

**AISI 316 Ti PASLANMAZ ÇELİĞİN İŞLENMESİNDE KESİCİ UÇ
GEOMETRİSİNİN KESME KUVVETLERİ VE
YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİSİ**

Ahmet AYTÜRK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EKİM 2010
ANKARA**

Ahmet AYTÜRK tarafından hazırlanan “AISI 316 Ti PASLANMAZ ÇELİĞİN İŞLENMESİNDE KESİCİ UÇ GEOMETRİSİNİN KESME KUVVETLERİ VE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİSİ” adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Yunus KAYIR

.....

Tez Danışmanı, Makine Eğitimi Anabilim Dalı

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

Prof. Dr. Mahmut GÜLESİN

.....

Makine Eğitimi Anabilim Dalı, G.Ü.

Yrd. Doç. Dr. Yunus KAYIR

.....

Makine Eğitimi Anabilim Dalı, G.Ü.

Prof. Dr. Ulvi ŞEKER

.....

Makine Eğitimi Anabilim Dalı, G.Ü.

Doç. Dr. Ferhat GÜL

.....

Metal Eğitimi Anabilim Dalı, G.Ü.

Yrd. Doç. Dr. Hakan DİLİPAK

.....

Makine Eğitimi Anabilim Dalı, G.Ü.

Tarih: 27/10/2010

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

Prof. Dr. Bilal TOKLU

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

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

Ahmet AYTÜRK

**AISI 316 Ti PASLANMAZ ÇELİĞİN İŞLENMESİNDE KESİCİ UÇ
GEOMETRİSİNİN KESME KUVVETLERİ VE
YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİSİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

Ahmet AYTÜRK

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Ekim 2010**

ÖZET

Bu çalışmada, AISI 316 Ti paslanmaz çelik malzemesi karbür uçlarla tornalanmıştır. Deneylerde kaplamalı değişik uç geometrisine sahip uçlar kullanılmıştır. Kullanılan kesici uç burun yarıçapı ve uç talaş kırıcı deseninin kesme kuvvetlerine ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi araştırılmıştır. Farklı kesme parametreleri (ilerleme ve kesme hızı) kullanılarak, Universal torna tezgahlarında birçok deneyler yapılmıştır. Paslanmaz çelik malzemesinin işlenmesi sırasında kesme kuvvetleri ölçülmüştür. Kesme kuvvetlerinin ölçülmesinde dinamometre kullanılmıştır. Universal torna tezgahına dinamometrenin bağlanabilmesi için bazı aparatlar tasarlanarak imal edilmiştir. İşlenen malzemeler üzerinde yüzey pürüzlülüğü ölçülmüştür. Elde edilen tüm veriler kayıt altına alındıktan sonra değerlendirilmiştir. Sonuç olarak ilerleme artıkça kesme kuvvetlerinin arttığı, gözlenmiştir. Elde edilen yüzeyler üzerinde ise, kesici burun yarıçapının artması ile yüzey pürüzlülüğünün azaldığı tespit edilmiştir.

Bilim Kodu : 708.3.028
Anahtar Kelimeler : AISI 316 Ti, Paslanmaz çelik, Kesme kuvvetleri, Tornalama, Yüzey pürüzlülüğü,
Sayfa Adedi : 117
Tez Yöneticisi : Yrd.Doç.Dr. Yunus KAYIR

**THE EFFECT OF INSERT GEOMETRY ON CUTTING FORCES AND
SURFACE ROUGHNESS IN MACHINING OF AISI 316 Ti STAINLESS**

STEEL

(M. Sc. Thesis)

Ahmet AYTÜRK

GAZİ UNIVERSITY

INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

October 2010

ABSTRACT

In this study, AISI 316 Ti stainless steel material has been turned with cemented carbide inserts. In the experiments different coated inserts having different insert geometry were used. The effect of insert nose radius and chip breaker geometry on cutting forces and surface roughness was investigated. The experiments were carried out on a conventional lathe using different cutting parameters namely feed rate and cutting speed. The cutting forces were measured during turning the stainless steel material. A dynamometer was used to measure cutting forces and moment. A cutting tool mounting apparatus was designed and manufactured for the conventional lathe. The surface roughness of the machined parts was measured. The obtained data were evaluated. The experimental results have shown that cutting forces increased with increasing feed rate.

