla akar ve takım daha büyük kesme hızlarında kullanılabilir. Ancak uç ince olduğundan takımın kuvvetlere karşı mukavemeti azalır ve kırılma olasılığı artar.

Yukarıdaki açıklamaların ışığı altında genellikle gevrek malzemeler için α açısı küçük, β açısı büyük; sünek malzemeler için α açısı büyük, β açısı küçük seçilmelidir (Akkurt 2004).

İki kesici kenarın birleştiği köşe noktası keskin ancak zayıf bir noktadır. Talaş kaldırma işleminin küçük bir kesit alanıyla gerçekleştirmesi nedeniyle köşe noktası kesici kenarın en zayıf noktasıdır. Talaş kaldırma esnasında iş parçasına önce bu kısım temas etmekte, dolayısıyla malzeme deformasyonundan dolayı ortaya çıkan gerilmeleri önce bu kısım karşılamak zorunda kalmaktadır. Kesici uca ait uç açısı ucun mukavemetini belirler. Genellikle bu açı $35-90^\circ$ arasında değişir, ancak yuvarlak kesici uçlarda kesici kenar çok daha büyük bir kesit alanına sahiptir (Şekil 1.4.11).



Şekil 1.4.11. Uç açıları (Çakır 2006).

Fonksiyonel açıdan ucun yuvarlatılması keskinliği, dolayısıyla ucun zayıflığını azaltır. Daha büyük bir köşe radyüsü kesmeyi daha uzun bir kenar boyunca dağıtır ve böylelikle daha iyi bir takım ömrü sağlar. Büyük köşe radyüsü ile ısının sistemden uzaklaştırılması çok daha kolay, böylelikle ısıl gerilmeden ortaya çıkan tahribat çok daha azdır. İş parçasının yüzey kalitesi köşe radyüsünün büyüklüğünden etkilenir (Şekil 1.4.12).

Köşe radyüsü:

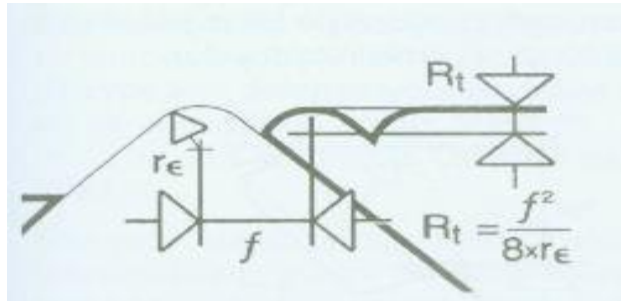
- Kaba işlemlerde mukavemeti,
- İnce işlemlerde ise yüzey pürüzlülüğünü

belirlemede temel faktördür. Teorik maksimum yüzey pürüzlülüğü değeri (R_t) daha yüksek kesme hızları ve daha pozitif bir kesme geometrisi kullanılarak attırılabilir.

Teorik olarak yüzey pürüzlülüğü

$$R_t = \left(\frac{f^2}{8 \cdot r_e} \right) \cdot 10 \quad (4.2)$$

bağıntısı ile bulunur. Yüzey kalitesi ilerleme ile köşe radyüsünün bir fonksiyonudur.



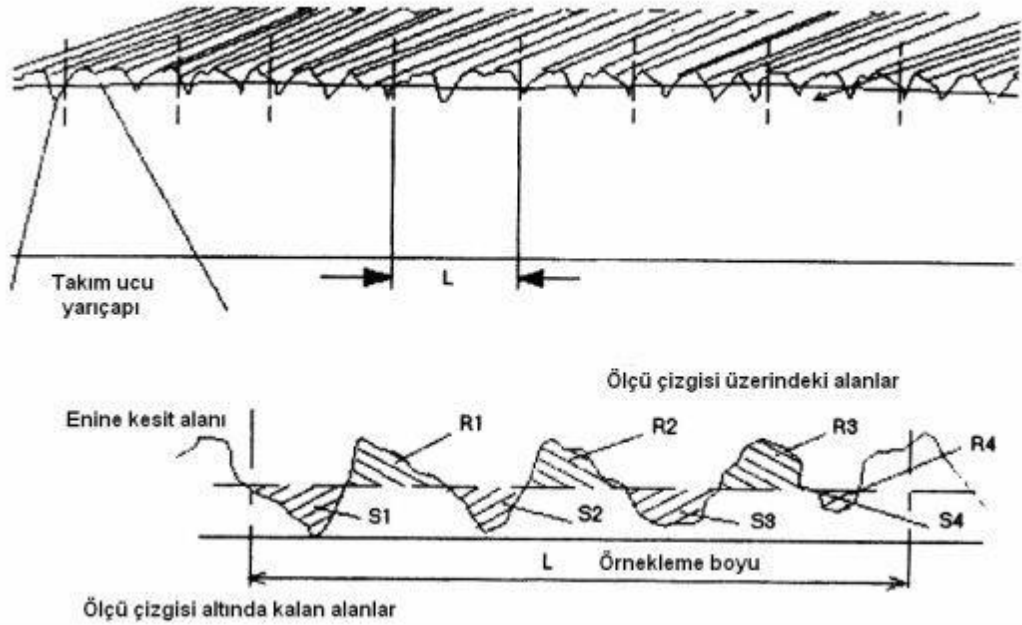
Şekil 1.4.12. Yüzey kalitesi ve köşe radyüsü ilişkisi (Çakır 2006).

Aynı talaş derinliği için büyük köşe radyüsüne sahip takımın kesmeye katılan uzunluğu küçük köşe radyüsüne sahip takıma göre daha büyüktür. Büyük köşe radyüsünün kullanımıyla ucun güçlendiği, daha iyi yüzey kalitesinin elde edildiği ve kesici kenar üzerinde daha iyi bir basınç dağılımının olduğu gözlenmektedir. Ancak keskin bir uca göre büyük köşe radyüsüne sahip takımlar talaş kaldırmada daha büyük bir güce gereksinim gösterirler ve doğal olarak köşe radyüsü arttıkça güç gereksinimi artar. Köşe radyüsüne göre radyal ve eksenel yöndeki kuvvet dağılımları da farklılık gösterir. Büyük köşe radyüsü büyük radyal kuvvetlerin oluşumuna neden olur. Buda ince cidarlı parçaların işlenmesinde ve delik işleme işlemlerinde talaş kaldırma işleminin rijitliğine olumsuz etkide bulunur. Köşe radyüsünün artması titreşim eğilimini de artırır. Tırlama riski olduğunda köşe radyüsünün seçiminde son derece dikkatli olunmalıdır (Çakır 2006).

1.4.4. Yüzey Pürüzlülüğü

İşlenmiş yüzeylerde, işleme metodu ne olursa olsun (örnek: lepleme, taşlama, tornalama vb.) yüzey pürüzlülüğünün oluşması kaçınılmazdır. Kesicinin cinsi, işleme metodu ve işlenen malzemeye bağlı olarak, işleme sırasında kimyasal, fiziksel ve ısı faktörlerle, kesen ve kesilen arasındaki mekanik hareketlerin de etkisiyle işlenmiş yüzeylerde, genellikle bazı izler oluşur. Nominal yüzey çizgisinin üstünde ve altında düzensiz sapmalar meydana getiren bu duruma yüzey pürüzlülüğü denir (Güllü 1995).

Yüzey pürüzlülüğü yaklaşık olarak, $R_a=1,6 \mu\text{m}$ değerini geçtiği zaman şirketlerin çoğu pürüzlülük profilini ölçmekten ziyade görsel kontrolü kullanırlar. Mühendislik parçaları fazla stresli veya alışılmışın dışında çevresel etkilere sahip parçalar daha spesifik ve daha detaylı yüzey kalitesi özelliğine sahiptir. Bu parçalar için tolerans gereksinimleri keza müsaade edilen yüzey pürüzlülüğe yakın olma ihtiyacındadır. Bu parçaların yüzey yapısını ölçmek için kalite kontrolü gerekir.



Şekil 1.4.13. Yüzey pürüzlülüğünün üç boyutlu gösterimi ve yüzey profili (Şahin 2001).

Yüzey pürüzlülüğünün üç boyutlu gösterimi ve yüzey profili Şekil 1.4.13’de görülmektedir. Gerek ANSI gerekse ISO standardına göre yüzey kalitesi, kabalık, dalgalık, izler ve hatalar olmak üzere 4 elemandan oluşmaktadır. Yüzey yapısı ile ilgili olan bu dört bileşenin tanımları şöyle özetlenebilir:

Pürüzlülük veya kabalık: İmalat işlemelerinden kaynaklanan genellikle daha ince düzensizliklerden oluşur, ilerleme izleri dahil diğer belirsizlikler örnekleme uzunluğunu sınırlar.

Dalgalık: Pürüzlülük örnekleme uzunluğundan daha büyük olan geniş aralıklı düzensizlikleri kapsar ve dalgalık, tezgâh, iş parçası defleksiyonu, titreşim, ısı davranış veya kesici takım aşınmasından ileri gelebilir.

Hatalar: Bir yerde olan veya yüzey üzerinde geniş aralıklı olarak oluşan amaçsız düzensizliklerdir. Yüzey üzerinde bulunan bu kusurlar; çatlaklar, delikler, artıklar, menteşeler ve çizgiler şeklinde olup bütün bunları kapsar.

Bitirme yüzeyi: Bir yüzeyin genel kalitesini göstermek için kullanılan geniş bir terimdir. Ancak “İyi bir bitirme yüzeyi” düşük pürüzlülük değerlerini ve tersi de her zaman “yüksek pürüzlülük” değerlerini gösterir (Şahin 2001).

Gerçek Yüzey Pürüzlülüğüne Etki Eden Önemli Faktörler şunlardır:

1. Kesici takımdaki titreşimler
2. Kesici takım geometrisi
3. İşlenen iş parçasındaki titreşim ve salgılar
4. İşleme takım hareketlerindeki bozukluklar
5. Kesme sırasında ilerleme miktarı
6. Kesme sırasında hız miktarı
7. Verilen talaş derinliği

8. İlerleme mekanizmasındaki düzensizlik
9. Takım ve iş parçasının elastik deformasyonu
10. İş parçalarındaki malzeme yapı bozuklukları
11. Kesici uç üzerine talaşın yapışması
12. Kesme kenarının pürüzlülüğü, birinci ve ikinci kesme kenarında oluşan izler ve aşınma
13. İşlenen malzemelerin süreksiz talaş vermesi Düşük kesme hızıyla işlenen yumuşak malzeme yüzeyindeki yırtılmalar
14. Talaş akışının sebep olduğu yüzey bozulması
15. İş parçasının talaş kaldırılan yüzeyinden 100 mikrometre derinlikteki fiziksel ve kimyasal özellikler (Özses 2002).

1.4.5. Takım Aşınması

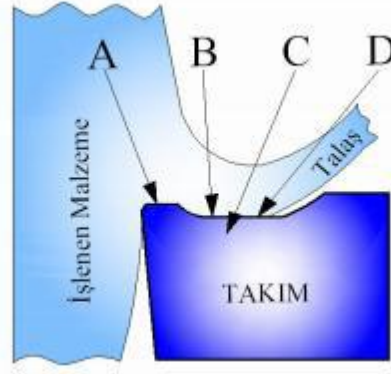
Bütün talaşlı imalat işlemleri esnasında kesici takımlar belirli bir süre sonra etkin olarak kesme kabiliyetlerini kaybederler. Kesici takım geometrisindeki tedrici şekil değişikliği (aşınma), anlık yüksek kuvvetlerden dolayı kesici ucun kırılması ve yüksek sıcaklık ve gerilmeler nedeniyle kesici takım malzemesinin dayanımının azalarak plastik deformasyona uğraması kesici takımın kesme kabiliyetini kaybetmesinin nedenlerindendir (Günay 2009).

Talaş kaldırma işlemi esnasında kesici takımın aşınması aşağıdakilerden biri veya birkaçının aynı anda gözlenmesiyle anlaşılır:

- a. Kesme kuvvetlerindeki aşırı yükselme,
- b. Sıcaklık artışı,
- c. Aşırı titreşim,
- d. Yüksek gürültü,
- e. İşlenen malzeme boyutlarındaki değişim,
- f. İşlenen yüzeyin bozulması (Günay, 2009).

1.4.5.1. Aşınma mekanizmaları

Kesici kenarın ömrü birçok yüke bağlı olarak belirlenir. Aşınma takım, iş parçası malzemesi ve işleme koşullarının etkileşiminden kaynaklanan bir olaydır. Temel yük faktörleri ve bu faktörlerin etki ettiği bölgeler Şekil 1.4.14’de gösterilmiştir (Yazman 2006).

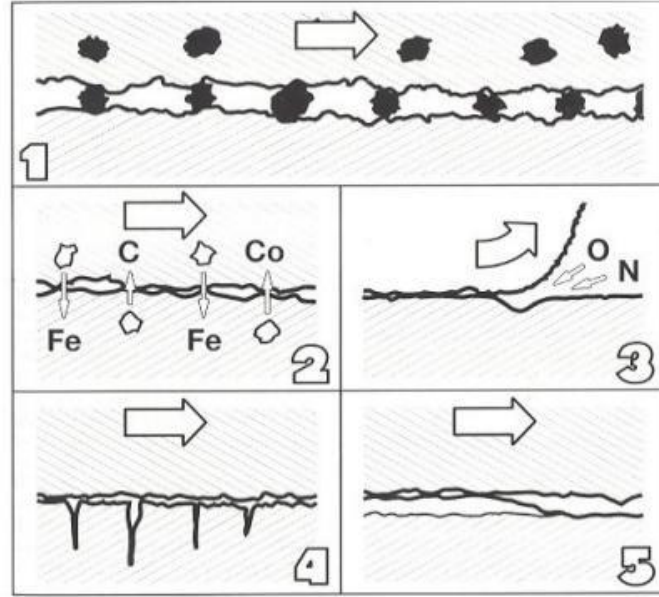


Şekil 1.4.14. Tipik aşınma bölgeleri (A- Mekanik, B- Isıl, C- Kimyasal, D- Abrasif yükleri temsil etmektedir.)

Talaş kaldırma sırasında kesici kenar üzerinde etkili olan yük faktörlerinin bir sonucu olarak bazı temel aşınma mekanizmaları metalden talaş kaldırma işlemine etki eder (Şekil 1.4.15) (Taylan 2009).

Bunlar;

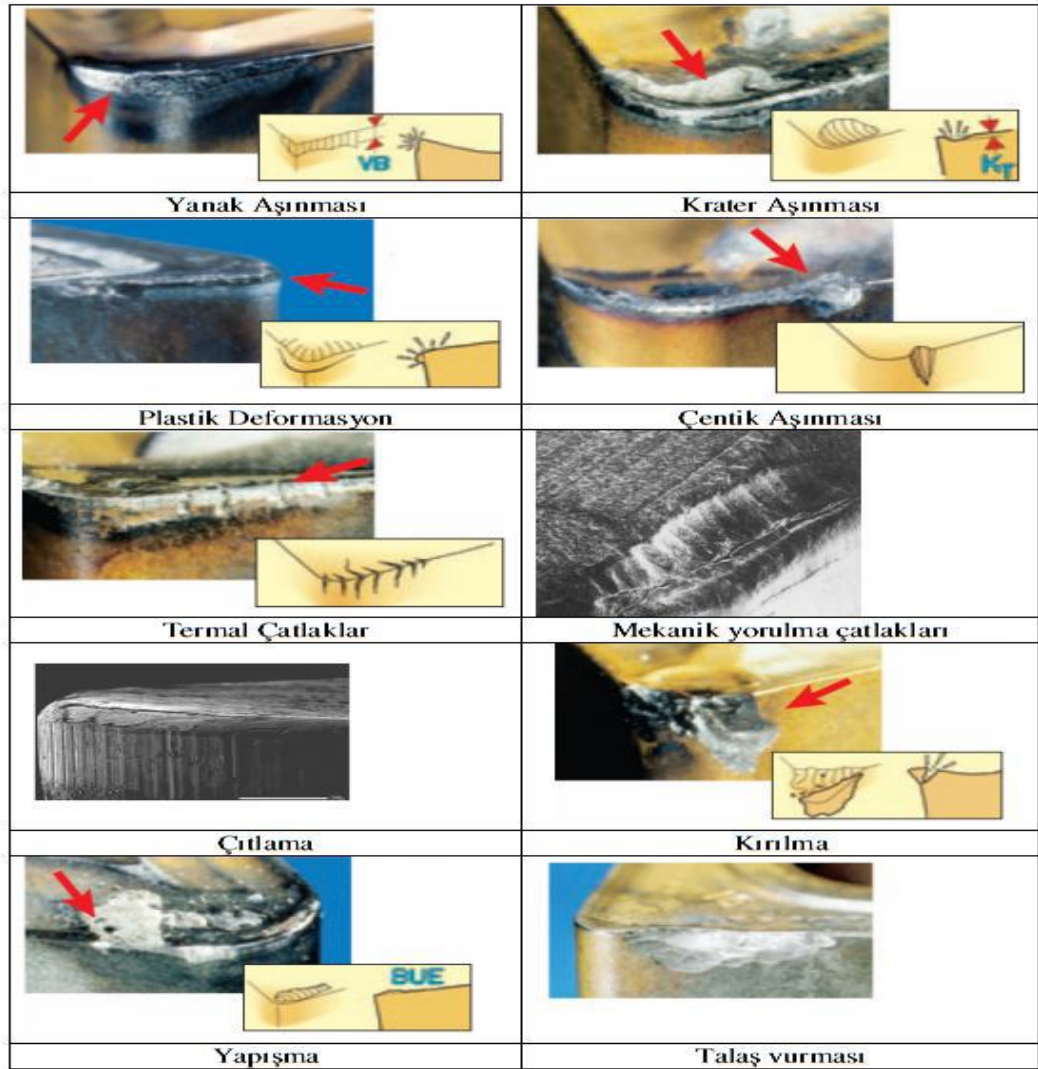
1. Abraziv (aşındırıcılarla) aşınma
2. Difüzyon (atomik yer değiştirme ile) aşınma
3. Oksidasyon aşınma
4. Yorulma ile aşınma
5. Adhezif aşınma



Şekil 1.4.15. Aşınma şekilleri

1.4.5.2. Takım aşınma tipleri

Belirtilen aşınma mekanizmaları nedeniyle meydana gelen aşınma tiplerinin sınıflandırılması, işleme tipi, malzeme için doğru işleme şartları ile takım sınıfının belirlenmesinde ve dolayısıyla kesme işleminin optimizasyonu için önemlidir. Şekil 1.4.16’da kesici takımlarda görülebilen aşınma tipleri verilmiştir (Günay 2009).



Şekil 1.4.16. Kesici takımdaki aşınma tipleri

1. Yanak aşınması: Abrasiv aşınma mekanizmasıyla oluşur.
2. Krater aşınması: Abrasiv ve difüzyon aşınma mekanizmasıyla oluşur.
3. Plastik deformasyon: Yorulma aşınma mekanizmasıyla oluşur.
4. Çentik aşınması: Oksidasyon ve yapışma aşınma mekanizmasıyla oluşur.
5. Termal çatlaklar: Isıl yorulma aşınma mekanizmasıyla oluşur.
6. Mekanik yorulma çatlakları: Mekanik yorulma aşınma mekanizmasıyla oluşur.
7. Çıtlama (Çentiklenme) : Yorulma aşınma mekanizmasıyla oluşur.
8. Kırılma (Kesici uç kırılması) : Plastik deformasyondan sonra oluşur.
9. Yığılma-sıvanma: Adhesiv aşınma mekanizmasıyla oluşur.

Talaş kaldırmada takım aşınması izlenmesi gereken parametrelerden biridir. Serbest yüzey aşınması üretilen parçanın büyüklüğünü ve yüzey kalitesini doğrudan etkiler. Takım aşınmasının belirlenmesinde en önemli amaç üretime ara verilmeden aşınmanın tespit edilebilmesidir. Bu amaçla modern üretim tezgahlarında adaptif denetim mekanizmaları geliştirilmiştir. Otomatik talaş kaldırma işlemlerinde kesici takımın ömrünü tamamlamadan önce değiştirilmesi gerekir. Aksi takdirde üretime devam etmesine rağmen, üretilen parçaların tolerans değerleri uygun olmayacaktır. Kesici uçta ve serbest yüzeyde oluşan aşınmalar yüzey kalitesinde bozulmalara neden olacağı gibi, üretimin kesici takım değiştirilmeden devam ettirilmesi üretim ve takım maliyetlerini arttıracaktır.

1.4.6. Yüzey Kalitesinin Sayısal Olarak Değerlendirilmesi

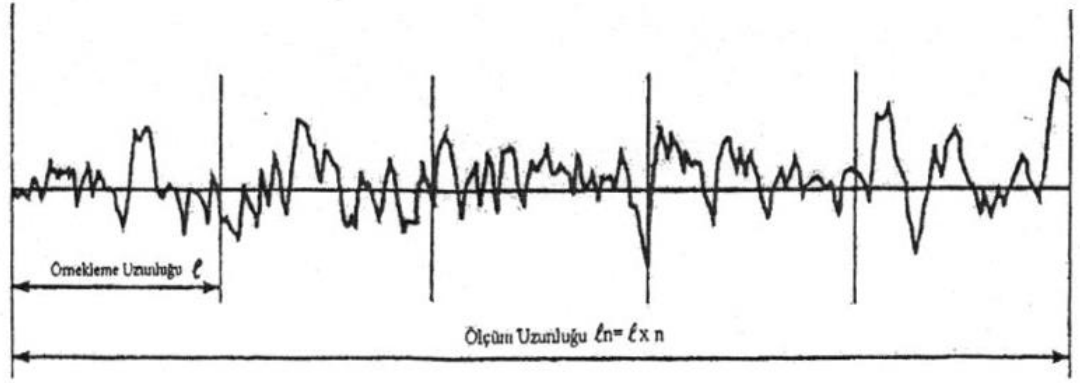
Yüzey kalitesi ölçme problemini çözmek için, üç boyuttan iki boyuta indirgemek ve grafik ortalamalarıyla sonucu göstermek mümkün olmasına rağmen, tasarımcının bu şekilde gerekli olan yüzey kalitesini açıkça belirleyebilmesi pratik bir metot değildir.

Grafik metodunu, ne üretim mühendisi, ne de kalite kontrol elemanı kolayca yorumlayamaz. Bu yüzden ihtiyaç duyulan şey, yüzeyin fonksiyonel özelliklerine ait bazı ilişkilerin yer alması ve sayısal olarak yorumlanabilmesidir. Otoritelerce yüzey kalitesinin sayısal değerlerinin belirlenebileceği iki metot kabul edilmiştir. Bunlar, genellikle ortalama çizgi (M) ve zarf sistemi (E) olarak bilinir (Neşel 2006).

1.4.6.1. Yüzey pürüzlülük parametreleri

1.4.6.1.1. Örnekleme uzunluğu (ln) ve örnekleme sayısı (n)

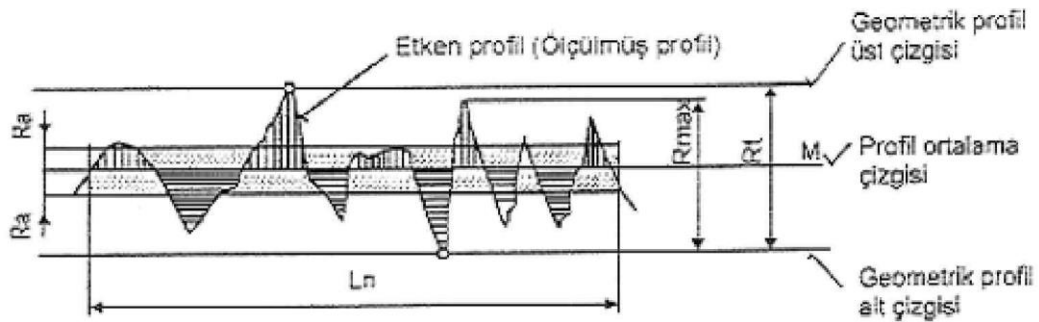
Örnekleme uzunluğu kesicinin ilerlemesini temsil edecek büyüklükte seçilmelidir (Şekil 1.4.17). Profil üzerinde değerlendirilen bütün örnekleme uzunluklarının bir araya gelmesi ile ln ile ifade edilen değerlendirme uzunluğu oluşur. ln uzunluğu $n \geq 5$ olmak üzere, örnekleme uzunluğu (l) ile (n) çarpılarak elde edilir (Gadelmawla vd. 2002).



Şekil 1.4.17. Örneklemeye uzunluğu ve sayısı ile ölçüm uzunluğu (Gadelmawla vd. 2002).

1.4.6.1.2. Ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a)

Belirli bir ölçüm uzunluğundaki (l_n) ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a), merkez çizgisinden ölçüm uzunluğuna kadar olan mesafede ölçülen yükseklik değişimlerinin mutlak değerlerinin aritmetik ortalamasıdır (Şekil 1.4.18). Kalite kontrolünde dünya çapında kabul görmüş bir yüzey pürüzlülük parametresidir. Bu parametrenin tanımlanması ve ölçülmesi kolaydır. Yükseklik dağılımları hakkında genel bir tanımlama getirdiği için dalga boyu ve profildeki hassas değişimler hakkında yeterli bilgi vermez.



Şekil 1.4.18. Ortalama yüzey pürüzlülüğü (Bayrak 2002).

Ra ortalama yüzey pürüzlülüğünün matematiksel tanımlaması aşağıdaki eşitlikler ile ifade edilmektedir (Gezgin 2007).

$$R_a = \frac{1}{L} \int_0^L |x| dx \quad (4.4)$$

$$R_a = \frac{|y_1| + |y_2| + \dots + |y_n|}{n} \quad (4.5)$$

1.4.7. Alüminyum Ve Alaşımlarının Talaşlı İşlenebilirliği

Talaşlı imalat alanında kullanılan alüminyum malzemelerin çoğunluğu alaşımlıdır. Saf alüminyumun zayıf ve sünek bir malzeme olduğu için kullanım alanı sınırlıdır (Çakır, 2006). Genellikle saf alüminyumun işlenmesi, çoğu alüminyum alaşımlarından daha zordur. Saf alüminyumun işlenmesinde uzun tel tel talaşlar çıkar ve onun abrasiv özelliği nedeniyle, kesici takım üzerindeki talaştan daha serttir.

Çoğu alüminyum alaşımları, yüksek kesme hızlarında işlenerek, iyi yüzey kalitesi ve uzun takım ömrü verirler. Genellikle, sertleştirilmiş ve temperlenmiş alaşımlar tavllanmış alaşımlardan daha kolay işlenir ve daha iyi yüzey meydana getirirler.

Silisyum içeren alaşımları işlemek daha zordur, çünkü talaş kaymadan ziyade yırtılır ve bu nedenle kötü yüzey elde edilir (Şahin 2001).

Alüminyum alaşımları iyi bir işlenebilirliğe sahiptir. Takım ömrü, yüzey kalitesi ve talaş oluşumuna bağlı olarak işlenebilirlik genellikle iyidir. Kesme kuvvetleri düşüktür. Dövme ve döküm alaşımlar temperlenmiş halde tavllanmış hale göre daha

iyi işlenirler. İşleme sıcaklıkları genelde düşüktür ve yüksek kesme hızlarının kullanımı söz konusudur. Kesme işlemi keskin, pozitif geometriler gerektirir ve genellikle alüminyum için özel geliştirilmiş takımlarla gerçekleştirilir, ancak alüminyum alaşımlarının birçoğunun modern, genel amaçlı takımlarla uygun şekilde işlenmesi de mümkündür. Doğru bir kayma işleminin gerçekleştirilmesi ve yığma kenar oluşumunun önüne geçilebilmesi için büyük talaş açlarına gereksinim vardır (Çakır 2006).

Saf Al işlendiğinde talaş sıvanması oluşmaz. Fakat çok yüksek kesme hızı dışında kötü yüzey kalitesi oluşur. Çoğu Al aşımalarında birden fazla faz ihtiva ettiğinden düşük hızlarda BUE meydana gelir. Yüksek hızlarda, örneğin 60-90 m/dak üzerinde BUE oluşmaz. BUE'nin oluştuğu yerde takım kuvvetleri düşük, talaş ince fakat yüzey pürüzlülüğünün kötü olma ihtimali vardır. BUE elmas takımlar kullanılarak azaltılabilir veya yok edilebilir.

Magnezyum gibi Al ve alaşımlarının ergime noktası (659 °C) düşük ve kesme esnasında oluşan sıcaklıklar ısı-ışım görmüş YHÇ takımlarında yapışma zarar verecek boyutta yüksek değildir. Pek çok Al ve alaşımları 600 m/dak kesme hızında karbürlü takımlarla ve 300 m/dak kesme hızında da YHÇ takımları ile işlenerek iyi takım ömrü sağlanır. Yüksek takım aşınması sadece birkaç Al alaşımında ciddi problem oluşturur. Örneğin, % 17-23 Si içeren Al-Si alaşımlarında, ötektik yapıda ince dağılmış Si kristallerine ilaveten, 70 µm büyüklüğünde Si taneleri ve kristalleri ihtiva ederler ve bunlar karbürlü takımlarda bile aşınma miktarını hayli arttırırlar.

%11-14 Si içeren ötektik alaşımlar, karbürlü takımlarda 300-450 m/dak hızla iyi takım ömrüyle işlenebilir. Fakat Si tanelerinin mevcudiyeti ile kesme hızı 100 m/dak'ya kadar düşer. Büyük Si parçaların kötü etkisi kesici takım üzerinde oluşan gerilme ve sıcaklığın neticesidir.

Alüminyumun işlenebilme problemlerinden birisi de talaşın kontrol edilmesi olup, bu yüzey merkezli kübik yapıya sahip olan alüminyumda kırılma öncesi aşırı plâstik deformasyona maruz kalmasından kaynaklanmaktadır. Al ve alaşımları kesildiğinde talaşlar uzun, oldukça kalın, dayanıklı ve kolaylıkla parçalanmaz. Bu talaş şekli takımlara dolaşabilir ve talaşların temizlenmesi için işlemin durdurulması gerekir.

Talaş açısı, yaklaşma açısı veya talaş kırıcılar tasarlanarak kesme işleminde iyileşme sağlanabilir. Diğer bir yaklaşım da, alaşımların bileşiminin ufak talaş oluşması veya daha kolay kırılabilen talaşlar elde etmek için modifiye edilmesidir. Standart Al içine kurşun, bizmut veya kalay ve antimon % 0,5 kadar katılır. Bu alaşım elementleri talaşların küçük parçacıklar halinde kolayca kırılmasını sağlar. Bu ergime noktası düşük metaller, alüminyum içinde katı çözelti oluşturmaz ve yapıda ince küresel olarak dağılmış durumdadır. Bunlar, talaşı oluşturmak için kayma düzleminden geçerken alüminyumun sünekliğini azaltır. Alüminyuma alaşım elementleri katılmasının esas amacı, kaldırılan talaş miktarının arttırılmasından veya daha iyi takım ömründen ziyade talaş oluşumunu kolaylaştırmak olmuştur. Uygulamalarda alüminyum alaşımları, YHÇ, karbürler yanında seramik takımlar ve ÇKE takımlarla

işlenmektedir. Ancak daha ekonomik talaş kaldırma işlemini gerçekleştirmek için ÇKE takımların tercih edilmesi gerekir.

BÖLÜM 2

2.1. MATERİYAL VE YÖNTEM

2.1.1. Materyal

2.1.1.1. Deney malzemesi

Deney malzemesi olarak 7075 alüminyum alaşımı kullanılmıştır. 7075 alüminyum alaşımının yüksek mukavemetlidir, korozyon direnci yüksektir ve hafif malzemedir. Yüksek mukavemet özelliğinden dolayı gemi sanayi, havacılık, otomotiv endüstrisi ve ordu donanım malzemesi olarak kullanılmaktadır. Çizelge 2.1’de deneyde kullanılan iş parçası malzemesinin kimyasal analizi verilmiştir.

Çizelge 2.1. 7075 Alüminyum alaşımının kimyasal bileşimi.

Kimyasal Analiz(%Ağırlık)											
Element	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Cr	Ni	Pb	Sn
Ölçülen değerler	0,34	0,42	1,58	0,23	2,41	5,65	0,02	0,23	0	0	0

2.1.1.2. Deney numunelerinin hazırlanması

Torna deneylerinde 1000*φ80 mm, alüminyum malzeme kullanılmıştır. Deney numunesine önce punta açılmış ardından üniversal torna tezgahına bağlanmıştır. Numunelerden 2 mm derinliğinde talaş kaldırılmış, bu şekilde bağlamadan

kaynaklanabilecek eksen kaçıklığı giderilmiştir. Ön talaş kaldırma esnasında, esas deneylerde kullanılacak olan kesici takım ve uçların dışında yine Böhler firmasına ait bir başka takım tutucu ve kesici uçlar kullanılarak deney numuneleri hazırlanmıştır.

Şekil 2.1'de torna deneylerinde kullanılan deney numunesinin hazırlanması görülmektedir.



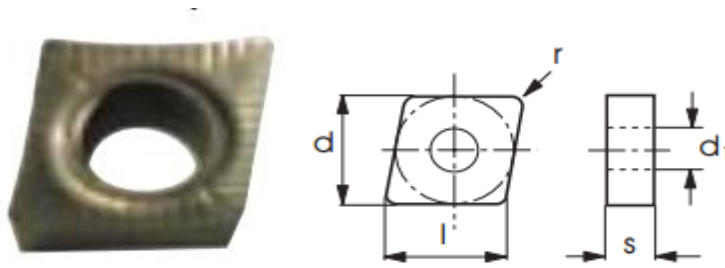
Şekil 2.1 Deney numunesinin hazırlanması.

Freze deneylerinde 300*200*20 mm alüminyum plaka kullanılmıştır. Ölçme uzunluğu 8 mm ve örnekleme sayısı 4 olarak seçilmiştir.

2.1.1.3. Kesici uçlar

2.1.1.3.1. Torna kesici ucu

Kesici uç olarak, alüminyum alaşımlarının tornalanması için Böhler firması tarafından üretilmiş CCGT 120408-270 kodlu ve 0,8 mm uç yarıçapına sahip, kaplamasız tungsten karbür uç kullanılmıştır (Şekil 2.2).

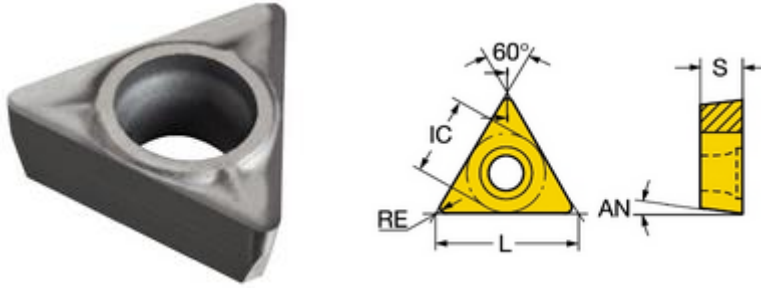


Ölçüler(mm)				
l	d	s	d ₁	r
12,90	12,70	4,76	5,50	0,8

Şekil 2.2 Kesici uç ve teknik özellikleri.

2.1.1.3.2. Freze kesici ucu

Kesici uç olarak, alüminyum alaşımlarının frezelenmesi için Sandvik firması tarafından üretilmiş TCGX 09 02 04-AL H10 kodlu ve 0,4 mm uç yarıçapına sahip, uç kullanılmıştır (Şekil 2.3).



Şekil 2.3 Freze için kesici uç.

2.1.1.4. Takım tezgahları

2.1.1.4.1 Torna tezgahı

Deneyler Toss SN55 universal torna tezgahında gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.4). Tezgah 7,5 kw motor gücüne sahip, ayna çapı 310 mm, çalışma devir aralığı 10-1000 dev/dak ve maksimum işlem boyu 2500 mm'dir.



Şekil 2.4. Toss SN55 torna tezgahı.

2.1.1.4.2 Freze tezgahı

Deneyler Deckel FP-33 marka freze tezgahında gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.5). Tezgahın X eksen hareketi 960 mm, Y eksen hareketi 400 mm, Z eksen hareketi ise 600 mm dir. Tezgah maksimum 1000 dev/dak'da çalışmakta olup ve maksimum işlem boyu 1200 mm'dir.



Şekil 2.5. Deckel FP33 Freze tezgahı.

2.1.2 Yöntem

2.1.2.1. Deneylerin yapılışı

Deneyler takım tutucuya kesici uç bağlanarak gerçekleştirilmiştir. Tornalama işlemlerinde, soğutma sıvısı kullanılmamıştır. Her bir parametrenin etkisini belirlemek için toplam 36 adet deney yapılmıştır. Kesme parametrelerinin seçiminde, kesici takım firmasının tavsiye ettiği ideal kesme şartları, daha önce yapılmış deneysel çalışmalar ve tezgâh teknik bilgileri dikkate alınmıştır. Deneylerde üç değişik kesme hızı, talaş derinliği ve dört farklı ilerleme miktarı parametre olarak belirlenmiştir (Çizelge 2.2). Şekil 2.6.'da torna tezgahında tornalama işlemi yapılırken görülmektedir.

Çizelge 2.2. Torna için deney parametreleri.

İlerleme Fz(mm/dev)	Talaş Derinliği ap(mm)	Kesme Hızı Vc(m/dak)
0,25-0,30-0,35	0,2-0,4-0,6-0,8	150-300-450

Frezeleme işlemleri için 27 farklı deney yapılmıştır. 4 adet kesici uç kullanılmıştır. Deneylerde üç değişik kesme hızı, talaş derinliği ve ilerleme miktarı parametre olarak belirlenmiştir (Çizelge 2.3).

Çizelge 2.3. Frezeleme için deney parametreleri.

İlerleme Fz(mm/diş)	Talaş Derinliği ap(mm)	Kesme Hızı Vc(m/dak)
0,1-0,2-0,3	0,5-1-1,5	250-600-900



Şekil 2.6. Tornalama işlemi yapılırken.

Yüzey pürüzlülük ölçümleri, Mitutoyo SJ-301 marka taşınabilir yüzey pürüzlülük cihazı ile yapılmıştır (Şekil 2.7) Ra ortalama yüzey pürüzlülük değeri kullanılmıştır.



Şekil 2.7. Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Cihazı (Mitutoyo SJ-301).

Deneye başlamadan önce yüzey pürüzlülüğü ölçme cihazı kalibre edilmiştir. Deney numuneleri basınçlı hava ile temizlenmiştir. Her bir yüzey için 4 farklı bölgeden ölçüm yapılmış, sonuçların aritmetik ortalaması alınmıştır. Döküm kaynaklı pürüzlülükler, diğer ölçümlerle uyuşmadığında o ölçüm yok sayılmış ortalamaya katılmamıştır. Şekil 2.8’de freze tezgahı görülmektedir.



Şekil 2.8. Freze Tezgahı (Deckel FP33).

BÖLÜM 3

3.1. ELDE EDİLEN DENEYSEL SONUÇLAR

Deneysel çalışmalar çalışmanın zenginliği açısından hem torna hem de frezeleme işlemleriyle ayrı ayrı yapılmış ve yorumlanmıştır. Deney şartları, kullanılan tezgâh ve kesici takımlar ve numune özellikleri bir önceki bölümde bu işlemler için verilmiştir. Bu bölümde ise tornalama ile frezeleme için deney sonuçları Bölüm 3.1 ve 3.2’de detaylı olarak incelenmiş ve değerlendirilmiştir.

3.1.1. Torna İşlemi Sonucu Elde Edilen Deneysel Sonuçlar

Gerçekleştirilen deneyler sonucunda 7075 alüminyum malzeme için 3 farklı kesme hızı, 4 farklı kesme derinliği ve 3 farklı ilerleme miktarına göre yüzey pürüzlülüğü değerleri bulunmuştur. Bu bölümde deneysel sonuçlar grafik eşliğinde verilecek ve değerlendirmeler yapılacaktır. Sonraki bölümde ise sonuçların analizi yapılacaktır.

Çalışmada kullanılan kesme hızı, ilerleme miktarı ve talaş derinliği parametrelerinin, yüzey pürüzlülüğüne olan etkisi bu bölümde değerlendirilmiştir. Daha önce yapılmış deneysel çalışmalar ve teorik sonuçlarla karşılaştırma da yapılmıştır. Her bir parametrenin yüzey pürüzlülüğüne etkisi grafik eşliğinde ayrı ayrı değerlendirilerek, bölümler halinde gösterilmiştir. Deneysel çalışmalar, 0,25-0,30-0,35 mm/dev ilerleme miktarı, 150-300-450 m/dak kesme hızı, 0,2-0,4-0,6-0,8 mm talaş derinliği

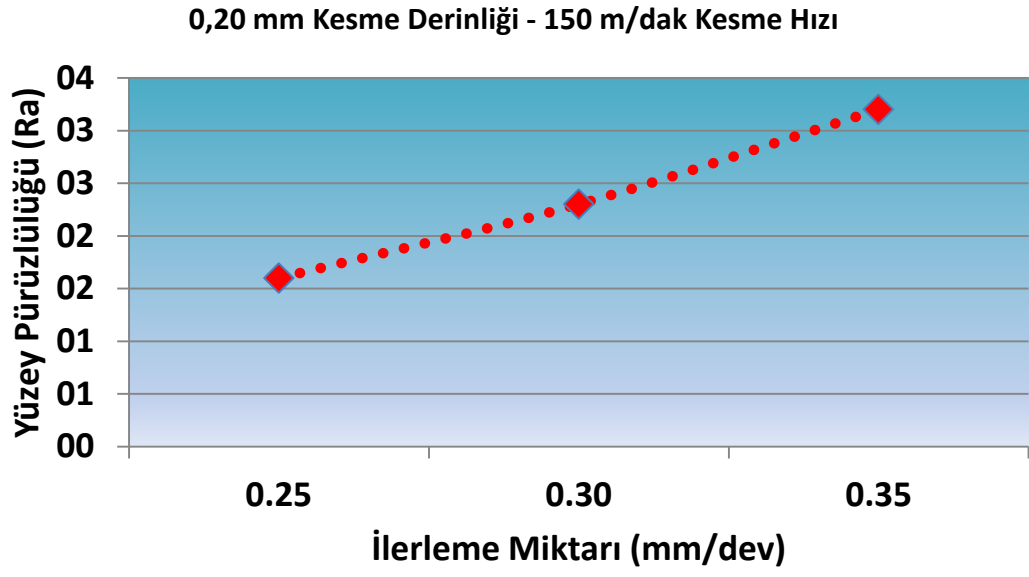
şartlarında, 0,8 mm kesici uç yarıçapına sahip kesici uç kullanılarak yapılmıştır. Çizelge 3.1’de deneylerin sonunda elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü sonuçları verilmiştir.

3.1.1.1. Tornalama için ilerleme miktarının yüzey pürüzlülüğüne etkisi

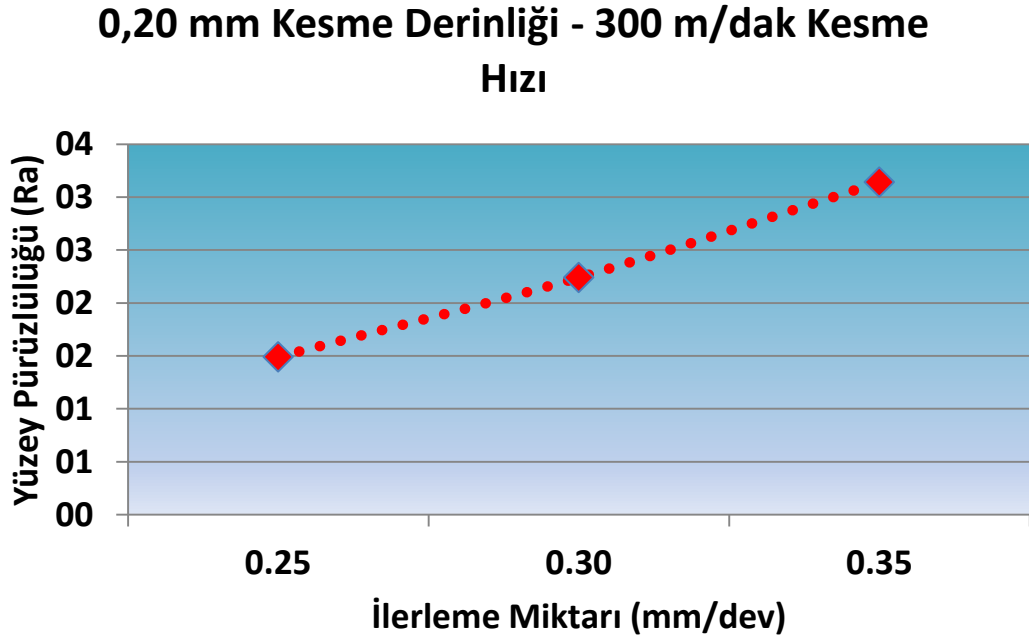
İlerleme miktarına bağı yüzey pürüzlülüğü değışimlerini grafiklere göre genel olarak değışlendirdiğimizde, her türlü kesme şartında yüzey pürüzlülüğü, ilerlemenin artmasıyla artmış, azalmasıyla azalmıştır. İlerleme miktarı yüzey pürüzlülüğüne en fazla etkiyi yapan parametre olmuştur. Kaynaklardan elde edilen teorik bilgilerle bu sonuç örtüşmektedir. Değışik kesme şartlarında ilerleme miktarına bağı yüzey pürüzlülük değışimleri şekil 3.1-3.12’de görölmektedir. Yüzey pürüzlülüğünün etkisinin iyi bir şekilde anlaşılabilmesi için üç farklı ilerleme değıri alınmıştır. Gökaya vd. (2004), AISI 1030 çeliğı üzerine yaptıkları çalışmada aynı şekilde yüzey pürüzlülüğünün ilerleme miktarından doğıru orantılı olarak etkilendiğini rapor etmişlerdir. Hüseyinoğılu (2008) da 7075 alüminyum alaşımının freze ile işlenmesi üzerine yaptığı çalışmada benzer şekilde ilerleme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün arttığını bildirmiştir. Reis ve Abrao (2005), 6351-T6 alüminyum alaşımını kullandıkları bir başka çalışmada da ilerleme miktarının artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün arttığını bildirmişlerdir.

Çizelge 3.1. Torna için deney sonuçları.

Deney No	Kesme Derinliği(mm)	İlerleme Miktarı (mm/dev)	Kesme Hızları (m/dak)	Yüzey Pürüzlülüğü (R _a)
1	0.2	0.25	150	1,6
2	0.2	0.30	150	2,3
3	0.2	0.35	150	3,2
4	0.2	0.25	300	1,49
5	0.2	0.30	300	2,24
6	0.2	0.35	300	3,14
7	0.2	0.25	450	1,48
8	0.2	0.30	450	2,21
9	0.2	0.35	450	3,12
10	0.4	0.25	150	1,62
11	0.4	0.30	150	2,35
12	0.4	0.35	150	3,22
13	0.4	0.25	300	1,58
14	0.4	0.30	300	2,29
15	0.4	0.35	300	3,2
16	0.4	0.25	450	1,53
17	0.4	0.30	450	2,28
18	0.4	0.35	450	3,14
19	0.6	0.25	150	1,62
20	0.6	0.30	150	2,33
21	0.6	0.35	150	3,24
22	0.6	0.25	300	1,6
23	0.6	0.30	300	2,25
24	0.6	0.35	300	3,15
25	0.6	0.25	450	1,4
26	0.6	0.30	450	2,05
27	0.6	0.35	450	3,01
28	0.8	0.25	150	1,61
29	0.8	0.30	150	2,38
30	0.8	0.35	150	3,27
31	0.8	0.25	300	1,57
32	0.8	0.30	300	2,37
33	0.8	0.35	300	3,26
34	0.8	0.25	450	1,55
35	0.8	0.30	450	2,34
36	0.8	0.35	450	3,25

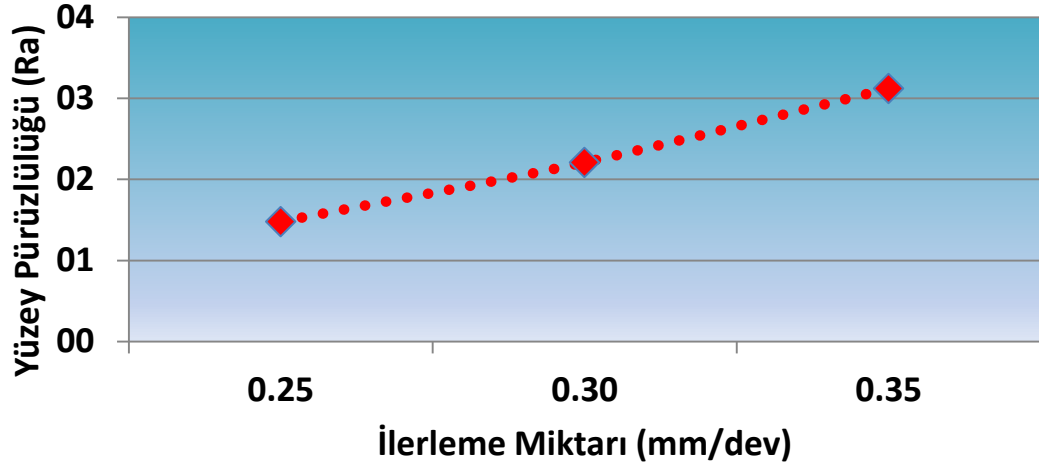


Şekil 3.1. 0,2 mm kesme derinliği ve 150 m/dak kesme hızında, ilerleme miktarına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğ değişimleri.



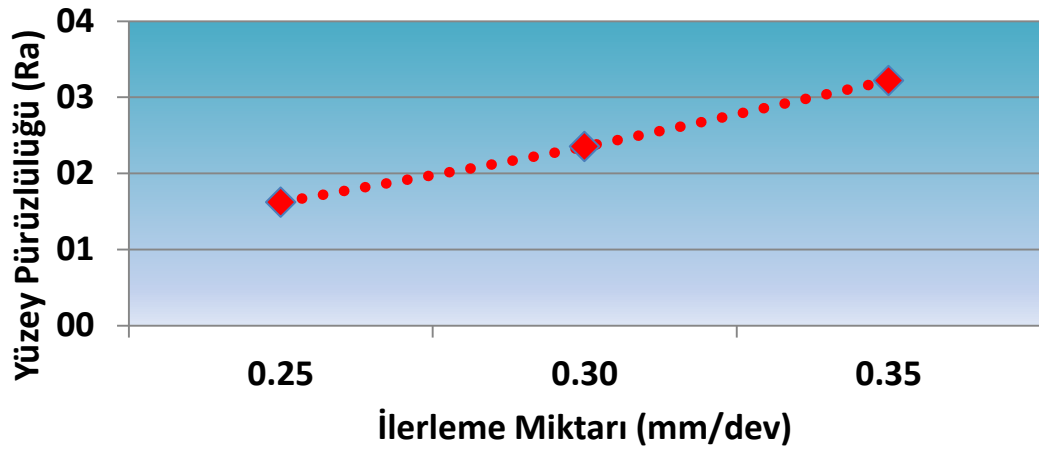
Şekil 3.2. 0,2 mm kesme derinliği ve 300 m/dak kesme hızında, ilerleme miktarına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğ değişimleri.