Science Code : 708.3.028

**Key Words : AISI 316 Ti, Stainless steel, Cutting forces
Metal cutting, Turning, Surface roughness**

Page Number: 117

Adviser : Yrd.Doç.Dr. Yunus KAYIR

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım süresince değerli yardım ve fedakarlıklarını esirgemeyen, bilgi ve katkılarıyla beni yönlendiren danışmanım Yrd. Doç. Dr. Yunus KAYIR beye, değerli arkadaşlarım Zafer ÇALIŞKAN, Serdar TUNÇSİPER ve manevi katkılarından dolayı nişanlım Kezban TURBAY’a teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca bugünlere gelmemde hiçbir fedakârlıktan kaçınmayan ve desteğiyle daima yanımda olan aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xii
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xxi
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	3
3. PASLANMAZ ÇELİKLER.....	10
3.1. Paslanmaz Çeliklerin Üstünlükleri.....	11
3.2. Paslanmaz Çeliklerin İç Yapıları.....	12
3.3. Paslanmaz Çelik Türleri.....	14
3.3.1. Ferritik paslanmaz çelikler.....	15
3.3.2. Ostenitik paslanmaz çelikler.....	15
3.4. Paslanmaz Çeliklerde Talaşlı İmalat.....	20
3.5. Dünyada ve Türkiye’de Paslanmaz Çelik.....	24
4. TALAŞ KALDIRMAYA ETKİ EDEN FAKTÖRLER.....	23
4.1. Takım Ömrü.....	25
4.2. Kesme Hızı, Talaş Derinliği ve İlerleme Miktarının Etkisi.....	27
4.2.1. Kesme parametrelerin takım ömrüne etkisi.....	29

Sayfa

4.2.2. Kesme parametrelerin yüzey pürüzlülüğüne etkisi	29
4.3. Takım Malzemesi ve İş Parçası Malzemesinin Etkisi.....	29
4.4. Takım Burun Yarıçapının Etkisi (R)	30
4.5. Soğutma Sıvısının Etkisi.....	32
4.6. Takım Geometrisinin Etkisi.....	32
4.7. Titreşimin Etkisi.....	33
5. TEZGAH - KESİCİ - İŞ PARÇASI İLİŞKİSİ.....	34
5.1. Tezgah.....	34
5.1.1. Tornalama takım tezgahları.....	35
6. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ.....	36
6.1. İdeal Yüzey Pürüzlülüğü.....	38
6.2. Gerçek Yüzey Pürüzlülüğü.....	39
7. KESME KUVVETİ.....	41
7.1. Dinamometre.....	43
8. METERYAL VE METOT.....	46
8.1. Dney Malzemesi.....	46
8.2. Kesici Takım ve Takım Tutucu.....	48
8.3. Deney Parçalarının Hazırlanması	49
8.4. Deneylerin Yapılması ve Yöntem.....	50
8.4.1. Deney parçalarının torna tezgahına bağlanması	52
8.5. Kesme Kuvvetlerine Yönelik Deney Düzeneğinin Hazırlanması.....	53

Sayfa

8.5.1. Dinamometrenin torna tezgahına bağlanabilmesine yönelik bir bağlama aparatının tasarımı ve imalatı	54
8.5.2. Deney çalışmalarında kuvvet ölçümleri için kullanılan bilgisayar programı.....	57
8.5.3 Kesme kuvvetlerini grafik üzerinden çıkartılması.....	61
8.6. Elde Edilen Yüzeyler İçin Yapılan İncelemeler.....	66
9. DENEYLER VE SONUÇLAR.....	69
9.1. İlerlemeye Bağlı Deney Sonuçları.....	71
9.1.1. İlerlemeye bağlı kesme kuvvetleri (F_z).....	71
9.1.2.- İlerlemeye bağlı ilerleme kuvvetleri (F_x).....	73
9.1.3. İlerlemeye bağlı radyal kuvvetler (F_y).....	75
9.1.4. İlerlemeye bağlı yüzey pürüzlülükleri (R_a).....	77
9.2. Kesme Hızına Bağlı Deney Sonuçları.....	79
9.2.1. Kesme hızına bağlı kesme kuvvetleri (F_z).....	79
9.2.2. Kesme hızına bağlı ilerleme kuvvetleri (F_x).....	81
9.2.3. Kesme hızına bağlı radyal kuvvetler (F_x).....	83
9.2.4. Kesme hızına bağlı yüzey pürüzlülükleri (R_a).....	85
9.3. Kesici Uç.....	87
9.4. Çıkan Talaş.....	93
10. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	106
10.1. Sonuçlar.....	106
10.2. Öneriler.....	108
KAYNAKLAR.....	109