0,20 mm Kesme Derinliği - 450 m/dak Kesme Hızı



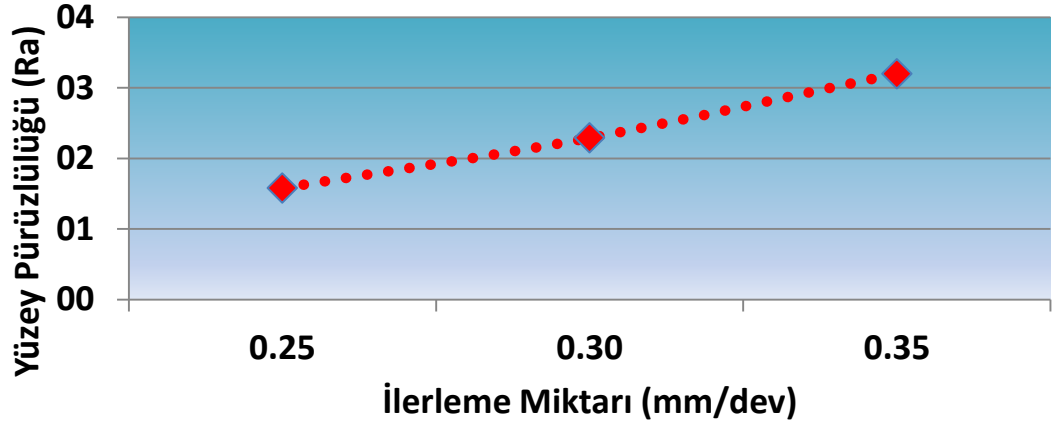
Şekil 3.3. 0,2 mm kesme derinliği ve 450 m/dak kesme hızında, ilerleme miktarına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğ değışimleri.

0,40 mm Kesme Derinliği - 150 m/dak Kesme Hızı



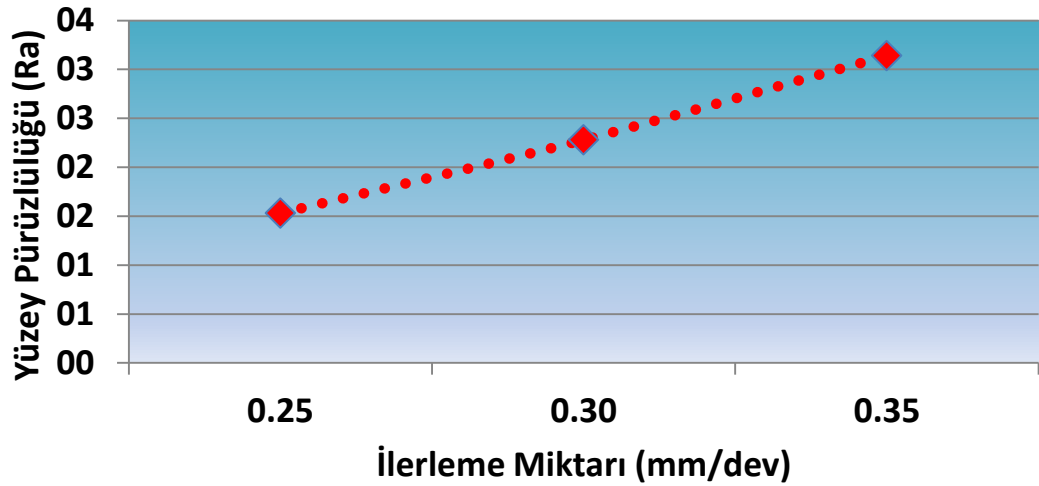
Şekil 3.4. 0,4 mm kesme derinliği ve 150 m/dak kesme hızında, ilerleme miktarına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğ değışimleri.

0,40 mm Kesme Derinliği - 300 m/dak Kesme Hızı



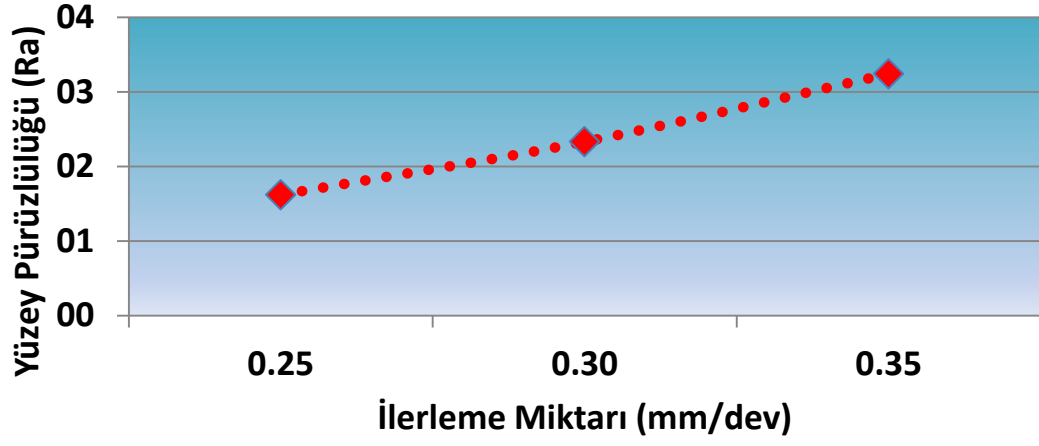
Şekil 3.5. 0,4 mm kesme derinliği ve 300 m/dak kesme hızında, ilerleme miktarına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğ değişimleri.

0,40 mm Kesme Derinliği - 450 m/dak Kesme Hızı



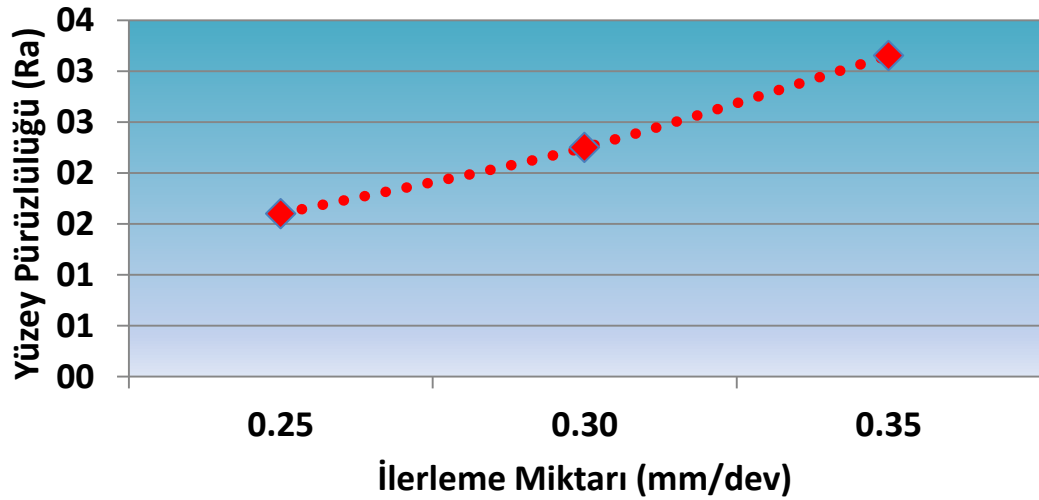
Şekil 3.6. 0,4 mm kesme derinliği ve 450 m/dak kesme hızında, ilerleme miktarına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğ değişimleri.

0,60 mm Kesme Derinliği - 150 m/dak Kesme Hızı



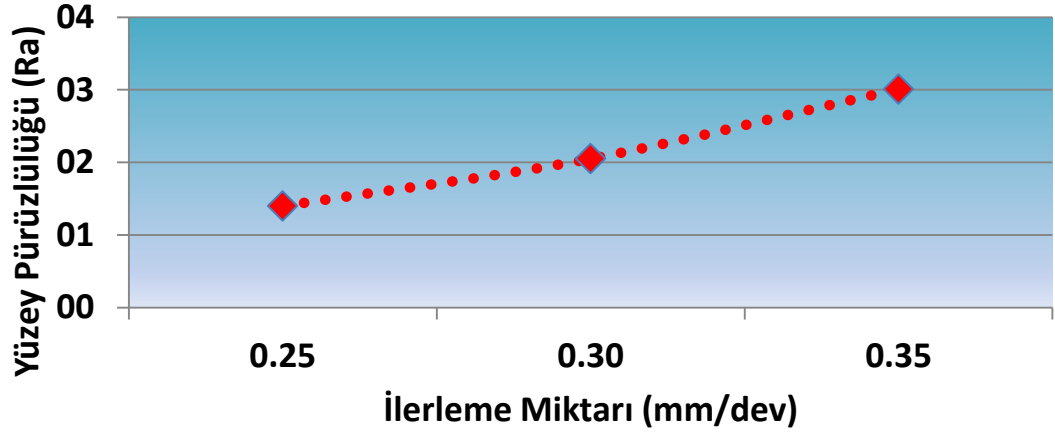
Şekil 3.7. 0,6 mm kesme derinliği ve 150 m/dak kesme hızında, ilerleme miktarına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğ değişimleri.

0,60 mm Kesme Derinliği - 300 m/dak Kesme Hızı



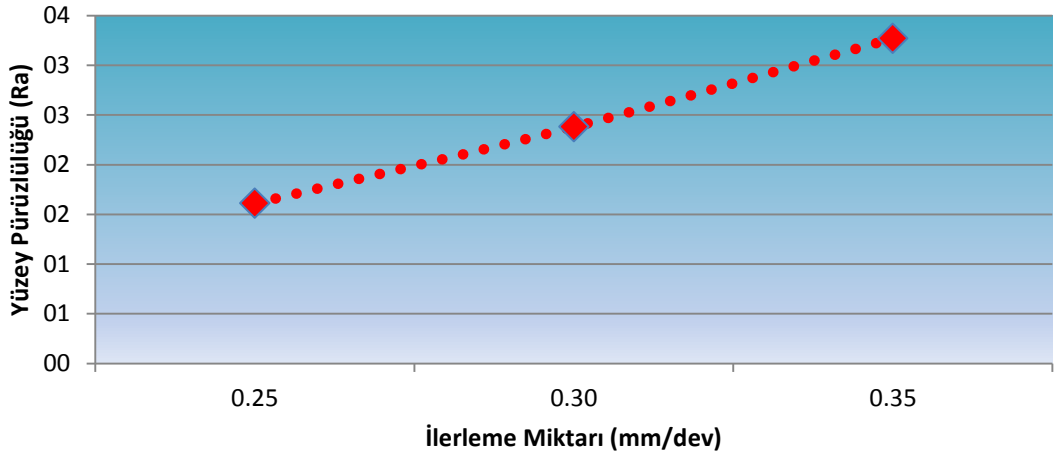
Şekil 3.8. 0,6 mm kesme derinliği ve 300 m/dak kesme hızında, ilerleme miktarına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğ değişimleri.

0,60 mm Kesme Derinliği - 450 m/dak Kesme Hızı



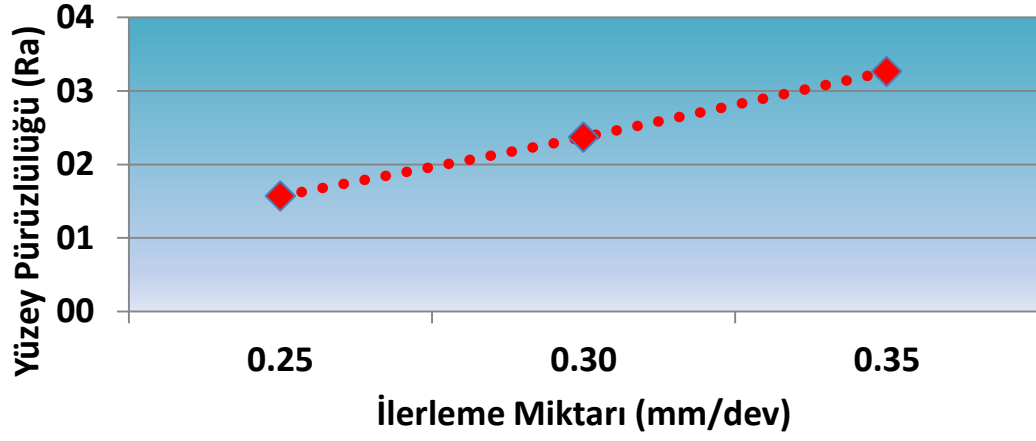
Şekil 3.9. 0,6 mm kesme derinliği ve 450 m/dak kesme hızında, ilerleme miktarına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğ değişimleri.

0,80 mm Kesme Derinliği - 150 m/dak Kesme Hızı



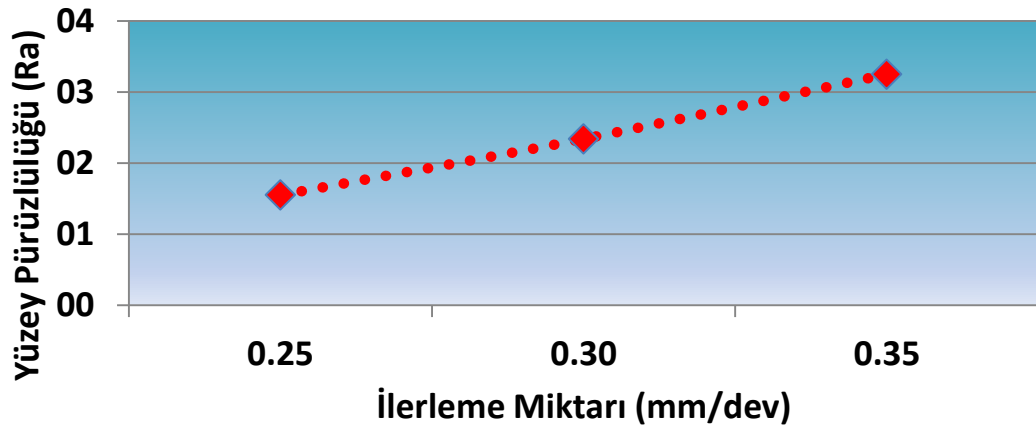
Şekil 3.10. 0,8 mm kesme derinliği ve 150 m/dak kesme hızında, ilerleme miktarına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğ değişimleri.

0,80 mm Kesme Derinliği - 300 m/dak Kesme Hızı



Şekil 3.11. 0,8 mm kesme derinliği ve 300 m/dak kesme hızında, ilerleme miktarına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğ değişimleri.

0,80 mm Kesme Derinliği - 450 m/dak Kesme Hızı



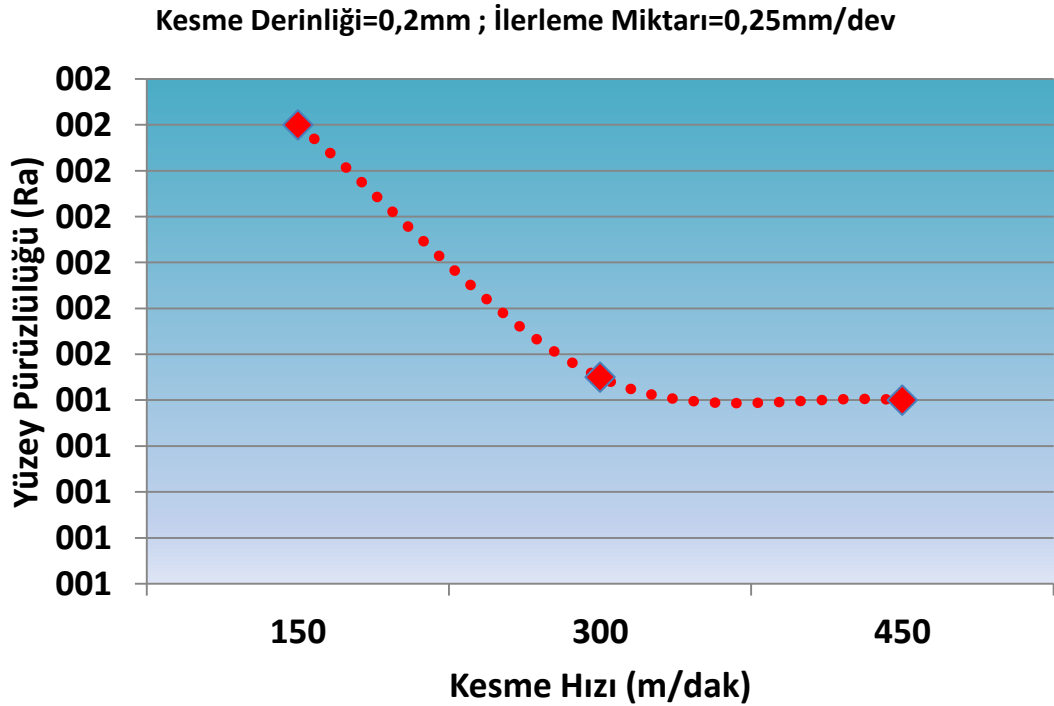
Şekil 3.12. 0,8 mm kesme derinliği ve 450 m/dak kesme hızında, ilerleme miktarına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğ değişimleri.

İlerleme miktarı 0.25 mm/dev olduğunda yüzey pürüzlülüğü en düşük değerini almıştır. İlerleme değeri %20 artırıldığında yüzey pürüzlülüğünde %43'e varan artışlar olmuştur. Şekil 3.1'de görüleceği gibi ilerleme değeriyle ortalama yüzey pürüzlülüğü arasında lineer bir artış söz konusudur. Yüzey pürüzlülüğü değerleri 1,4 ile 3,27 μm arasında değişmektedir. İlerleme değeriyle yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişki tüm grafikler için aynıdır. İlerleme değeri arttıkça yüzey pürüzlülüğü artmaktadır. Elde edilen en düşük yüzey pürüzlülük değeri ilerleme miktarı 0,25 mm/dev için elde edilmiştir. 0,35 mm/dev ilerleme miktarı için en büyük yüzey pürüzlülük değeri gözlemlenmiştir. Fakat bu parametrenin etkisinin diğer kesme parametrelerine göre nasıl değiştiği irdelenmelidir. Kesme parametrelerinin etkileri ileriki bölümlerde analiz yöntemleriyle gerçekleştirilecektir. Kesme hızı ve kesme derinliğinin yüzey kalitesine etkisi de belirlenerek grafiksel olarak verilecektir. Daha sonra en büyük etkiye sahip parametre belirlenip uygun kesme şartları ve kesici takım ömrü seçilebilir.

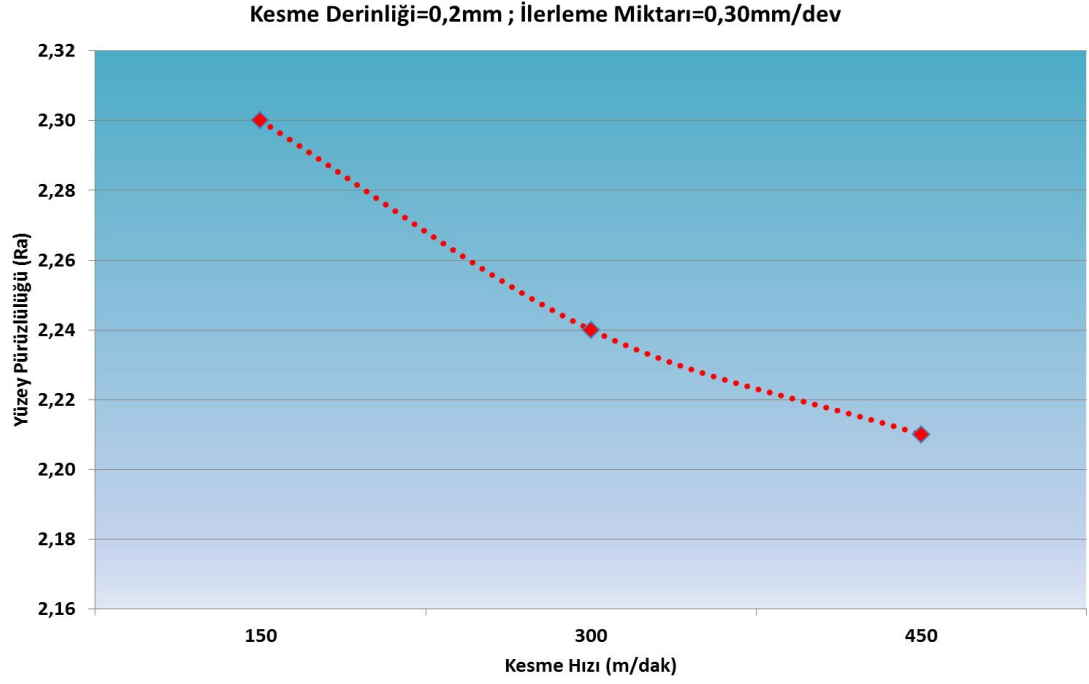
3.1.1.2. Tornalama için kesme hızının yüzey pürüzlülüğüne etkisi

Yapılan deneysel çalışmalarda, 150 m/dak, 300 m/dak ve 450 m/dak olmak üzere üç farklı kesme hızı kullanılmıştır. Değişik kesme şartlarında elde edilmiş, kesme hızına bağlı yüzey pürüzlülük değişimleri Şekil 3.13-24'de görülmektedir. Grafikler incelendiğinde kesme hızıyla yüzey pürüzlülüğü arasında ters orantılı bir ilişki olduğu görülmektedir. Kesme hızının artmasıyla birlikte yüzey pürüzlülüğü azalmıştır. Çakır vd. (2009)' de soğuk iş takım çeliğini kullandığı çalışmada benzer şekilde kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün azaldığını rapor etmiştir.

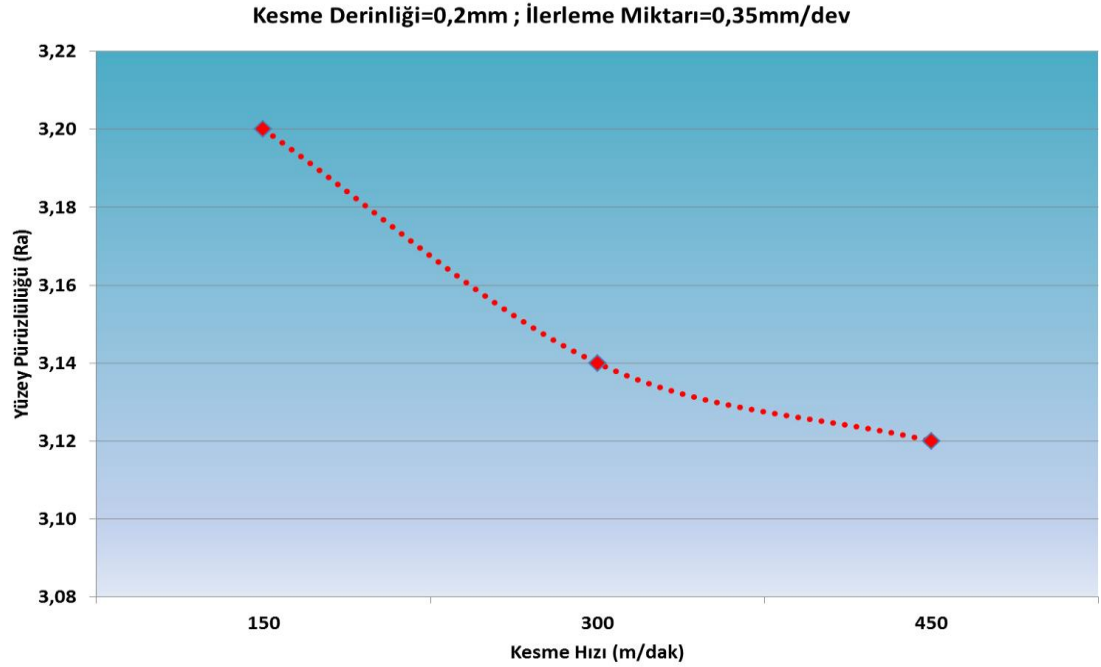
Ayrıca Sai vd. (2001) de karbon ve paslanmaz çeliği kullandıkları çalışmada, bitirme yüzeyi frezelemede kesme hızında artışın yüzey pürüzlülüğünü azalttığını bildirmiştir. Araştırmacılar artan kesme hızıyla birlikte yüzey pürüzlülük değerinin azalmasını, hız artışıyla birlikte takım talaş temas uzunluğunun kısılmasına ve kesme kuvvetlerinin azalmasına, bu yüzden de deformasyonların küçülmesine bağlamışlardır. Ghani ve Choudhury (2002) ise yaptığı çalışmada, farklı olarak kesme hızının artırılmasıyla yan kenar aşınmasının hızlandığını ve böylece yüzey pürüzlülüğünün arttığını belirtmiştir. Bir diğer çalışmada da Nalbant vd. (2007), kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün arttığını bildirmiştir.



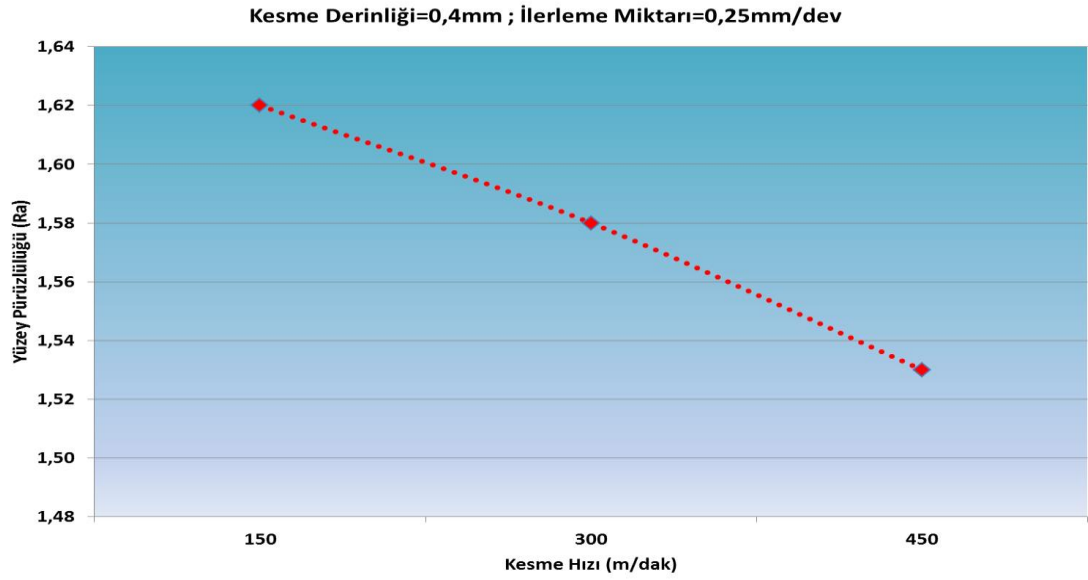
Şekil 3.13. 0,2 mm kesme derinliği ve 0,25 mm/dev ilerleme miktarında, kesme hızına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değişimleri



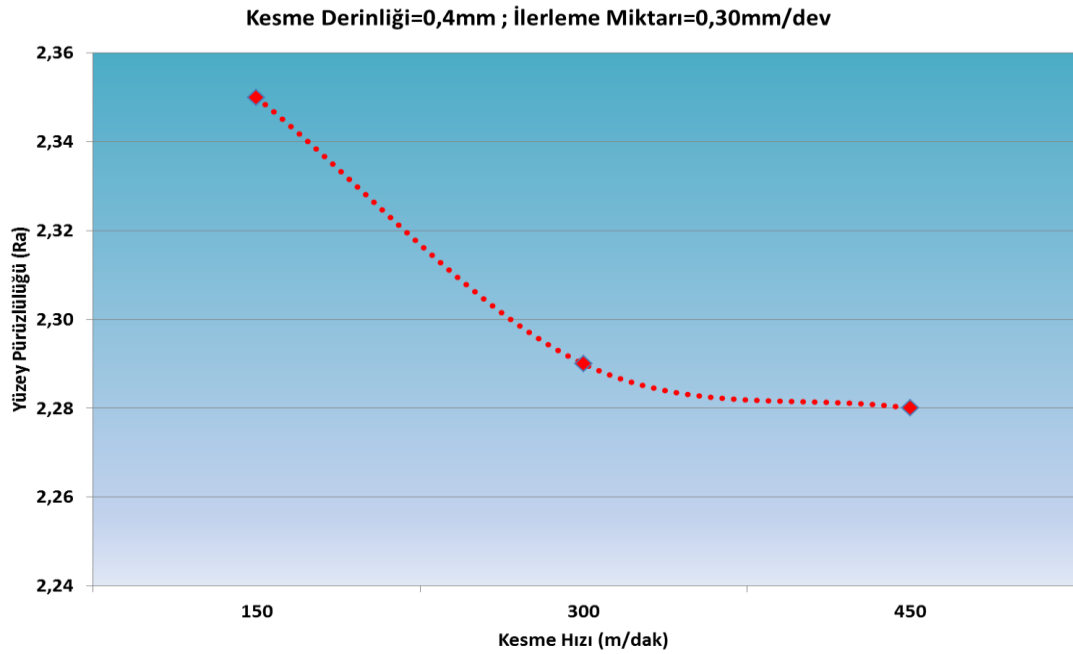
Şekil 3.14. 0,2 mm kesme derinliği ve 0,30 mm/dev ilerleme miktarında, kesme hızına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değişimleri.



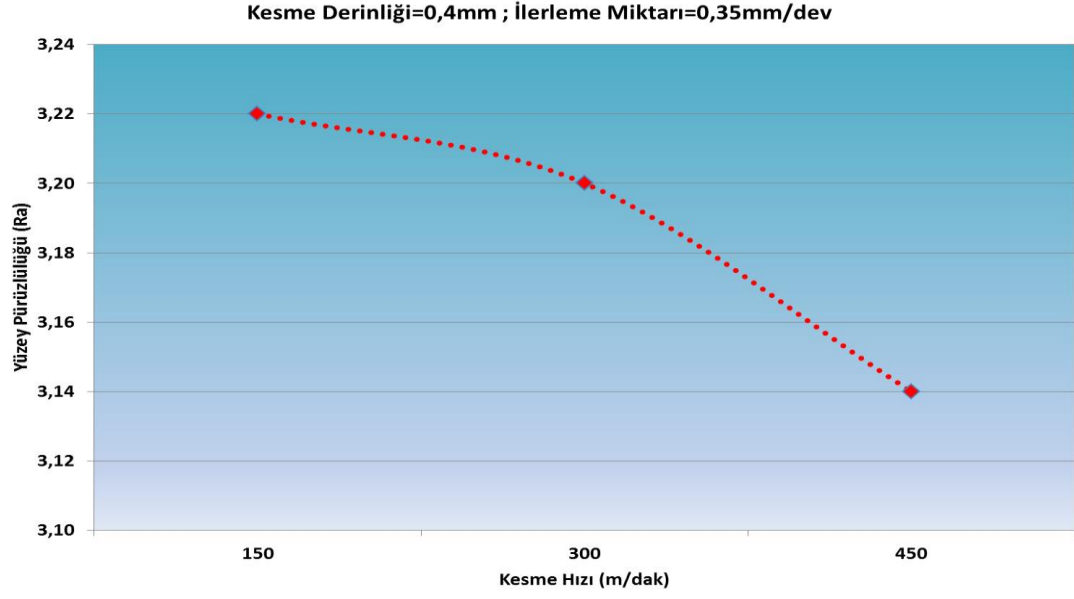
Şekil 3.15. 0,2 mm kesme derinliği ve 0,35 mm/dev ilerleme miktarında, kesme hızına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değişimleri.



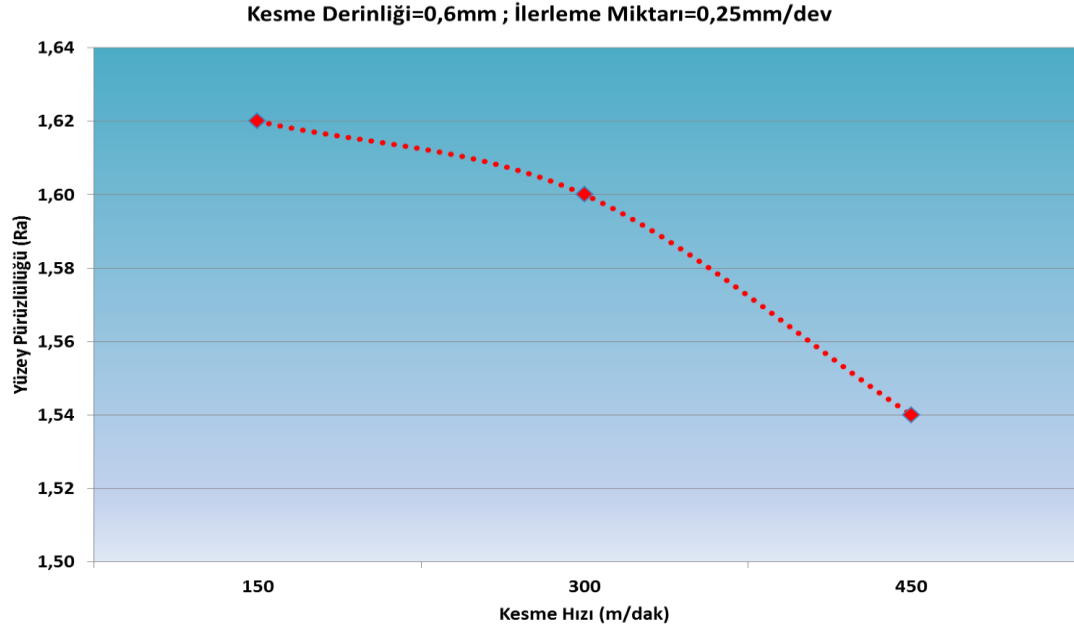
Şekil 3.16. 0,4 mm kesme derinliği ve 0,25 mm/dev ilerleme miktarında, kesme hızına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğ değişimleri.



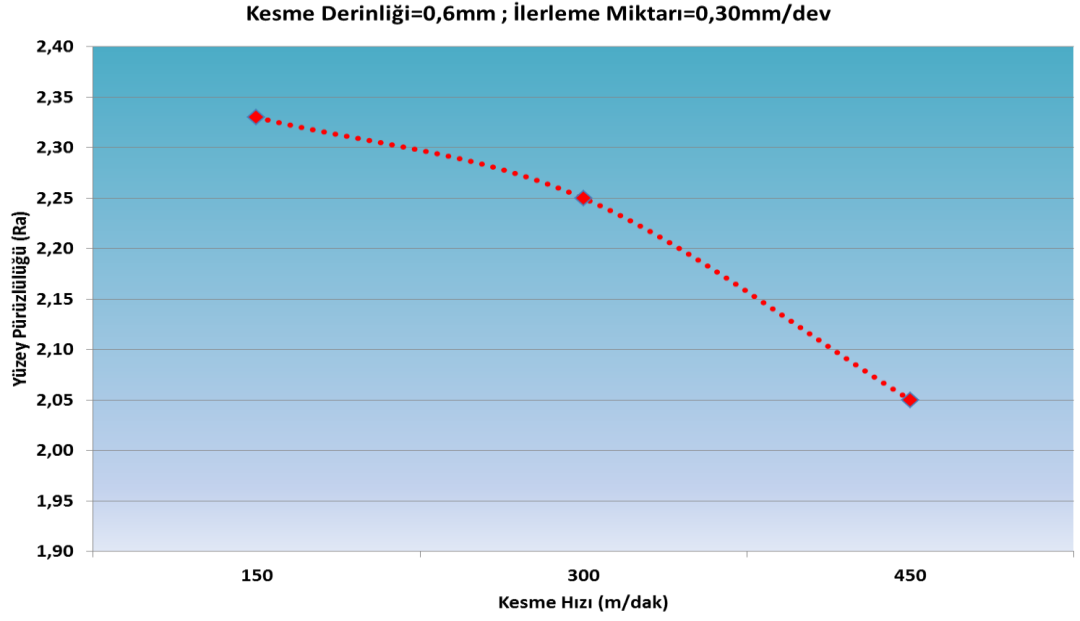
Şekil 3.17. 0,4 mm kesme derinliği ve 0,3 mm/dev ilerleme miktarında, kesme hızına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğ değişimleri.



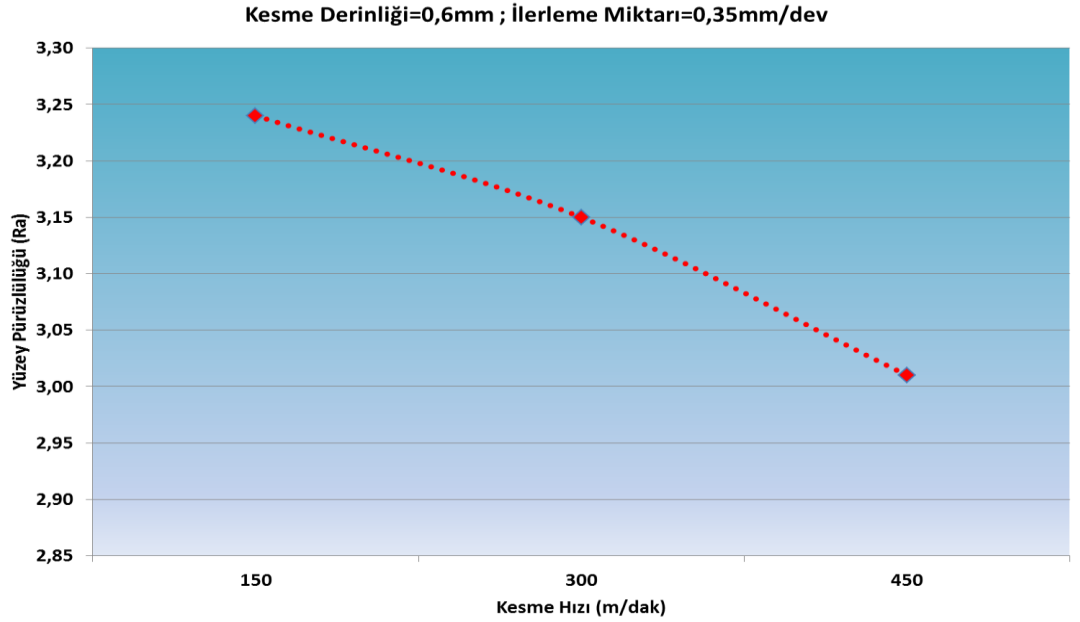
Şekil 3.18. 0,4 mm kesme derinliği ve 0,35 mm/dev ilerleme miktarında, kesme hızına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değişimleri.



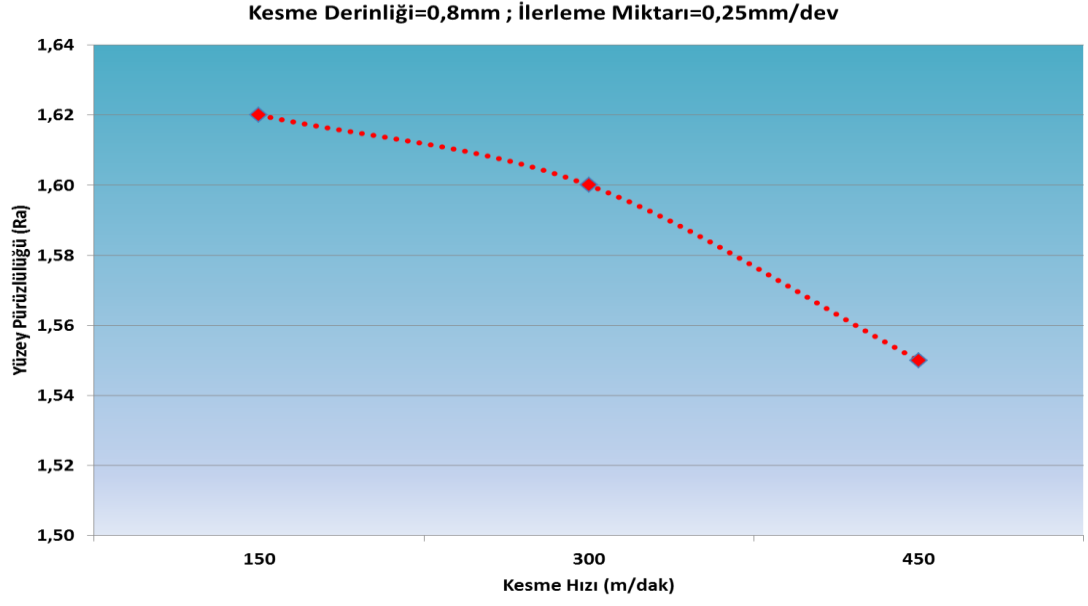
Şekil 3.19. 0,6 mm kesme derinliği ve 0,25 mm/dev ilerleme miktarında, kesme hızına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değişimleri.



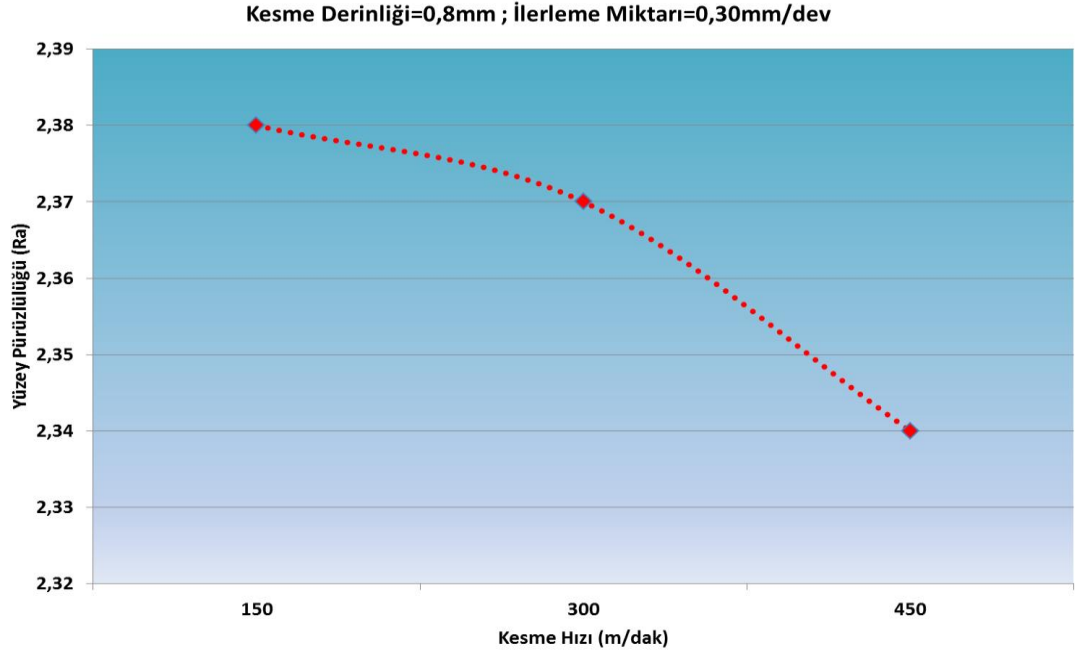
Şekil 6.20. 0,6 mm kesme derinliği ve 0,30 mm/dev ilerleme miktarında, kesme hızına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğ değişimleri



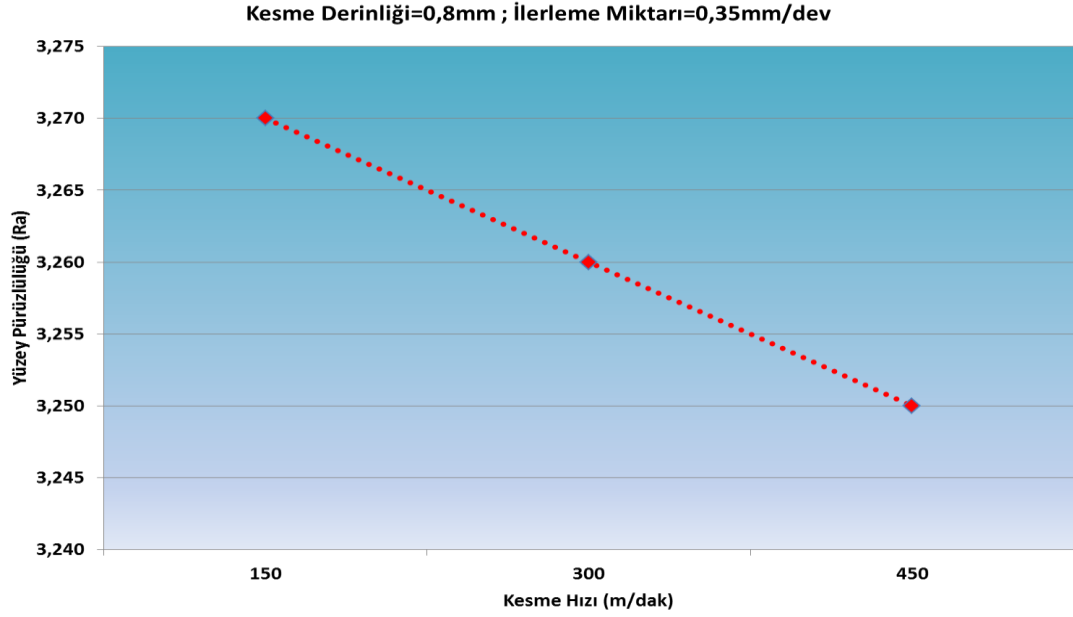
Şekil 6.21. 0,6 mm kesme derinliği ve 0,35 mm/dev ilerleme miktarında, kesme hızına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğ değişimleri.



Şekil 6.22. 0,8 mm kesme derinliği ve 0,25 mm/dev ilerleme miktarında, kesme hızına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değişimleri.



Şekil 6.23. 0,8 mm kesme derinliği ve 0,30 mm/dev ilerleme miktarında, kesme hızına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değişimleri.



Şekil 6.24. 0,8 mm kesme derinliği ve 0,35 mm/dev ilerleme miktarında, kesme hızına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğ değişimleri.

Grafikler değerlendirildiğinde elde edilen sonuçlara göre kesme hızının yüzey pürüzlülüğünü ilerleme miktarı kadar etkilemediği görölmektedir. Benzer şekilde Gökkeya vd. (2004)' de AISI 1030 çeliğinin PVD ve CVD kaplamalı sementit karbür kesici takımlarla işlenmesi üzerine yaptıkları çalışmada, kesme hızındaki artışın yüzey pürüzlülüğünü çok etkilemediğini, kesme hızının % 200 arttırılması ile yüzey pürüzlülüğünde ancak % 13 bir iyileşme sağlandığını bildirmişlerdir. Grafiklerin tamamında, kesme hızındaki artışla birlikte yüzey pürüzlülüğünün azaldığı görölmektedir.

Grafikler incelendiğinde kesme hızının artışıyla yüzey pürüzlülüğün azaldığı yani yüzey kalitesinin arttığı görölmüşür. Bu artış seçile tüm kesme derinlikleri ve ilerleme değerlerinde görölmüşür. En küçük kesme derinliği değer ve ilerleme

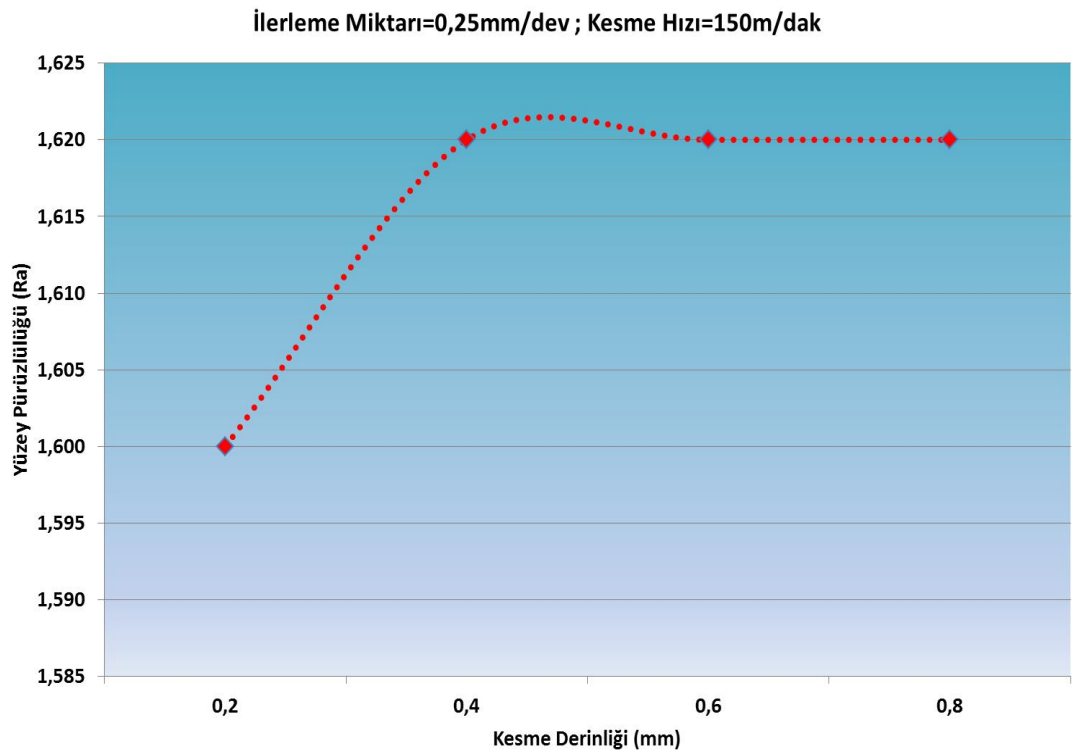
miktarı değeri varken kesme hızında 150 m/dak'dan 300 m/dak'ya artışta yüzey pürüzlülüğü %7 oranında azalmaktadır. Kesme hızının yüzey pürüzlülüğüne olan etki oranı ileriki bölümlerde irdelenecektir.

3.1.1.3. Tornalama için kesme derinliğinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi

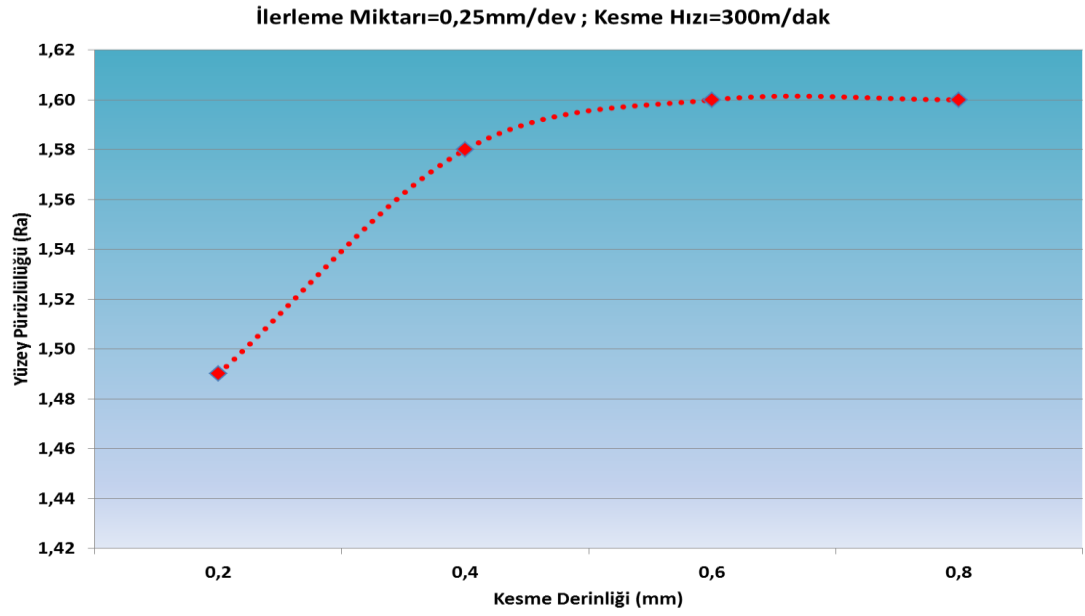
Bu çalışmada 0,2, 0,4, 0,6 ve 0,8 mm olmak üzere dört farklı kesme derinliği kullanılmıştır. Kesme derinliği tornalama işlemlerinde üç önemli işlem parametresinden bir tanesidir. Kesme derinliği yüksek tutularak talaşlı imalat işlemlerinin verimliliği artırılır. İlerleme hızında olduğu gibi diğer faktörler müsaade ettiği sürece kesme derinliğinin yüksek olması tercih edilir. $R_a = 0,064 \times f^2/8r$ bağıntısında da görüldüğü gibi kesme derinliğinin teorik olarak yüzey pürüzlülüğü üzerinde bir etkisi yoktur. Bununla birlikte, kesme derinliğinin artması ile kesme kuvvetleri ve kesme kuvvetleri ile ilişkili olan titreşim artacağı için yüzey pürüzlülük değerinin kesme derinliğinden etkilenmesi muhtemeldir. Kalpakjian (1991), talaşlı imalat işlemlerinde yüzey pürüzlülüğünü artıran yığıntı talaş oluşumunu azaltmak için talaş derinliğini düşürmeyi önerir.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlardan kesme derinliğinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde belirgin bir etkisi olmadığı Şekil 3.25, 3.26 ve 3.27'de görülmektedir. Bu nedenle, yapılan işleme göre kesme derinliği seçilmelidir. Genelde kesme derinliği %100 artırıldığında yüzey pürüzlülüğü %12 artmıştır. En düşük yüzey pürüzlülüğü, 0,6 mm kesme derinliği için bulunmuştur. Ancak kesme derinliğinin etkisi ilerleme hızı kadar yoktur. Etki oranı için bir sonraki bölümde analizler yapılacaktır. İşleme zamanını

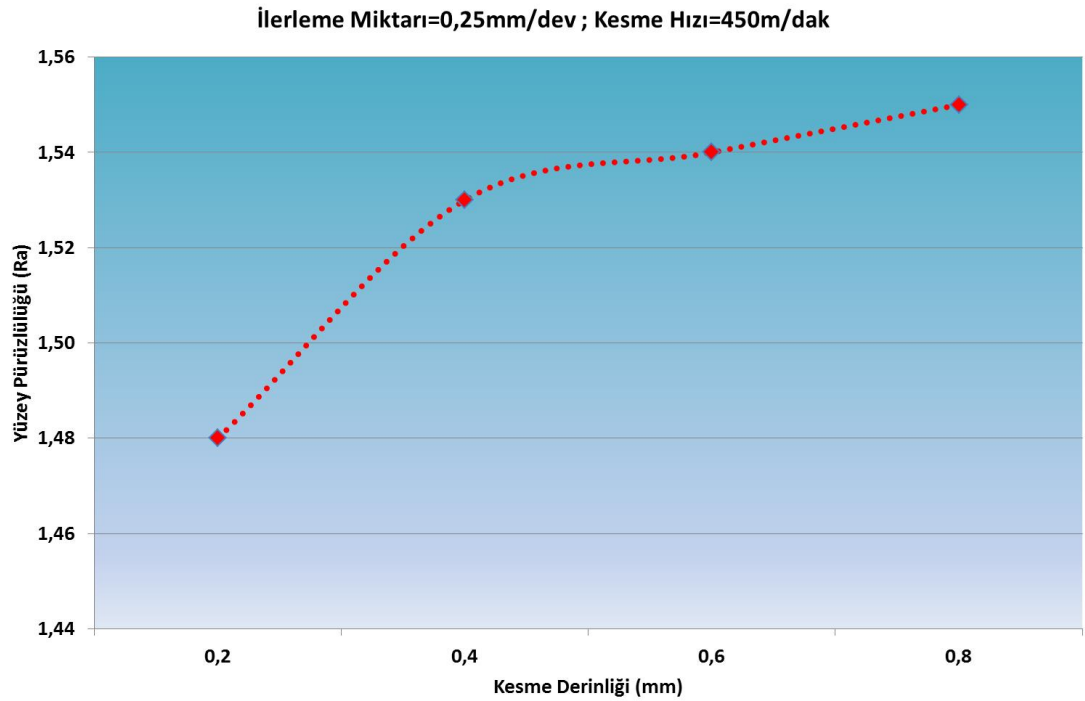
azaltmak ve dolayısıyla talaşlı imalat işleminin maliyetini düşürmek için diğer faktörlerin müsaade ettiği durumlarda yüksek kesme derinliği seçilmelidir. Yüksek kesme derinliğinin neden olacağı yüksek kesme kuvvetlerinden iş parçasının, kesici takımın ve takım tutucunun olumsuz olarak etkilenebileceği durumlarda da düşük kesme derinliği tercih edilmelidir.



Şekil 3.25. 150 m/dak kesme hızı ve 0,25 mm/dev İlerleme miktarında, kesme derinliğine bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değişimleri.



Şekil 3.26. 300 m/dak kesme hızı ve 0,25 mm/dev İlerleme miktarında, kesme derinliğine bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değişimleri.



Şekil 3.27. 450 m/dak kesme hızı ve 0,25 mm/dev İlerleme miktarında, kesme derinliğine bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değişimleri.

3.1.2. Freze İşlemi Sonucu Elde Edilen Deneysel Sonuçlar

Gerçekleştirilen deneyler sonucunda 7075 alüminyum malzeme için 3 farklı kesme hızı, 3 farklı kesme derinliği ve 3 farklı ilerleme miktarına göre yüzey pürüzlülüğü değerleri bulunmuştur. Ölçümler 4 adet kesici uç takılı iken yapılmıştır. Bu bölümde deneysel sonuçlar grafik eşliğinde verilecek ve değerlendirmeler yapılacaktır. Sonraki bölümde ise sonuçların analizi yapılacaktır.

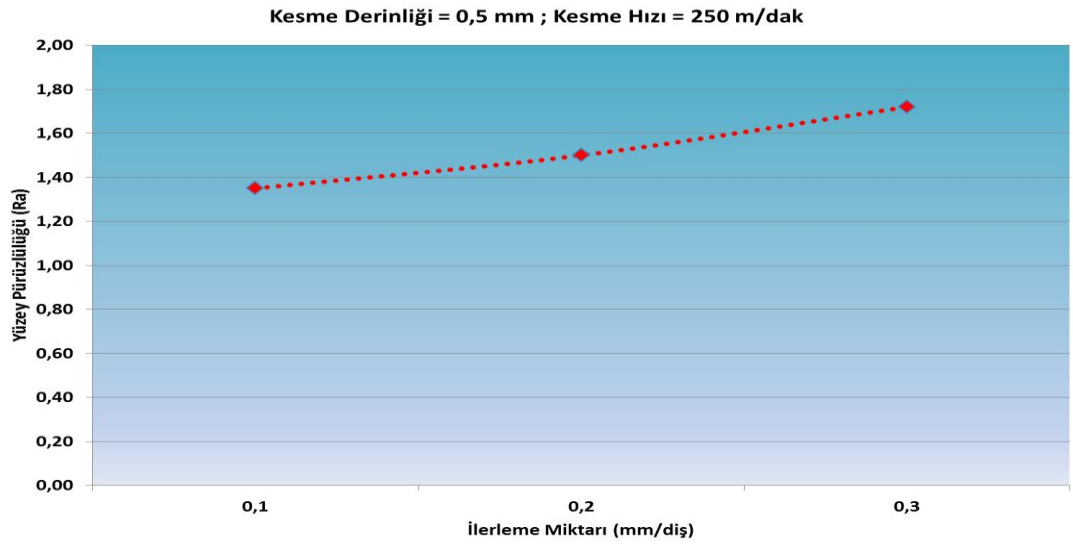
Çalışmada kullanılan kesme hızı, ilerleme miktarı ve talaş derinliği parametrelerinin, yüzey pürüzlülüğüne olan etkisi bu bölümde incelenmiştir. Daha önce yapılmış deneysel çalışmalar ve teorik sonuçlarla karşılaştırma da yapılmıştır. Her bir parametrenin yüzey pürüzlülüğüne etkisi grafik eşliğinde ayrı ayrı değerlendirilerek, bölümler halinde gösterilmiştir. Deneysel çalışmalar, 0,1-0,2-0,3 mm/diş ilerleme miktarı, 250-600-900 m/dak kesme hızı, 0,5-1-1,5 mm talaş derinliği şartlarında, 0,4 mm kesici uç yarıçapına sahip 4 adet kesici uç kullanılarak yapılmıştır. Çizelge 3.2’de deneylerin sonunda elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü sonuçları verilmiştir.

Çizelge 3.2. Frezeleme için deney sonuçları.

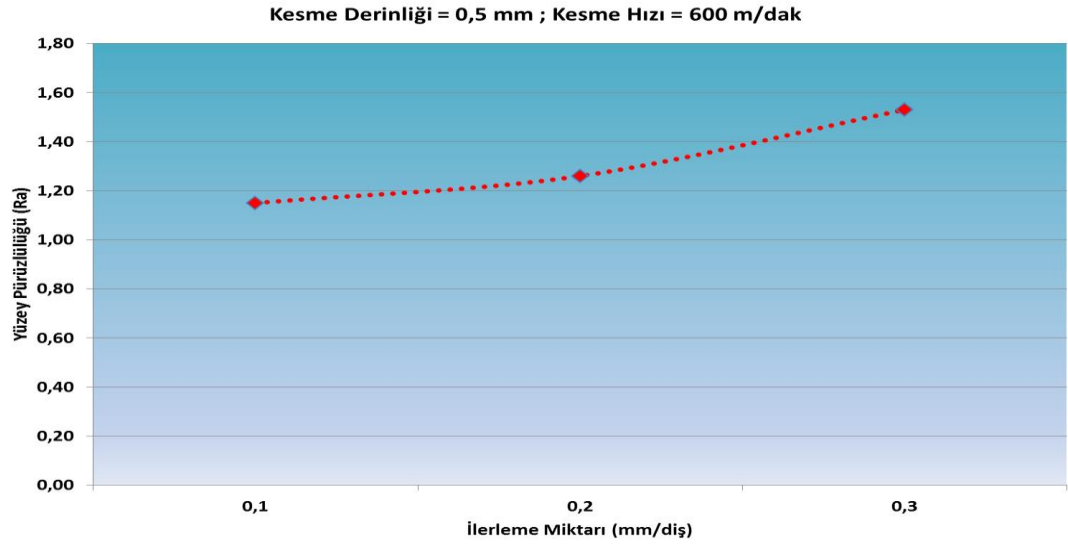
Deney No	Kesme Derinliği (mm)	İlerleme Miktarı (mm/diş)	Kesme Hızları (m/dak)	Yüzey Pürüzlülüğü (Ra)
1	0,5	0,1	250	1,35
2	0,5	0,2	250	1,5
3	0,5	0,3	250	1,72
4	0,5	0,1	600	1,15
5	0,5	0,2	600	1,26
6	0,5	0,3	600	1,53
7	0,5	0,1	900	0,98
8	0,5	0,2	900	1,2
9	0,5	0,3	900	1,4
10	1	0,1	250	1,41
11	1	0,2	250	1,53
12	1	0,3	250	1,81
13	1	0,1	600	1,21
14	1	0,2	600	1,32
15	1	0,3	600	1,6
16	1	0,1	900	1,1
17	1	0,2	900	1,29
18	1	0,3	900	1,45
19	1,5	0,1	250	1,52
20	1,5	0,2	250	1,6
21	1,5	0,3	250	1,89
22	1,5	0,1	600	1,3
23	1,5	0,2	600	1,41
24	1,5	0,3	600	1,69
25	1,5	0,1	900	1,2
26	1,5	0,2	900	1,38
27	1,5	0,3	900	1,54

3.1.2.1. Frezeleme için ilerleme miktarının yüzey pürüzlülüğüne etkisi

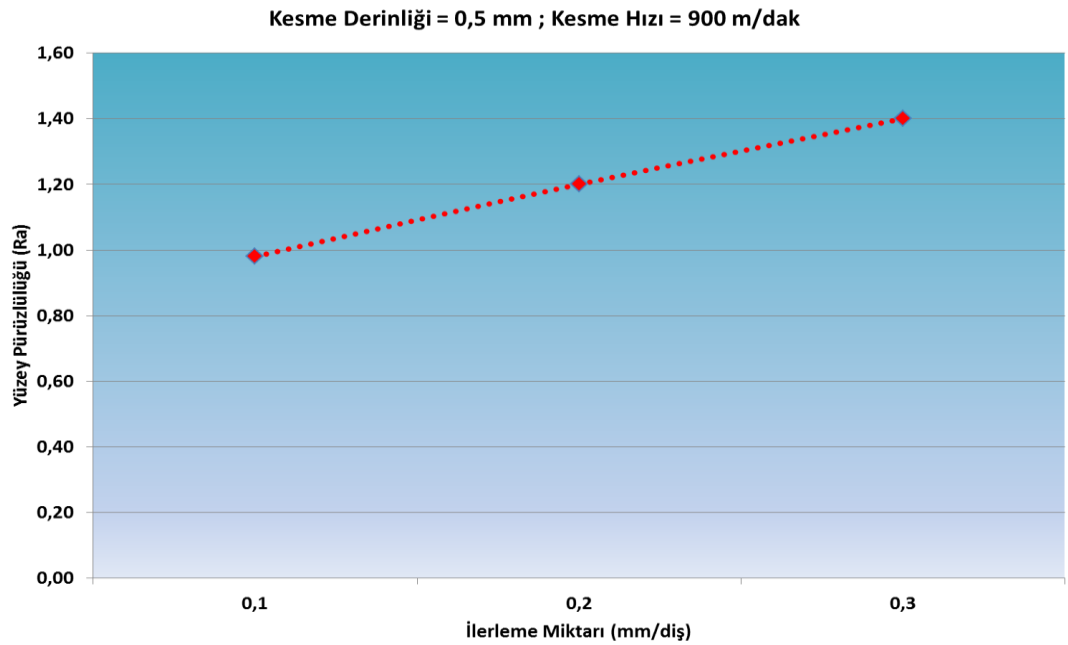
Torna da olduğu gibi frezede de her türlü kesme şartında yüzey pürüzlülüğü, ilerlemenin artmasıyla artmış, azalmasıyla azalmıştır. İlerleme miktarı yüzey pürüzlülüğüne en fazla etkiyi yapan parametre olmuştur. Kaynaklardan elde edilen teorik bilgilerle bu sonuç örtüşmektedir. Değişik kesme şartlarında ilerleme miktarına bağlı yüzey pürüzlülük değişimleri Şekil 3.28-36'da görülmektedir. Yüzey pürüzlülüğünün etkisinin iyi bir şekilde anlaşılabilmesi için üç farklı ilerleme miktarı değeri alınmıştır.



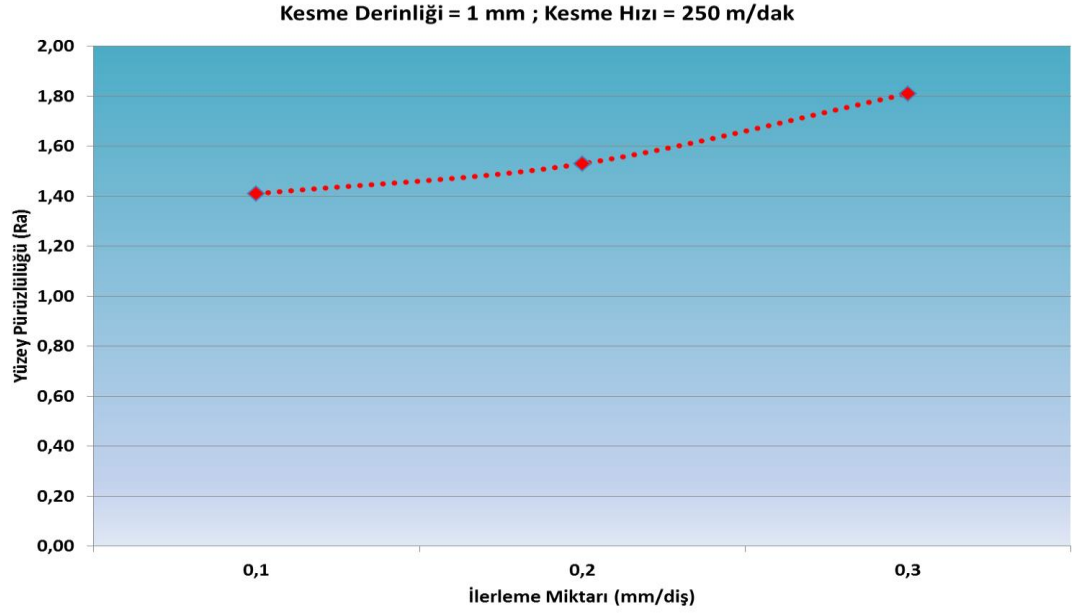
Şekil 3.28. 0,5 mm kesme derinliği ve 250 m/dak kesme hızında, ilerleme miktarına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değişimleri.



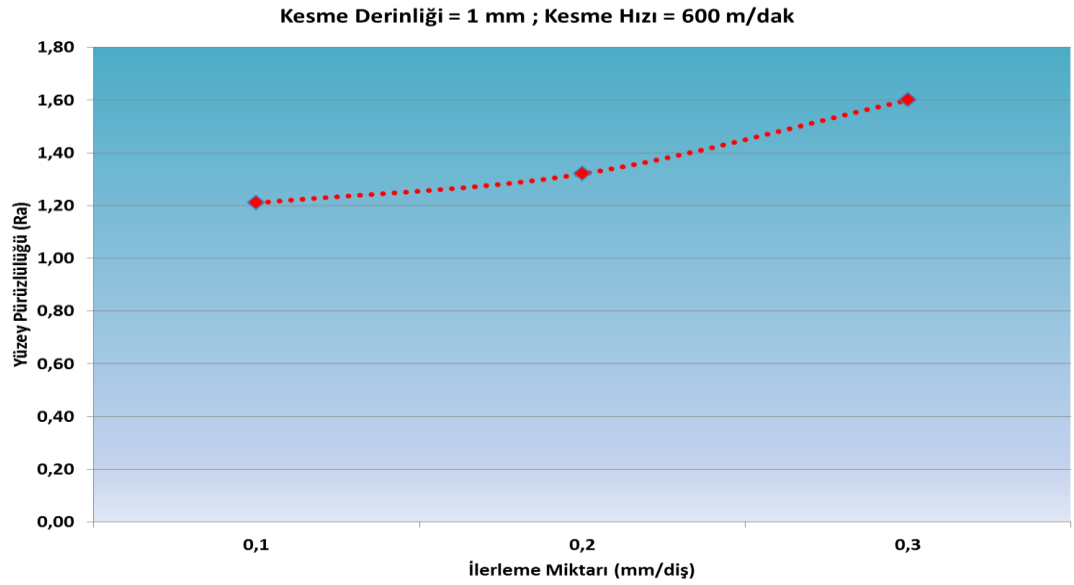
Şekil 3.29. 0,5 mm kesme derinliği ve 600 m/dak kesme hızında, ilerleme miktarına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğ değişimleri.



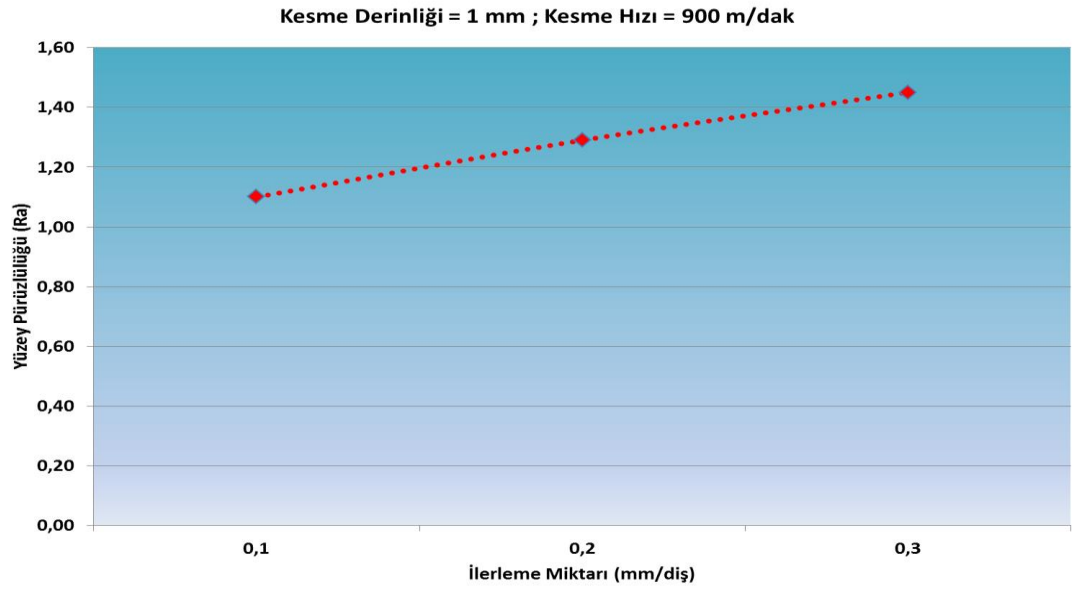
Şekil 3.30. 0,5 mm kesme derinliği ve 900 m/dak kesme hızında, ilerleme miktarına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğ değişimleri.



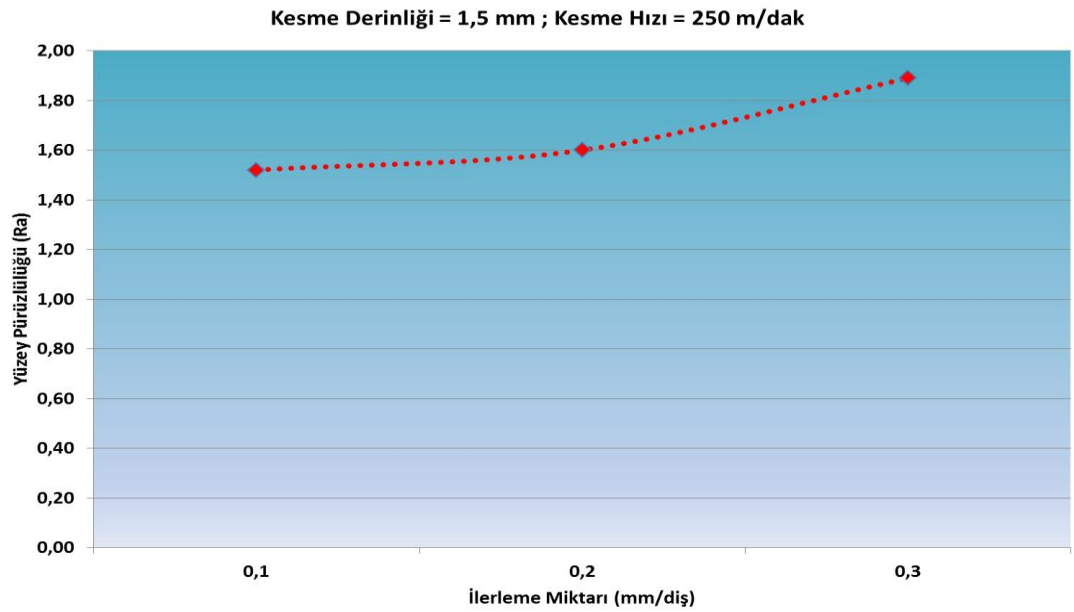
Şekil 3.31. 1 mm kesme derinliği ve 250 m/dak kesme hızında, ilerleme miktarına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğ değişimleri.



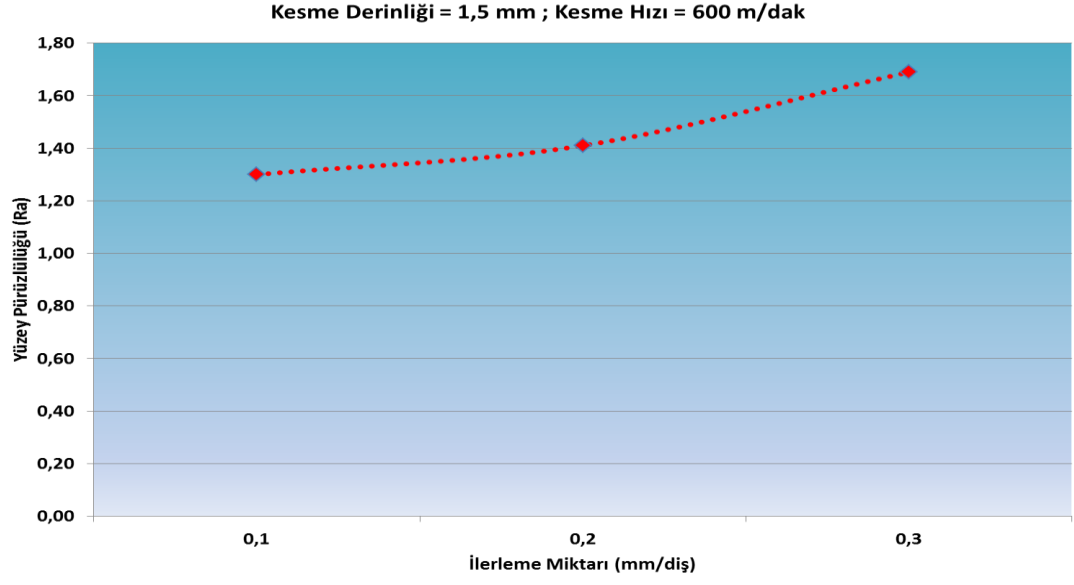
Şekil 3.32. 1 mm kesme derinliği ve 600 m/dak kesme hızında, ilerleme miktarına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğ değişimleri.



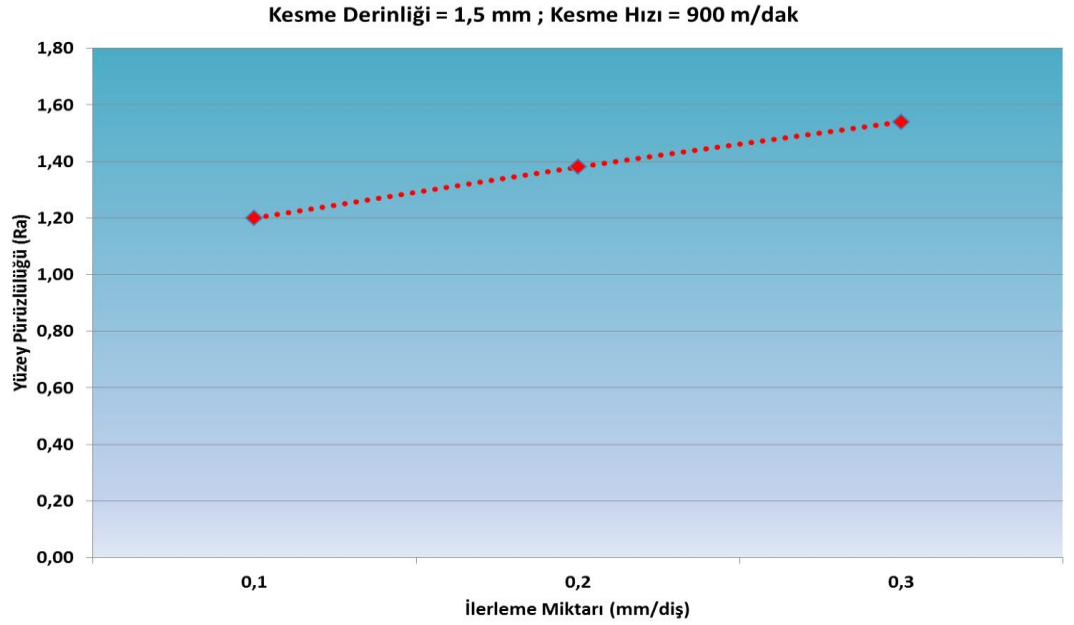
Şekil 3.33. 1 mm kesme derinliği ve 900 m/dak kesme hızında, ilerleme miktarına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğ değişimleri.



Şekil 3.34. 1,5 mm kesme derinliği ve 250 m/dak kesme hızında, ilerleme miktarına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğ değişimleri.



şekil 3.35. 1,5 mm kesme derinliği ve 600 m/dak kesme hızında, ilerleme miktarına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlölük değişimleri.



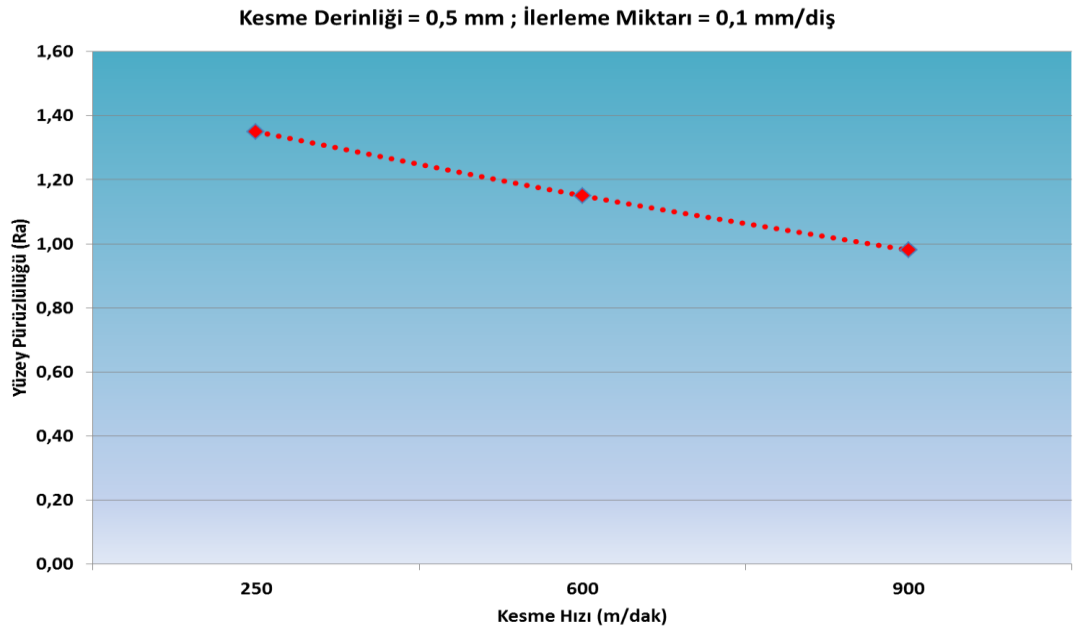
şekil 3.36. 1,5 mm kesme derinliği ve 900 m/dak kesme hızında, ilerleme miktarına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlölük değişimleri.

İlerleme miktarı 0.1 mm/diş olduğunda yüzey pürüzlülüğü en düşük değerini almıştır. İlerleme değeri %140 artırıldığında yüzey pürüzlülüğünde %17 artmıştır. Şekil 3.28’de görüleceği gibi ilerleme değeriyle ortalama yüzey pürüzlülüğü arasında lineer bir artış söz konusudur. Yüzey pürüzlülüğü değerleri 0,98 ile 1,89 μm arasında değişmektedir. İlerleme değeriyle yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişki tüm grafikler için aynıdır. İlerleme değeri arttıkça yüzey pürüzlülüğü artmaktadır. Elde edilen en düşük yüzey pürüzlülük değeri ilerleme hızı 0,1 mm/diş için elde edilmiştir. 0,3 mm/diş ilerleme hızı için en büyük yüzey pürüzlülük değeri gözlemlenmiştir. Kesme parametrelerinin etkileri ileriki bölümlerde analiz yöntemleriyle gerçekleştirilecektir. Kesme hızı ve kesme derinliğinin yüzey kalitesine etkisi de belirlenerek grafiksel olarak verilecektir. Daha sonra en büyük etkiye sahip parametre belirlenip uygun kesme şartları ve kesici takım ömrü seçilebilir.

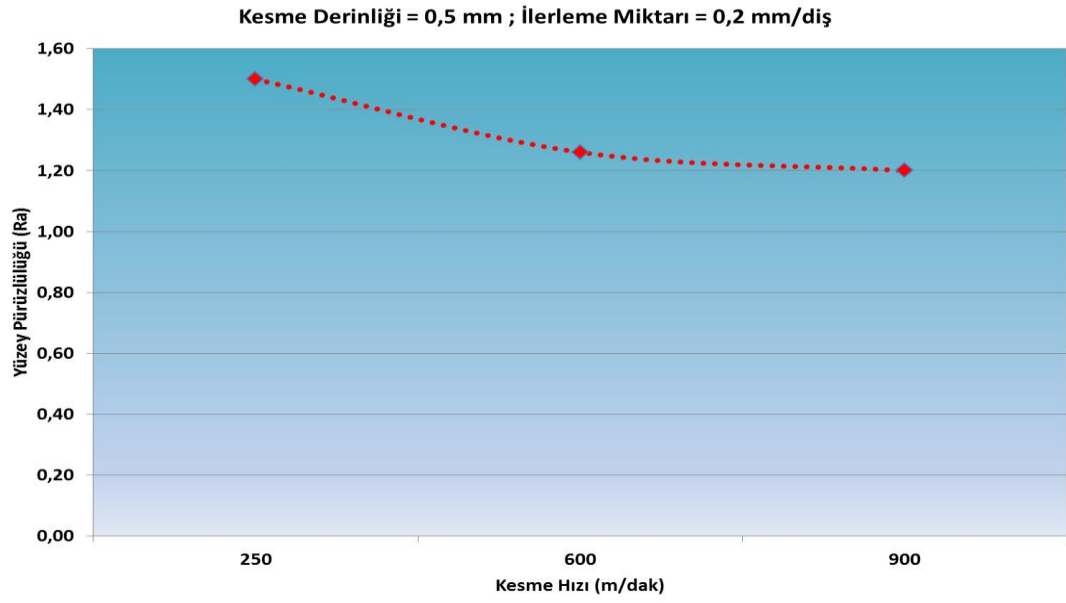
3.1.2.2. Frezeleme için kesme hızının yüzey pürüzlülüğüne etkisi

Yapılan deneysel çalışmalarda, 250 m/dak, 600 m/dak ve 900 m/dak olmak üzere üç farklı kesme hızı kullanılmıştır. Değişik kesme şartlarında elde edilmiş, kesme hızına bağlı yüzey pürüzlülük değişimleri Şekil 3.37-45’de görülmektedir. Grafikler incelendiğinde kesme hızıyla yüzey pürüzlülüğü arasında ters orantılı bir ilişki olduğu görülmektedir. Kesme hızının artmasıyla birlikte yüzey pürüzlülüğü azalmıştır. Çakır vd. (2009)’ de soğuk iş takım çeliğini kullandığı çalışmada benzer şekilde kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün azaldığını rapor etmiştir.

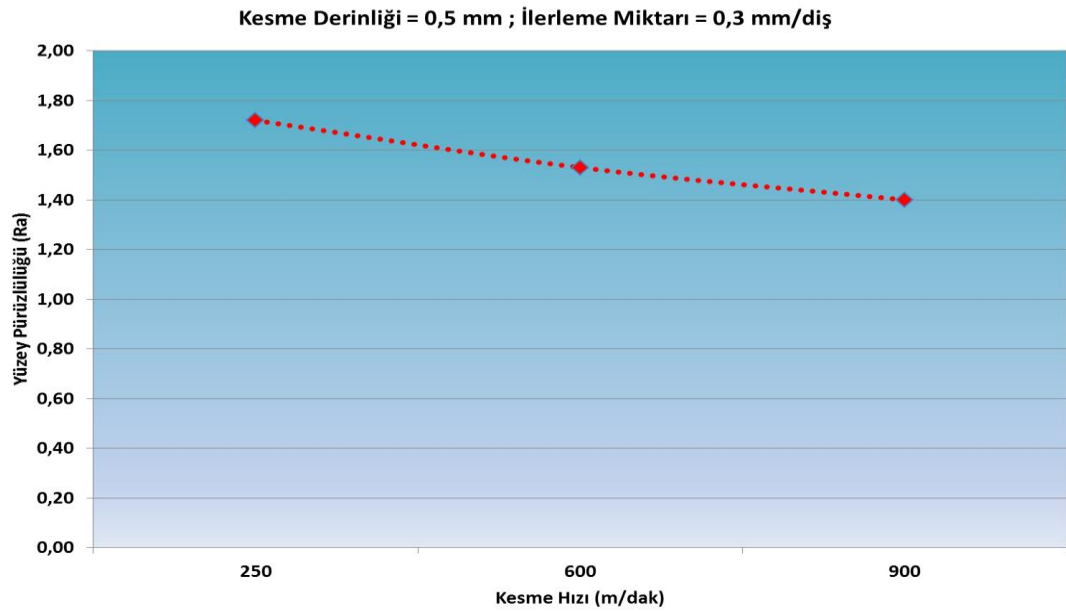
Ayrıca Sai vd. (2001) de karbon ve paslanmaz çeliği kullandıkları çalışmada, bitirme yüzeyi frezelemede kesme hızında artışın yüzey pürüzlülüğünü azalttığını bildirmiştir. Araştırmacılar artan kesme hızıyla birlikte yüzey pürüzlülük değerinin azalmasını, hız artışıyla birlikte takım talaş temas uzunluğunun kısılmasına ve kesme kuvvetlerinin azalmasına, bu yüzden de deformasyonların küçülmesine bağlamışlardır. Ghani ve Choudhury (2002) ise yaptığı çalışmada, farklı olarak kesme hızının artırılmasıyla yan kenar aşınmasının hızlandığını ve böylece yüzey pürüzlülüğünün arttığını belirtmiştir. Bir diğer çalışmada da Nalbant vd. (2007), kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün arttığını bildirmiştir.



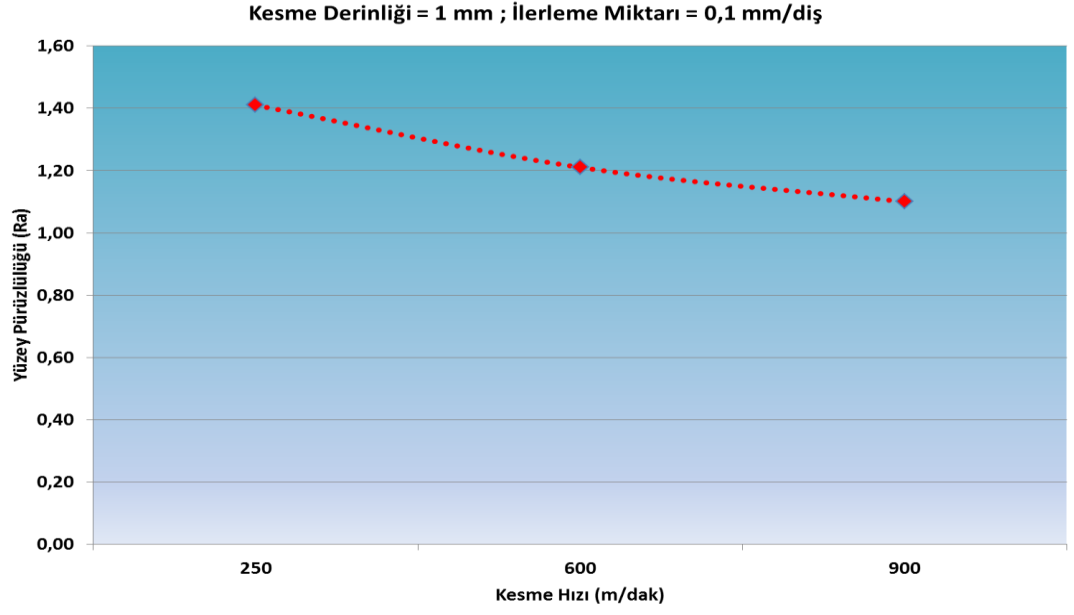
Şekil 3.37. 0,5 mm kesme derinliği ve 0,1 mm/diş ilerleme miktarında, kesme hızına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değişimleri



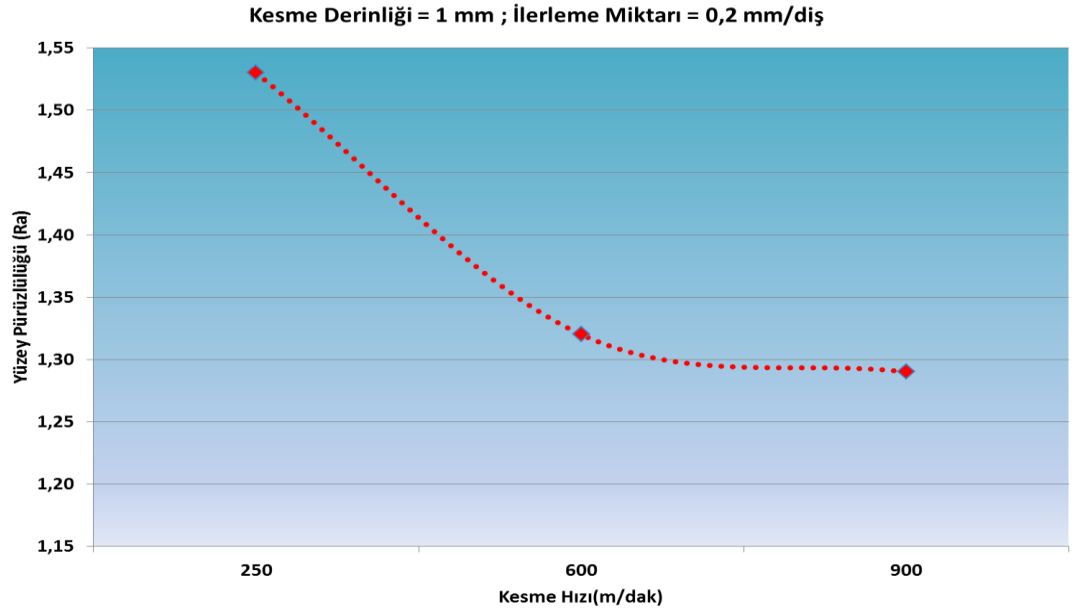
Şekil 3.38. 0,5 mm kesme derinliği ve 0,2 mm/ diş ilerleme miktarında, kesme hızına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değişimleri.



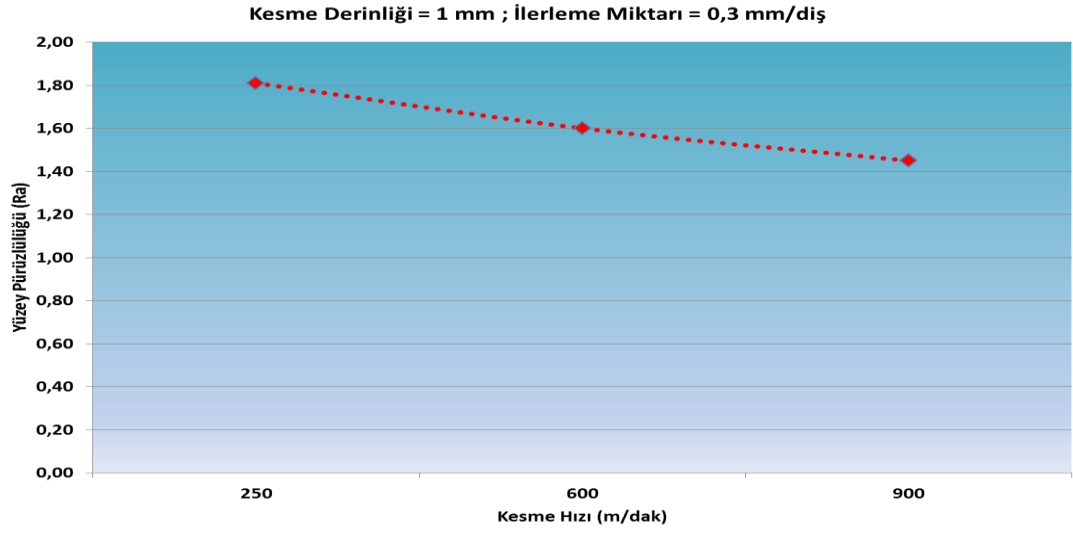
Şekil 3.39. 0,5 mm kesme derinliği ve 0,3 mm/ diş ilerleme miktarında, kesme hızına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değişimleri.



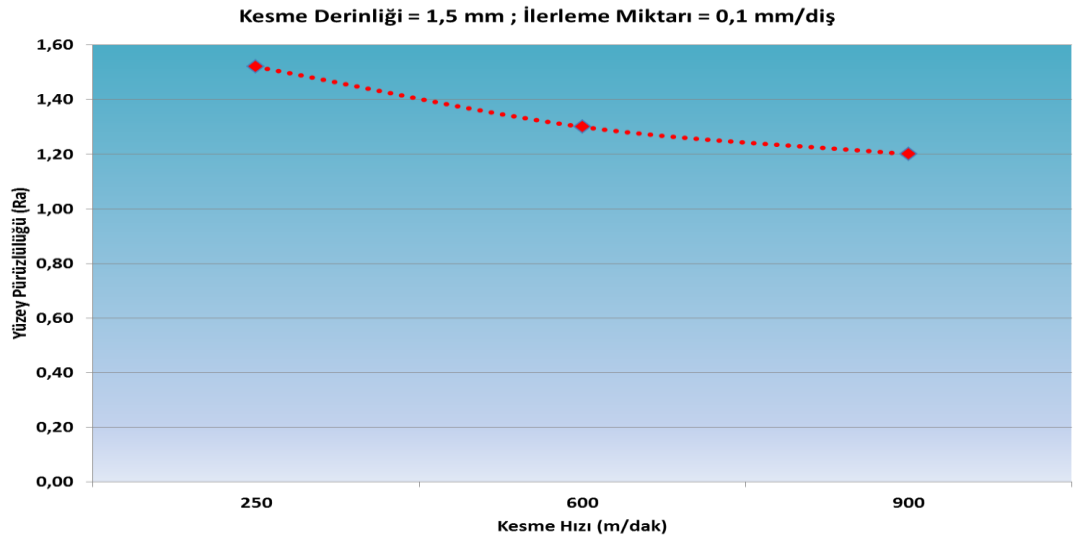
şekil 3.40. 1 mm kesme derinliği ve 0,1 mm/ diş ilerleme miktarında, kesme hızına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değişimleri.



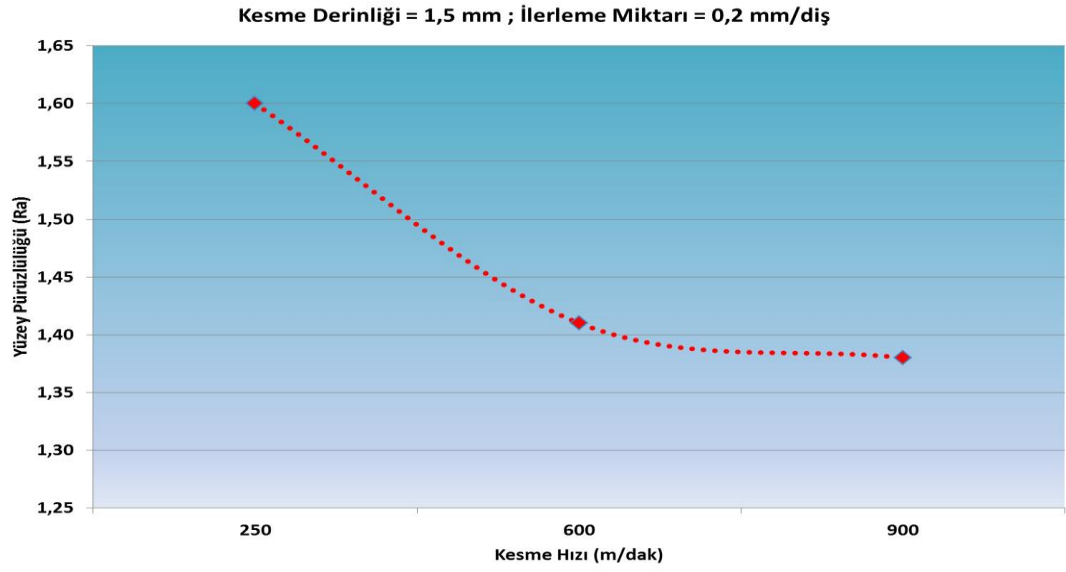
şekil 3.41. 1 mm kesme derinliği ve 0,2 mm/ diş ilerleme miktarında, kesme hızına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değişimleri.



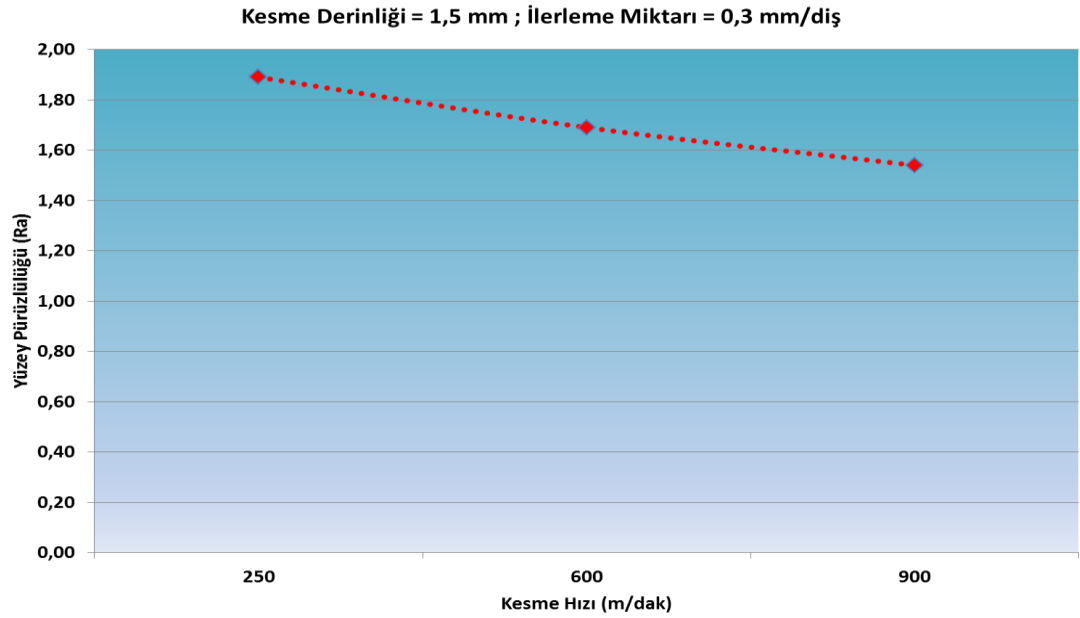
şekil 3.42. 1 mm kesme derinliği ve 0,3 mm/ diş ilerleme miktarında, kesme hızına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değişimleri.



şekil 3.43. 1,5 mm kesme derinliği ve 0,1 mm/ diş ilerleme miktarında, kesme hızına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değişimleri.



Şekil 3.44. 1,5 mm kesme derinliği ve 0,2 mm/ diş ilerleme miktarında, kesme hızına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değişimleri



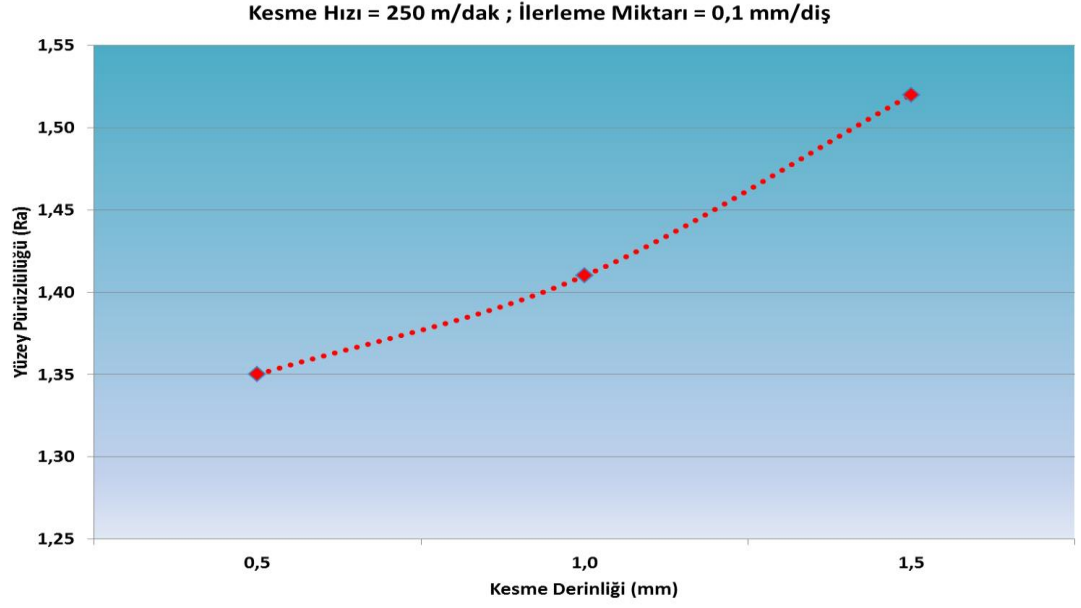
Şekil 3.45. 1,5 mm kesme derinliği ve 0,3 mm/ diş ilerleme miktarında, kesme hızına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değişimleri

Grafikler değerlendirildiğinde elde edilen sonuçlara göre kesme hızının yüzey pürüzlülüğünü ilerleme miktarı kadar etkilemediği görülmektedir. Benzer şekilde Gökkaya vd. (2004)' de AISI 1030 çeliğinin PVD ve CVD kaplamalı sementit karbür kesici takımlarla işlenmesi üzerine yaptıkları çalışmada, kesme hızındaki artışın yüzey pürüzlülüğünü çok etkilemediğini, kesme hızının % 200 arttırılması ile yüzey pürüzlülüğünde ancak % 13 bir iyileşme sağlandığını bildirmişlerdir. Grafiklerin tamamında, kesme hızındaki artışla birlikte yüzey pürüzlülüğünün azaldığı görülmektedir.

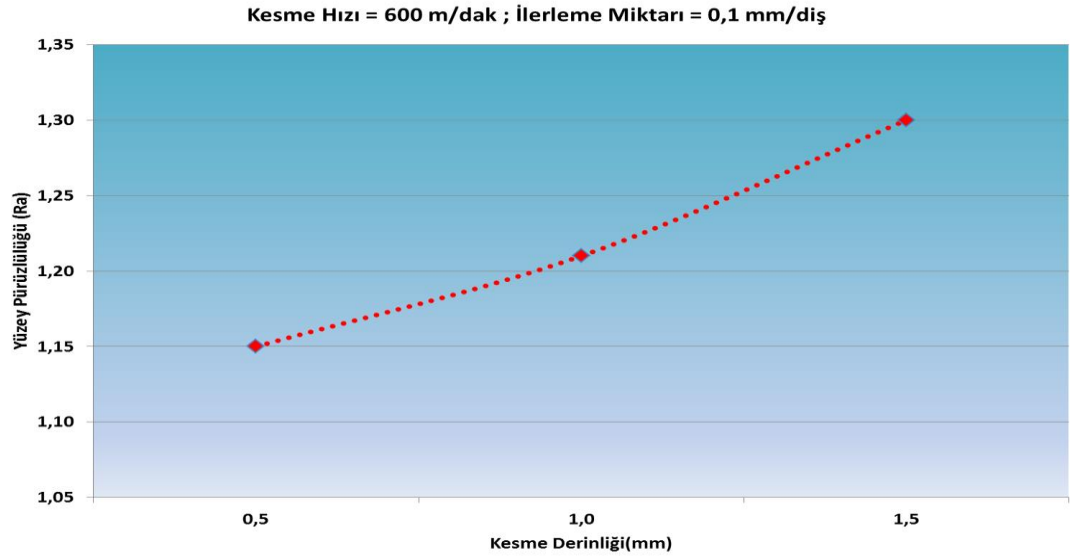
Grafikler incelendiğinde kesme hızının artışıyla yüzey pürüzlülüğün azaldığı yani yüzey kalitesinin arttığı görülmüştür. Bu artış seçilen tüm kesme derinlikleri ve ilerleme değerlerinde görülmüştür. En küçük kesme derinliği değeri ve ilerleme miktarı değeri varken kesme hızında 250 m/dak'dan 600 m/dak'ya artışta yüzey pürüzlülüğü %17 oranında azalmaktadır. Kesme hızının yüzey pürüzlülüğüne olan etki oranı ileriki bölümlerde irdelenecektir.

3.1.2.3. Frezeleme için kesme derinliğinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi

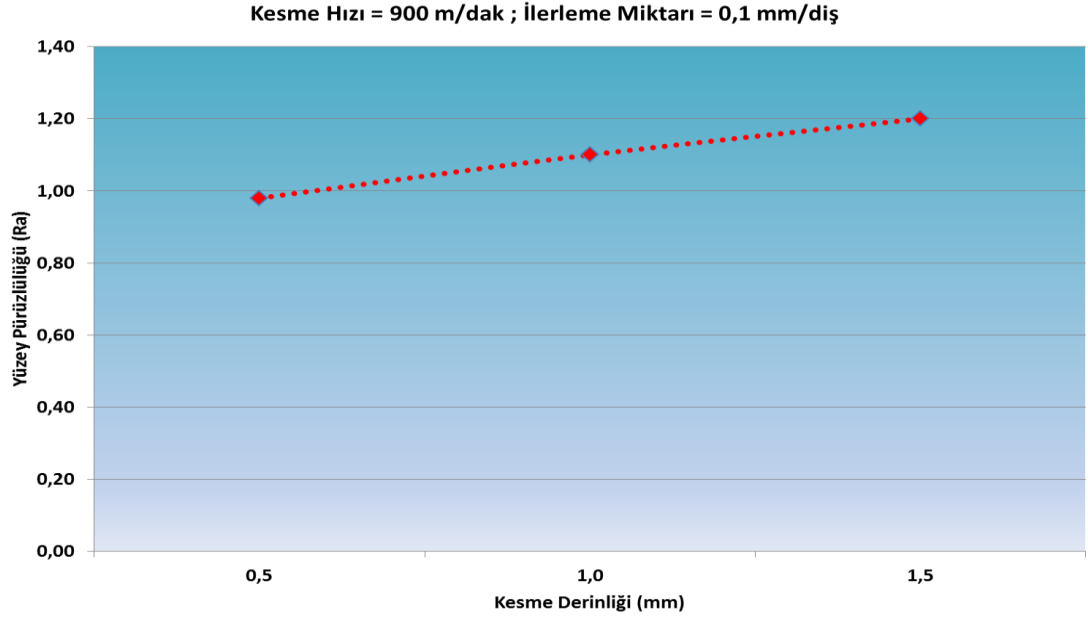
Freze işleminde kesme derinliğinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi Şekil 3.46-48'de gösterilmiştir.



Şekil 3.46. 250 m/dak kesme hızı ve 0,1 mm/diş İlerleme miktarında, kesme derinliğine bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değişimleri.



Şekil 3.47. 600 m/dak kesme hızı ve 0,1 mm/diş İlerleme miktarında, kesme derinliğine bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değişimleri.



Şekil 3.48. 900 m/dak kesme hızı ve 0,1 mm/diş İlerleme miktarında, kesme derinliğine bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değişimleri.

Bu çalışmada 0,5, 1 ve 1,5 mm olmak üzere üç farklı kesme derinliği kullanılmıştır. Kesme derinliği frezeleme işlemlerinde üç önemli işlem parametresinden bir tanesidir. Kesme derinliği yüksek tutularak talaşlı imalat işlemlerinin verimliliği artırılır. İlerleme hızında olduğu gibi diğer faktörler müsaade ettiği sürece kesme derinliğinin yüksek olması tercih edilir. $R_a = 0,064 \times f^{2/8r}$ bağıntısında da görüldüğü gibi kesme derinliğinin teorik olarak yüzey pürüzlülüğü üzerinde bir etkisi yoktur. Bununla birlikte, kesme derinliğinin artması ile kesme kuvvetleri ve kesme kuvvetleri ile ilişkili olan titreşim artacağı için yüzey pürüzlülük değerinin kesme derinliğinden etkilenmesi muhtemeldir. Kalpakjian (1991), talaşlı imalat işlemlerinde yüzey pürüzlülüğünü artıran yığıntı talaş oluşumunu azaltmak için talaş derinliğini düşürmeyi önerir.

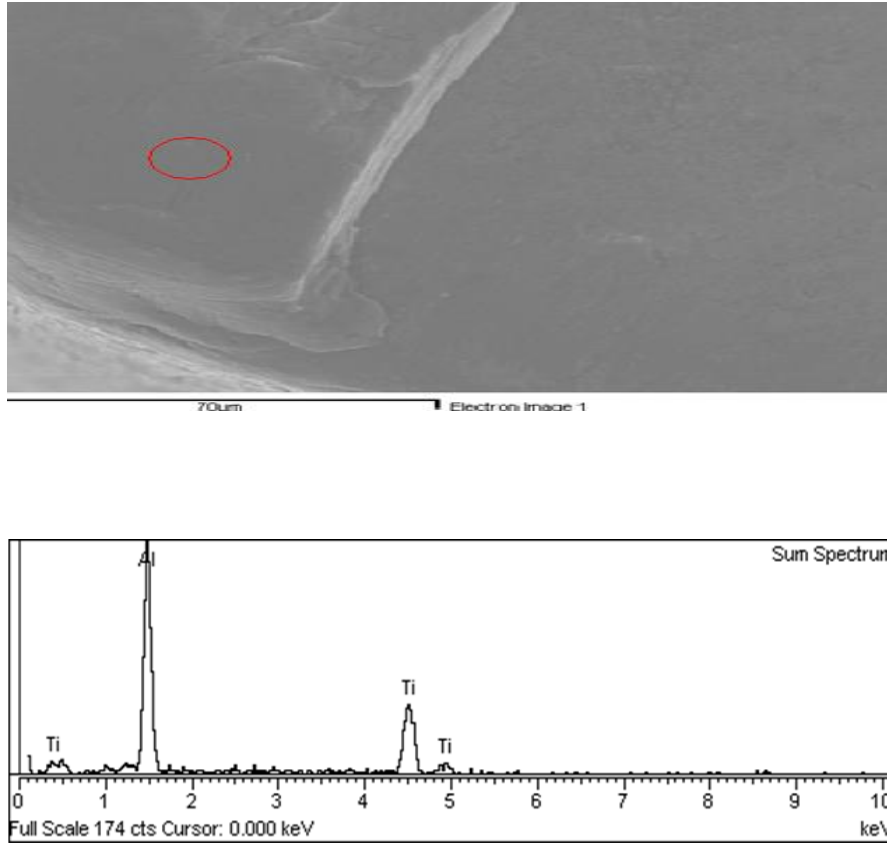
Bu çalışmada elde edilen sonuçlardan kesme derinliğinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde belirgin bir etkisi olmadığı Şekil 3.46 , 3.47 ve 3.48’de görülmektedir. Bu nedenle, yapılan işleme göre kesme derinliği seçilmelidir. Genelde kesme derinliği %100 artırıldığında yüzey pürüzlülüğü %4 artmıştır. En düşük yüzey pürüzlülüğü, 0,5 mm kesme derinliği için bulunmuştur. Ancak kesme derinliğinin etkisi ilerleme miktarı kadar yoktur. Etki oranı için bir sonraki bölümde analizler yapılacaktır. İşleme zamanını azaltmak ve dolayısıyla talaşlı imalat işleminin maliyetini düşürmek için diğer faktörlerin müsaade ettiği durumlarda yüksek kesme derinliği seçilmelidir. Yüksek kesme derinliğinin neden olacağı yüksek kesme kuvvetlerinden iş parçasının, kesici takımın ve takım tutucunun olumsuz olarak etkilenebileceği durumlarda da düşük kesme derinliği tercih edilmelidir.

3.3. Kesme Parametrelerinin Kesici Takım Aşınmasına Etkisi

Bu bölümde kesici uçlar SEM (Scanning Electron Microscope) ile incelenerek aşınmalar analiz edilmiştir.

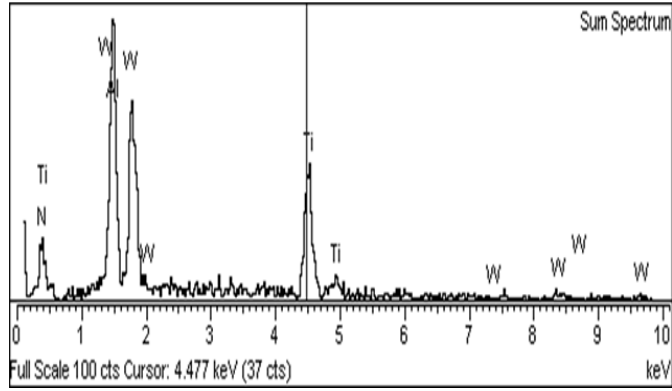
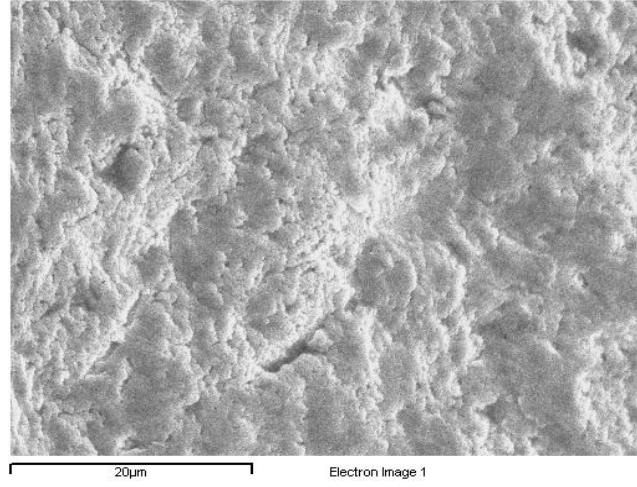
Taramalı Elektron Mikroskobu veya SEM çok küçük bir alana odaklanan yüksek enerjili elektronlarla yüzeyin taranması prensibiyle çalışır.

Şekil 3.49’da kesici takım ucunun işaretli bölgesinden alınan SEM görüntüsünde kesici uç üst bölgesine sıvanmış Alüminyum 1-2keV electron geriliminde elde edilmiştir.



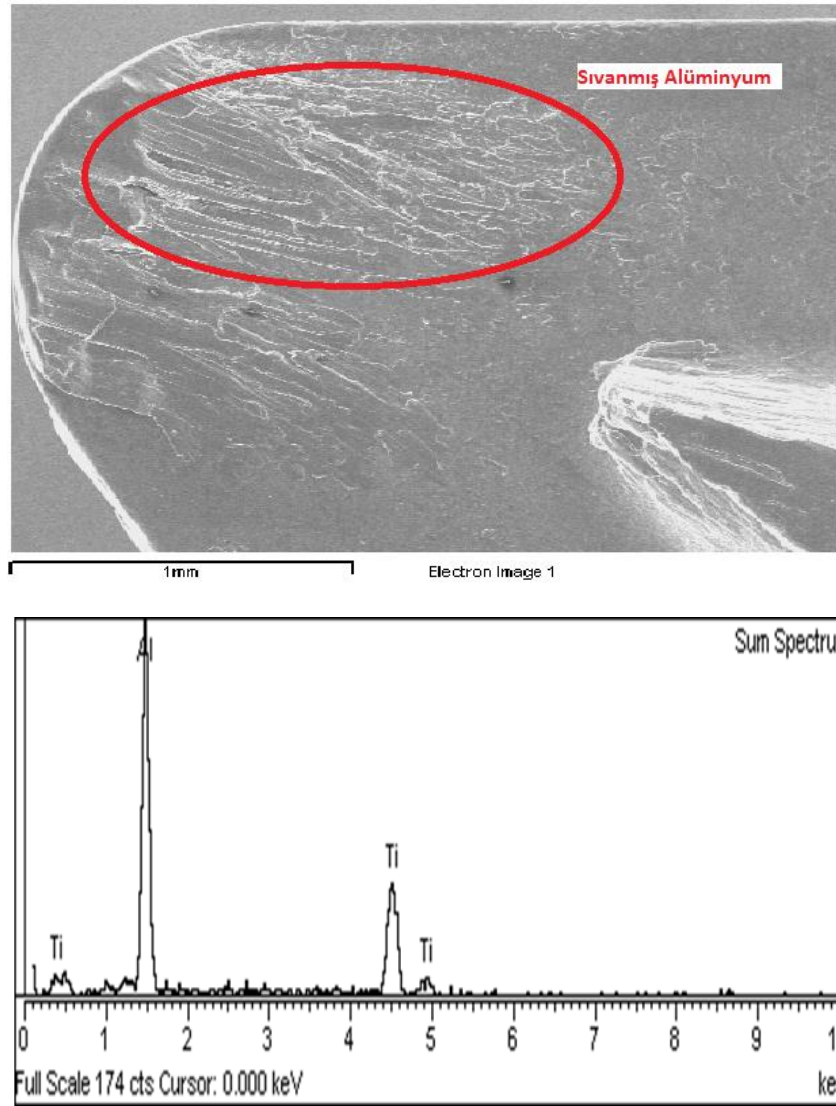
Şekil 3.49. Nokta Referans Bölgeden Alınan SEM Görüntüsü ve (EDS) Kimyasal Analizi.

Şekil 3.50’de kesici takım ucu kaplama bölgesinden alınmış SEM ve (EDS) Kimyasal Analizi görülmektedir.



Şekil 3.50 Kesici Takım Ucu Kaplama Bölgesinden Alınmış SEM ve (EDS) Kimyasal Analizi.

Kesici takım ucundan alınmış bir SEM görüntüsünü incelediğimizde kesici takım ucu kaplama malzemesi W ve yüzeye sıvanmış Al karşımıza çıkmakta elektronlara uygulanan gerilim arttıkça kesici takım ana malzemesi Ti kendini göstermektedir.



Şekil 3.51 Kesici Takım Ucunda Sıvanmış Al için Alınan SEM Görüntüsü ve (EDS) Kimyasal Analizi.

Şekil 3.51’de kesici takım malzemesi yüzeyine sıvanmış Al yukarıda ve takım ucunun contrast farkından yararlanılarak elde edilmiş görüntüleri aşağıda görülmektedir.

Deney sonuçlarının elde edilip yorumlanmasından sonra, hangi parametrenin ortalama yüzey pürüzlülüğüne olan etkisi araştırmak için ANOVA analizi yapılmıştır

ve analiz sonuçları Bölüm 4.1’de irdelenmiştir. Bir önceki bölümde belirtilen ve irdelenen sonuçlar ışığında yüzey pürüzlüğünün tahmin edilmesi için regresyon analizi yapılmış ve bulunan fonksiyon Bölüm 4.2’de sunulmuştur.

BÖLÜM 4

4.1. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1.1. Anova

Varyans Analizi (veya ANOVA, İngilizce "analysis of variance" sözcüklerinin kısaltması) istatistik bilim dalında, deneysel verilerin analiz edilmesi için özellikle pratikte çok defa kullanılan özel bir istatistiksel hipotezdir. Bu analiz yöntemi, genel olarak bağımsız değişkenlerin kendi aralarında nasıl etkileşime girdiklerini, meydana gelen ve oluşan etkileşimlerin bağımlı değişken üzerindeki etkilerini analiz eder. Bağımsız değişkenlerin çok olduğu zaman bu analiz yöntemi tercih edilir. Daha kısacası, ANOVA bir parametrik çıkarımsal metodu olup ana kütle ortalamaları arasında farkın olup olmadığını sınamak için kullanılır. Bu analiz yöntemiyle faktörlerin ana değişken üzerinde ne kadarlık bir etki ettiği yüzdelik olarak bulunur. Bu sayede en büyük etkiye sahip parametre seçilir, sırasıyla ikinci, üçüncü etki oranları belirlenir. Ayrıca elde edilen sonuçların istatistiksel olarak güvenilirliği de test edilir (Çetin 2010).

4.1.1.1. Tortalama işlemi sonucu elde edilen değerlerin ANOVA analizi

Elde edilen deneysel sonuçları için ANOVA analizi iki ayrı istatistik programı kullanılarak yapılmıştır. Yüzey pürüzlülüğü sonuç değeri olarak kabul edilerek kesme

parametrelerin etkileri araştırılmıştır. Değişken parametreler ise bir önceki bölümde kullanılan ilerleme değeri, kesme derinliği ve kesme hızıdır. Tornalama işlemi sonrası elde edilen değerlerle yapılan ANOVA analizi sonuçları Çizelge 4.1’de görülmektedir.

Çizelge 4.1. Tornalama için ANOVA analizi

Ana değişken	R _a				
Faktörler	kesme derinliği				
	ilerleme miktarı				
	kesme hızı				
Tam vaka sayısı:	36				
Parametre	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Ortalama Kare	Var. Comp.	Yüzde katkısı (%)
Kesme derinliği	0,0622889	3	0,020763	0.0	0
İlerleme miktarı	15,997	8	1,99962	0,6647	99.20
Kesme hızı	0,127933	24	0,00533	0,0053	0,80
Toplam (düzeltilmiş)	16,1872	35			

İlerleme değerinin yüzey pürüzlüğüne etkisi diğer kesme parametrelerine göre çok yüksek bulunmuştur (Çizelge 4.1). Kesme derinliğinin yüzey pürüzlüğüne etkisi

yoktur. Kesme hızının etkisi ise çok düşük olup %0,80'dir. İlerleme miktarının ana değişken olan R_a 'ya etkisi ise %99,20 bulunmuştur.

4.1.1.2. Frezeleme işlemi sonucu elde edilen değerlerin ANOVA analizi

Tornalama değerleri için yapılan ANOVA analizi frezeleme işlemi için de aynı istatistik programlarıyla yapılmıştır. Ana değişken olarak yüzey kalitesini belirten yüzey pürüzlülüğü sonuç değeri R_a değeri kullanılmıştır. Analiz sonucu Çizelge 4.2'de verilmiştir. Kesme derinliği, ilerleme değeri ve kesme hızı değişken kesme parametreleri olarak kullanılmıştır.

Frezeleme için ilerleme miktarının yüzey pürüzlülüğüne etkisi %52,22 bulunmuştur. İkinci derecede etki eden parametre ise %47,78 etki oranıyla kesme hızıdır. Bu değer tornalamada elde edilen değerden çok yüksektir. Frezeleme işleminde diş sayısının fazla olması kesme hızının etkisini artırmaktadır.

4.1.2. Çoklu Regresyon Analizi

Regresyon analizi, aralarında sebep-sonuç ilişkisi bulunan iki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkiyi, tahminler ya da kestirimler yapabilmek amacıyla matematiksel bir model ile karakterize eden bir istatistik analiz tekniğidir. Verilen noktaları temsil eden en iyi eğriyi bulma işleminde genellikle en küçük kareler yöntemi kullanılır. En küçük kareler yöntemi, hataların kareleri toplamı minimum olacak şekilde bir eğri denklemi bulma esasına dayanmaktadır (Çetin 2010).

Çizelge 4.2. Frezeleme için ANOVA analizi

Ana değişken	R _a				
Faktörler	Kesme derinliği				
	İlerleme miktarı				
	Kesme hızı				
Tam vaka sayısı:	27				
Parametre	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Ortalama Kare	Var. Comp.	Yüzde katkısı (%)
Kesme derinliği	0,1158	2	0,0579	0.0	0
İlerleme miktarı	0,661067	6	0,110178	0,028142	52,22
Kesme hızı	0,463533	18	0,0257519	0,0257519	47,78
Toplam (düzeltilmiş)	1,2404	26			

Tornalama ile aynı olarak kesme derinliğinin yüzey pürüzlülüğüne bir etkisi yoktur.

4.1.2.1. Tornalama işlemi için çoklu regresyon analizi

Deney sonuçları (kesme derinliği, ilerleme değeri ve kesme hızı) ve yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişki gösteren 3. dereceden polinomal denklemler istatistik yazılım programı kullanılarak elde edilmiştir.

Çoklu regresyon analiz sonucu Çizelge 4.3’de verilmiştir. Elde edilen denklem ise Eşitlik 4.1’de görülmektedir. En büyük etkiye 16,2917 katsayı ile ilerleme değeri sahiptir. Onu 0,10556 ile kesme derinliği takip etmektedir. En düşük katsayı değeri

ise kesme hızındadır. P-value değerine göre en az etki yapan kesme derinliğidir. Çoklu regresyon yöntemiyle elde edilen sonuçlar ANOVA analizi ile uyum içindedir. Kesme parametreleri ile yüzey pürüzlülüğü arasında çok iyi bir kolerasyon mevcuttur ($R^2=99\%$). R^2 -statiklik değeri ise sabit modelin 98.9% geçerliliğe sahip olduğunu ve Eşitlik 7.1’de analiz yardımıyla modelin denklemi verilmiştir.

$$R_a = - 2,50 + 0,106 * \text{kesme derinliği} + 16,3 * \text{ilerleme} - 0,0176 * \text{kesme hızı} \quad (7.1)$$

Çizelge 4.3. Tornalama için Çoklu regresyon analizi.

Çoklu Regresyon Analizi				
Ana değişken	R_a			
Parametre	Katsayı	SE katsayı	T-İstatistik	P-değeri
Sabit değer	-2,50371	0,09518	-26,31	0,0
Kesme derinliği	0,10556	0,05312	1,99	0,056
İlerleme miktarı	16,2917	0,2909	56,00	0,0
Kesme hızı	-0,017558	0,004437	-3,96	0,0

	Varyans Analizi				
Kaynak	DF	Kareler toplamı	Ortalama Kare	F-oranı	P-değeri
Regresyon	3	16,0247	5,3416	1051,87	0
Artık hatası	32	0,1625	0,0051		
Toplam	35	16,1872			

R^2 : 99,0%

R^2 (DF için ayarlanmış): 98,9%

Yukarıdaki çizelgeye göre p değeri en küçük olan çok etkimektedir. En küçük p değeri ilerleme ve kesme hızı için bulunmuştur. Bu sonuç ANOVA'yı da desteklemektedir. Yine aynı şekilde standart hata değeri en çok olan en çok etkiye sahiptir. Bu değer ise 0,29 ile ilerleme değerine aittir.

4.1.2.2. Frezeleme işlemi için çoklu regresyon analizi

Çoklu regresyon analizi kullanılarak yüzey pürüzlülüğünün üçüncü dereceden denklemi üç kesme parametresine bağlı olarak çıkartılmıştır. Bu kesme parametreleri; kesme hızı, ilerleme değeri ve kesme derinliğidir. Çizelge 4.4'de frezeleme için çoklu regresyon analiz sonucu görülmektedir. Eşitlik 4.2'de ise deney sonuçlarına bağlı kalınarak elde edilen yüzey pürüzlülüğüne veren denklem verilmiştir.

Çizelge 4.4 incelendiğinde en büyük etki değerine 1,89 katsayı ile ilerleme değeri sahiptir. Onu 0,16 ile kesme derinliği takip etmektedir. En düşük katsayı değeri ise kesme hızındadır. Çoklu regresyon analizi yöntemiyle ANOVA analizi sonuçları aralarında uyumludur. Yüzey pürüzlülüğü ile kesme parametreleri arasında iyi bir kolerasyon mevcuttur ($R^2=96.76\%$). R^2 -statiklik değeri ise sabit modelin 96.34% geçerliliğe sahip olduğunu göstermektedir.

$$R_a = 1,16114 + 0,16 * \text{kesme derinliği} + 1,89444 * \text{ilerleme} - 0,00048 * \text{kesme hızı} \quad (7.2)$$

Çizelge 4.4 Frezeleme için çoklu regresyon analizi.

Çoklu Regresyon Analizi				
Ana değişken	R _a			
Parametre	Tahmin	Standard hata	T-İstatistik	P-değeri
Sabit değer	1,16114	0,0339611	34,1903	0,0
Kesme derinliği	0,16	0,0197047	8,11989	0,0
İlerleme miktarı	1,89444	0,0985234	19,2284	0,0
Kesme hızı	-0,00048	0,00003	-15,8511	0,0

	Varyans Analizi				
Kaynak	DF	Kareler toplamı	Ortalama Kare	F-oranı	P-değeri
Model	3	1,20021	0,400071	228,97	0
Artık hatası	23	0,0401864	0,00174724		
Toplam	26	1,2404			

R²: 96,76%

R² (DF için ayarlanmış): 96,34%

Çizelge 4.4'e göre Standart hata değeri en çok olan en çok etkiye sahiptir. 0,098 değeri ile ilerleme miktarı yüzey pürüzlülüğüne en çok etkiye sahiptir. Bu sonuç ANOVA sonuçlarını desteklemektedir. İki analiz sistemi birbiriyle uyumludur.

BÖLÜM 5

5.1. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, öncelikle kaynak araştırması yapılmış ve daha önce yapılmış olan deneysel çalışmalar incelenmiştir. Daha sonra 7075 alüminyum alaşımının, üniversal torna tezgahında kaplamasız tungsten karbür takımlarla işlenmesinde, kesme hızı, ilerleme miktarı ve talaş derinliğinin yüzey pürüzlülüğüne olan etkilerini belirlemek amacıyla toplam 36 adet deney yapılmıştır. Ardından yine 7075 alüminyum alaşımının, Deckel freze tezgahında işlenmesinde, kesme hızı, ilerleme miktarı ve talaş derinliğinin yüzey pürüzlülüğüne olan etkilerini belirlemek için toplam 27 adet deney yapılmıştır. Daha önceki çalışmalardan farklı olarak hem torna hem de freze de alüminyum malzeme işlenmiştir.

Tornada deney malzemesi olarak 1000*80 mm ölçülerinde 7075 alüminyum alaşımı seçilmiş ve çalışmalar Toss SN55 marka üniversal tornada yapılmıştır. Frezede deney malzemesi olarak 300*200*20 mm ebatında 7075 alüminyum plaka seçilmiş ve deneyler Deckel FP33 marka tezgahda yapılmıştır. Kesme parametreleri için; kesici takım firmasının tavsiye ettiği ideal kesme şartları, tezgâh teknik bilgileri ve daha önce yapılmış deneysel çalışmalar da dikkate alınarak, üç farklı kesme hızı ve ilerleme miktarı ile dört farklı talaş derinliği seçilmiştir.

Deney sonuçları grafikler ile gösterilmiş ve analiz edilmiştir. Kesme parametrelerin etkileri ise ANOVA ve Çoklu Regresyon yöntemleriyle analiz yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

1. İlerleme miktarının artmasıyla tüm kesme şartlarında yüzey pürüzlülüğü artmıştır. Yüzey pürüzlülüğüne en çok etki eden parametre ilerleme miktarı olduğu görülmüştür. İlerleme miktarı arttıkça, kesicinin bir devirde kaldırması gereken talaş miktarı arttığından yüzey kalitesi de kötüleşmektedir. Ayrıca teorik eşitliklerde de görüldüğü gibi yüzey pürüzlülük değeri, ilerleme miktarının karesiyle doğru orantılı olarak değişmektedir. Finitiş işlemlerinde ilerleme miktarının azaltılması ile düşük yüzey pürüzlülüğü değerleri elde edilir.

2. Yüzey kalitesi kesme hızı arttıkça genelde artmıştır. Kesme hızının artmasıyla iş parçasının işlenen yüzeyindeki bozulmalar azalmıştır.

3. Yüzey pürüzlülüğünü en az etkileyen parametre kesme derinliğidir. Yüzey kalitesi ile kesme derinliği arasında orantılı bir değişim mevcuttur. Kesme derinliğinin artmasıyla yüzey pürüzlülük değeri çok az artmış, yani yüzey kalitesi az miktarda kötüleşmiştir.

4. Tornada en düşük Ra değeri olan 1,4 μm , 0,25 mm/dev ilerleme miktarı, 450 m/dak kesme hızı ve 0,6 mm kesme derinliğinde elde edilmiştir. Buna karşın en yüksek Ra değeri olan 3,27 μm , 0,35 mm/dev ilerleme miktarı, 150 m/dak kesme hızı ve 0,8 mm kesme derinliğinde elde edilmiştir.

Frezede en düşük Ra değeri olan 0,98 µm, 0,10 mm/diş ilerleme miktarı, 900 m/dak kesme hızı ve 0,5 mm kesme derinliğinde elde edilmiştir. Buna karşın en yüksek Ra değeri olan 1,89 µm, 0,30 mm/diş ilerleme miktarı, 250 m/dak kesme hızı ve 1,5 mm kesme derinliğinde elde edilmiştir.

5. Yüzey pürüzlülüğüne en fazla etkiyi yapan parametreler sırasıyla ilerleme miktarı, kesme hızı ve kesme derinliğidir.

6. Çoklu regresyon analizi sonucu yüzey pürüzlülüğünün formülü torna için şu şekilde bulunmuştur:

$$R_a = - 2,50 + 0,106 * \text{kesme derinliği} + 16,3 * \text{ilerleme} - 0,0176 * \text{kesme hızı} \quad (7.1)$$

Freze için ise şu şekilde bulunmuştur:

$$R_a = 1,16114 + 0,16 * \text{kesme derinliği} + 1,89444 * \text{ilerleme} - 0,00048 * \text{kesme hızı} \quad (7.2)$$

7. Çoklu regresyon sonucu torna için elde edilen eşitlik 7.1, freze için ise eşitlik 7.2 kullanılarak istenilen yüzey pürüzlülüğü için ilerleme ve kesme hızı değerleri seçilebilir.

8. Tornalama işlemi için yapılan ANOVA analizinde ilerleme miktarının yüzey kalitesine çok büyük etkisi olduğu bulunmuştur. Tornalama için kesme derinliğinin etkisi yoktur denilebilir.

9. ANOVA ve Çoklu Regresyon analiz sonuçları örtüşmektedir.

10. Kesici takım üzerinde oluşan çatlaklar incelenmesi sonucunda yüzey pürüzlülüğüyle bağlantısı tespit edilmiştir. Kesici takım yüzeyinde meydana gelen bozulma, iş parçası yüzey pürüzlülüğünü arttırmaktadır.

11. Kesici takım yüzeyinde düşük hızlarda yapışmalar gözlenmiştir.

12. Kesme hızı arttırıldıkça kesici takımdaki yapışma oranı azalmaktadır. Ayrıca yüzey kalitesi de artmaktadır.

13. SEM incelemesi sonucu elde edilen sonuçlara göre takım üzerindeki yapışma yüzey kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir.

Sonuç olarak 7075 alüminyum alaşımını universal torna tezgahında, kaplamasız tungsten karbür kesicilerle işleme yaparken, düşük yüzey pürüzlülük değerlerine ulaşmak için, yüksek kesme hızı, düşük ilerleme miktarı ve kesme derinliği seçmek gerekir. İlerleme değerinin etkisi tornalama işleminde çok yüksek değerdedir (99.20%). Frezeleme için ilerleme miktarının etkisi 52,22%'dir. Frezeleme işleminde birden fazla uç kullanılması işlemin kesintili olmasından dolayı kesme hızının yüzey pürüzlülüğüne etkisi tornalamaya göre daha yüksek bulunmuştur. Kesici takımların SEM ile incelenmesi sonucu düşük kesme hızlarında takım yüzeyinde yapışmalar görülmüştür. Yüksek hızlarda talaş kaldırma işleminin yapılması kesici takım açısından önemlidir.

KAYNAKLAR

- Akkurt M. (2004). Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları. İstanbul: Birsene Yayınevi.
- Altın, A.,(2005). Nikel esaslı inconel 718 süper alaşımının işlenebilirliğinin incelenmesi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara: 44-45.
- Aslan, E. ve Camuçcu, N.(2005). High Speed End Milling of Hardened AISI D3 Cold Work Tool Steel With CBN Cutting Tool. G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi, 18(3): 453-458.
- Aydın, M., Uçar, M., Cengiz, A.(2010). AISI 304 Östenitik Paslanmaz Çeliğin Kuru Tornalanabilmesine Kesme Parametrelerinin Etkisi, 2. Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi, Balıkesir.
- Altıntaş Y. (2006) Manufacturing Automation : Metal Cutting Mechanics, Machine Tool Vibrations, and CNC Design. Cambridge University Press, 12, 286p.New York.
- Baek, D.K., Ko, T.J., Kim, H.S., (2001) Optimization of Feedrate in A Face Milling Operation Using A Surface Roughness Model. International Journal of Machine Tools & Manufacture, 41: 451-462.
- Balcı, B., (2008) AISI 304 Östenitik Paslanmaz Çelik Malzemenin İşlenmesinde Yüzey Pürüzlülüğünün İncelenmesi. Gazi Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 87s, Ankara.
- Bayrak, M., (2002) Ç 1020, Ç 1040 ve 9SMNPB28 Çeliklerinin Talaşlı İşlenmesinde Yüzey Pürüzlülüğünün Uzman Sistemle Hesaplanan Değerlerinin Deneyisel Değerlerle Karşılaştırılması. Gazi Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 155s, Ankara.
- Bayrak, M.,(2002) Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi ve Uzman Sistemle Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, 1-35 .
- Benardos, P.G., Vosniakos, G.C., (2002) Prediction of Surface Roughness in CNC Face Milling Using Neural Networks and Taguchi's Design of Experiments. Robotics and Computer Integrated Manufacturing. 18, 343-354.

Bhushan Rajesh Kumar, Sudhir Kumar, and S. Das.(2010) Effect of machining parameters on surface roughness and tool wear for 7075 Al alloy SiC composite. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 50.5-8: 459-469.

Böhler Sert Maden ve Takım Sanayi ve Ticaret A.Ş.,(1990) Talaş kaldırma bilgileri. Yeni Karar Yayıncılık, İstanbul: 31-42.

Can, A., (2003) AISI 6140 Çeliğinin Sermet, PVD ile TiAlN – CVD ile TiN Kaplanmış kesici Uçlarla Tornalanmasında Kesme Değişkenleri, Kaplama Cinsi ve Takım Aşınmasının Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin İncelenmesi. Gazi Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 123s, Ankara.

Chavoshi, Saeed Zare. (2011) Tool flank wear prediction in CNC turning of 7075 AL alloy SiC composite. Production Engineering 5.1 : 37-47.

Choudhury, I. A., El-Baradie, M. A.(1999) Machinability assessment of inconel 718 by factorial design of experiment coupled with response surface methodology, Journal of Materials Processing Technology, 95: 30–39 .

Çakır, M.C., (2000) Modern Talaşlı İmalat Yöntemleri. Vipaş A.Ş., 158, 535s. Bursa.

Çakır, M.C., (2006) Modern Talaşlı İmalatın Esasları. Nobel Yayın Dağıtım, 993,267s. Ankara.

Çaydaş, U., Haşçalık, A. (2005) CNC tornalamada işlem parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi, Teknoloji, 8: 167-172 .

Çiftçi, K., (2005) Mikroalaşımli Çeliklerin Frezelenmesinde Kesme Parametrelerinin Talaşlı İşlenebilirliğe Etkisinin İncelenmesi. Marmara Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 73s. İstanbul.

Çoğun C.,Özses B., (2002) Bilgisayar Sayısal Denetimli Takım Tezgâhlarında Değişik İşleme Koşullarının Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi. Gazi Ü. Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, 17 (1): 59-75.

Davim, J.P. ve Baptista, A.M.(2000) Relationship between cutting force and PCD cutting tool wear in machining silicon reinforced aluminium, Journal of Materials Processing Technology, 103: 417-423 .

DeGarmo, E. P., Black, J. T., Kohser, R. A.(1997) Materials And Processes In Manufacturing, Prentice-Hall Inc., New Jersey, : 214-652.

Eriksen,E., (1999) Influence From Production Parameters on the Surface Roughness of A Machined Short Fibre Reinforced Thermoplastic. International Journal of Machine Tools & Manufacture, 39 :1611-1618.

Eruslu, N.; Altmısoglu, Y.; Taptı, A.(2000) Alaşımlar Ders Notu.

Ersümer, A., (1960) Alüminyum Alaşımlarının Isıl ve Mekanik İşlemleri. İTÜ Yayınları, 443, 102s. İstanbul.

Franco, P., Estrems, M., Fuara, F., (2004) Influence of Radial and Runouts on Surface Roughness in Face Milling With Round Insert Cutting Tools. International Journal of Machine Tools & Manufacture, 44 (15): 1555-1565.

Gadelmawla, E.S., Koura, M.M., Maksoud, T.M.A., Elewa, I.M., Soliman, H.H., (2002). Roughness Parameters. Journal of Materials Processing Technology, 123: 133-135.

Gezgin, A., (2007) Prizmatik Parçaların Frezelenmesi Esnasında, Kesici Uç Sayısının Takım Ömrü ve Yüzey Pürüzlülüğü Açısından Değerlendirilmesi. Gazi Ü.Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 112s, Ankara.

Gökkaya H., Sur G., Dilipak H., (2004) PVD ve CVD Kaplamalı Sementit Karbür Kesici Takımların İşleme Parametrelerine Bağlı Olarak Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi. Teknoloji Dergisi, 7 (3): 473-478.

Gökkaya H. , Sur G., Dilipak H., (2006) Kaplamasız Sementit Karbür Kesici Takım ve Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi. Pamukkale Ü. Mühendislik Fak. Mühendislik Bilimleri Dergisi, 12 (1): 59-64.

Groover, M. P.(1996) Fundamentals Of Modern Manufacturing- Materials, Processes And Systems, Prentice-Hall Inc., New Jersey: 220-639 .

Günay, M., Şeker, U. and Sur, G.(2006) Design and construction of a dynamometer to evaluate the influence of cutting tool rake angle on cutting forces, Materials and Design, 27: 1097–1101.

Hüseyinoğlu, M., (2008) 7075 Alüminyum Alaşımın Freze ile İşlenmesinde Minimum Soğutma Sıvısı Kullanmanın Performans Karakteristiklerine Etkisi. Fırat Ü.Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 48s, Elazığ.

Işık, Y., Çakır, M.C., (2001) Hız Çeliği Takımlar İçin Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkilerinin Deneysel Olarak İncelenmesi. Teknoloji Dergisi, 1 (2): 111-118.

İpekçioğlu, N.(1984) Frezecilik. Devlet Kitapları Basımevi, Ankara: 25-47 .

Jawaid, A., Köksal, S., Saharif S. (2001) 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 .

Jawaid, A., Sharif, S., Koksall, S.(2000) Evaluation of wear mechanisms of coated carbide tools when face milling titanium alloy. Journal of Materials Processing Technology, 99: 266–274.

Kınıkoglu, N.G.(2001) Malzeme Bilimi ve Mühendisliği. Literatür Yayıncılık, İstanbul, s: 513-518.

Kırıcı, M., (1998) CNC Frezeleme İşlemleri için Kesme Parametrelerinin Optimizasyonu. Süleyman Demirel Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 57s, Isparta.

Kilickap, Erol, and Ali Inan. (2006) A study on machinability of Al Si7 Mg2/SiC p metal matrix composite. International Journal of Machining and Machinability of Materials 1.4 : 463-475.

King, T.G., Spedding, T.A. (1982) On The Relationships Between Surface Profile Height Parameters. Wear, 83: 91-108.

Kitagawa, T.; Kubo, A.; Maekawa, K.: Temperature, (1997). Wear of cutting tools in high-speed machining of Inconel 718 and Ti-6Al-6V-2Sn. Wear 202 (2): 142-148.

Kök, Metin. (2011) Modelling the effect of surface roughness factors in the machining of 2024Al/Al₂O₃ particle composites based on orthogonal arrays. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 55.9-12 : 911-920.

Kök, Metin. (2010) Tool life modeling for evaluating the effects of cutting speed and reinforcements on the machining of particle reinforced metal matrix composites. International Journal of Minerals, Metallurgy, and Materials 17.3: 353-362.

Kopac, J., Babor, M. (1999) 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, 92:381-387.

Korkut, I., Kasap, M., Ciftçi, I., Seker, U., (2004) Determination of Optimum Cutting Parameters During Machining of AISI 304 Austenitic Stainless Steel. Materials and Design, 25: 303-305.

Korkut, I., Donertas, M.A., (2007) The Influence of Feed Rate and Speed on the Cutting Forces, Surface Roughness and Tool-Chip Contact Length During Face Milling. Materials and Design, 28: 308-312.

Lahres, M., Hummel, P.M., Doerfel, O. (1997) Applicability of Different in Dry Milling Aluminium Alloys. Surface and Coatings Technology, 91: 116-121.

Lamikiz, A., Lacalle, L.N., Sanchez, J.A., Cabanes, I. (2001) Cutting Conditions and Tool Optimization in The High-Speed of Aluminium Alloys. Engineering Manufacture, 215 (9): 1257-1269.

Lee, B. Y., Tarn, Y. S.(2001) Surface roughness inspection by computer vision in turning operations. International Journal of Machine Tools & Manufacture, 41: 1251-1263 .

Manna, Alakesh, and B. Bhattacharayya.(2005) Influence of machining parameters on the machinability of particulate reinforced Al/SiC–MMC. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 25.9-10 : 850-856.

Mantle, A. L., Aspinwall, D. K..(2001) Surface integrity of a high speed milled gamma titanium aluminide. Journal of Materials Processing Technology,118: 143–150.

Marigoudar, Rajaneesh N., and Sadashivappa Kanakuppi. (2013) Investigation of tool wear and surface roughness during machining of ZA43–SiCp composite using full factorial approach. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture 227.6 : 821-831.

Mihmat, F.(2006) Farklı Çeliklerin Testere Freze Çakılarıyla İşlenebilirliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 5-6.

Muñoz-Escalona, Patricia, and Paul G. Maropoulos. (2014) A geometrical model for surface roughness prediction when face milling Al 7075-T7351 with square insert tools. Journal of Manufacturing Systems .

Muthukrishnan, N., M. Murugan, and K. Prahlada Rao.(2008) Machinability issues in turning of Al-SiC (10p) metal matrix composites. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 39.3-4 : 211-218.

Nouari, M., List, G., Girot, F., Gehin, D.(2005) Effect of Machining Parameters and Coating on Wear Mechanisms in Dry Drilling of Aluminium Alloys. International Journal of Machine Tools & Manufacture, 45: 1436-1442.

Özçatalbaş, Y.(2002) Kesici Takım Aşınması ve İş Malzemesi Mekanik Özelliklerinin Yüzey Pürüzlülüğü ve Kesme Kuvvetlerine Etkisi. G.Ü Politeknik Dergisi, C:4 Özel Sayı: 47-52.

Ozçelik, B., Bayramoglu, M. (2006) The Statistical Modeling of Surface Roughness in High-Speed Flat end Milling. International Journal of Machine Tools & Manufacture, 46: 1395-1402.

Özdemir, U., Erten, M.(2003) Talaşlı imalat sırasında kesici takımda meydana gelen hasar mekanizmaları ve takım hasarını azaltma yöntemleri, Havacılık ve uzay teknolojileri dergisi, 1: 37-50.

Özdemir, Ö., İpek, M., Zeytin, S. (2000) Kesici Takım Malzemeleri. Mühendis ve Makine Dergisi, 487: 11-20.

Özel, T., Hsu, T.K., Zeren, E.(2005) 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.

Özler, L., Tosun, N., İnan, A. (2000) Östenitik Manganlı Çeliğin Sıcak Talaşlı İşlenmesinde Yüzey Pürüzlülüğünün İncelenmesi. Türk J. Engin. Environ. Sci, 24: 287-296.

Pramanik, Alokesh, L. C. Zhang, and J. A. Arsecularatne. (2008) Machining of metal matrix composites: Effect of ceramic particles on residual stress, surface roughness and chip formation. International Journal of Machine Tools and Manufacture 48.15 : 1613-1625.

Puertas, I., Luis Perez, C.J. (2003) Surface roughness prediction by factorial desing of experiments in turning processes. Journal of Materials Processing Technology 143-144: 390-396.

Rai, Ram Naresh, et al. (2006) A study on the machinability behaviour of Al-TiC composite prepared by in situ technique. Materials Science and Engineering: A 428.1: 34-40.

Rao Balkrishna, and Yung C. Shin. (2001) Analysis on high-speed face-milling of 7075-T6 aluminum using carbide and diamond cutters. International Journal of Machine Tools and Manufacture 41.12 : 1763-1781.

Reddy, N. S. K., Rao P. V. (2005) Selection of Optimum Tool geometry and Cutting Conditions Using A Surface Roughness Prediction Model For end Milling. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 26: 1202-1210

Sağlam, H., (2001) Frezelemede Kesme Parametreleri ile Kesme Kuvvetlerinin Değişimi ve Bunların Takım Aşınması ve Yüzey Pürüzlülüğü Üzerindeki Etkilerinin Deneysel İncelenmesi. Selçuk-Teknik Online Dergisi, 1 (3): 1-13.

Sandvik Coromand. (1994) Modern Metal Cutting-a Pratical Handbook. ISBN: 94-99, Sweden.

Sai, W. B., Salah, N.B., Lebrun, J.L. (2001) Influence of Machining By Finishing Milling on Surface Characteristics. International Journal of Machine Tools & Manufacture, 41: 443-450.

Seeman, M., et al. (2010) Study on tool wear and surface roughness in machining of particulate aluminum metal matrix composite-response surface methodology approach. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 48.5-8 : 613-624.

Shaw, M.C. (2005) Metal Cutting Principles. Oxford University Press, 19, 651p. New York.

Smith, W.S. (2001) Çeviri: Mehmet Erdoğan. Mühendislik Alaşımlarının Yapı ve Özellikleri. Cilt:2, Nobel Yayın Dağıtım, 318, 602s. Ankara.

Şahin, Y. (2000) Talaş Kaldırma Prensipleri 1. Nobel Yayın Dağıtım, 196, 562s. Ankara.

Şahin, Y. (2001) Talaş Kaldırma Prensipleri 2. Nobel Yayın Dağıtım, 240, 490s. Ankara.

Seker, U.(2003) Makine eğitimi ders notları. Gazi Üniversitesi, Ankara, 5-8 .

Tosun, Nihat, and Hasim Pihtili.(2010) Gray relational analysis of performance characteristics in MQL milling of 7075 Al alloy. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 46.5-8 : 509-515.

Trent, E.M. (1984) Metal Cutting, Second Edition. Butterworths, 10, 245p. London.

Vignesh, S. Hari, and R. Karthikeyan. (2014) Analysis of Process Parameters in Machining of 7075 Aluminium Alloy Using Response Surface Methodology. International Journal of Engineering Research and Technology. Vol. 3. No. 1 (January-2014). ESRSA Publications.

Yazman, Ş., Akdemir, A., Uyaner, M., Sağlam, H.(2012) The Effects of Cutting Speed and Depth of Cut on Machinability Characteristics of Austempered Ductile Iron. Journal of Manufacturing Science and Engineering, ASME, Vol. 134.

Yeyen, H. E., Korkut, İ., Turgut, Y. ve Çiftçi, İ. (2009) AISI 303 Östenitik Paslanmaz Çeliklerin İşlenmesinde Kesme Hızı ve İlerlemenin Kesme Kuvvetleri ve Yüzey Pürüzlülüğü Üzerindeki Etkileri.5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Zonguldak.

Yiğın, A.(1996) Makine Mühendisliği El Kitabı-Üretim ve Tasarım. TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Yayın No: 140, Ankara, 2: 223-270.

Yuan, Z.J., Zhou, M., Dong, S. (1996) Effect of Diamond Tool Sharpness on Minimum Cutting Thickness and Cutting Surface Integrity in Ultraprecision. Journal of Materials Processing Technology, 62 (4): 327-330.