Sayfa

EKLER.....	113
EK-1 Üniversal torna tezgahı için bağlama aparatı.....	114
EK-2 Deney kartı.....	115
EK-3 Kistler dinamometre seçim tablosu.....	116
ÖZGEÇMİŞ.....	117

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri	13
Çizelge 3.2. 316 Ti Mekanik özellikleri	19
Çizelge 3.3. 316 Ti İmalat özellikleri.....	21
Çizelge 6.1. Genel imalat yöntemleri ile oluşan yüzey pürüzlülük değerleri	40
Çizelge 8.1. AISI 316 Ti Östenitik Paslanmaz Malzemenin Kimyasal Bileşimi.....	46
Çizelge 8.2. İş parçası sertlik değerleri.....	47
Çizelge 8.3. AISI 316 Ti Östenitik Paslanmaz Malzemenin Mekanik Özellikleri.....	47
Çizelge 8.4. Kesici Takım Özellikleri	49
Çizelge 8.5. Kesme hızı ve kullanılacak devirlere göre iş parçası çapları.....	50
Çizelge 8.6. Deneyde kullanılacak kesici takım ve kesme parametreleri.....	51
Çizelge 8.7. Mean Value yöntemi kullanıldığında ekrana gelen bilgiler.....	64
Çizelge 9.1. MA kesici formuna ait deney sonuçları.....	69
Çizelge 9.2. MS kesici formuna ait deney sonuçları.....	70
Çizelge 9.3. ES kesici formuna ait deney sonuçları.....	70

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Alışım içeriği çelik karakteristiğini değiştirmek üzere uyarlanması.....	14
Şekil 3.2.Östenitik paslanmaz çelik.....	17
Şekil 3.3. Östenitik çeliğin mikro yapısı.....	18
Şekil 4.1. Tornalama tek kesici takımın kullanıldığı bir işlemdir.....	24
Şekil 4.2. Kesme hızının değişik takım malzemeleri için takım ömür grafi.....	26
Şekil 4.3. Bir parçanın işlenme maliyetine etki eden faktörler.....	30
Şekil 4.4. Takım ucunun etkisi.....	31
Şekil 4.5. Kesici uç burun yarıçapı.....	31
Şekil 4.6. Talaşlı İşlem Temel Terminolojisi.....	32
Şekil 5.1. Tezgah, kesici, iş parçası ilişkisi.....	34
Şekil 6.1. Yüzey pürüzlülüğünün üç boyutlu gösterilmesi ve yüzey pürüzlülüğü.....	36
Şekil 6.2. Çelik malzemenin yüzey pürüzlülüğü ile işleme maliyeti ilişkisi.....	37
Şekil 6.3.Yüzey Pürüzlüğü Profili.....	38
Şekil 6.4. Yuvarlatılmış uçlu kesici için yüzey pürüzlülüğünün İdeal Modeli.....	39
Şekil 7.1. Talaş kaldırma kuvvetleri.....	41
Şekil 7.2. Kesme kuvvetinin bileşenleri.....	41
Şekil 7.3. Kesme kuvveti-talaş açısı ilişkisi.....	42
Şekil 7.4. Eksenel kuvvet-yanaşma açısı ilişkisi.....	43
Şekil 8.1.Takım tutucunun iş parçası ile yaptığı açı.....	48

Şekil	Sayfa
Şekil 8.2. Deney Numunelerinin Teknik Resmi	50
Şekil 8.3. Deney seti kurulumu.....	53
Şekil 8.4. Dinamometrenin tornalama deneyleri için öngörülen aparar ve montaj ölçüleri.....	54
Şekil 8.5. Dinomometrenin torna tezgahına bağlanabilmesi için bağlama apararı.....	55
Şekil 8.6. DynoWare programın ana açılış sayfasının görüntüsü.....	57
Şekil 8.7. Dinamometrenin kalibre değerlerinin programa girilmesi.....	58
Şekil 8.8. Ölçüm yapma ayarları.....	59
Şekil 8.9. Deney bilgilerinin girildiği program sayfası.....	60
Şekil 8.10. Programı başlatma menüsü.....	60
Şekil 8.11.Kesme kuvvetlerine yönelik DynoWare programının oluşturduğu bir grafik.....	61
Şekil 8.12. Grafik üzerinde bir zaman aralığı belirleme.....	62
Şekil 8.13. Grafik üzerinde tanımlanan istatistiksel veriler.....	62
Şekil 8.14. Zaman aralığının belirlenmesi ve kuvvetler için istatiksels bilgiler.....	64
Şekil 8.15. Grafik üzerinde bir bölgenin “Zoom On” yapılması.....	65
Şekil 8.16. Seçilen bölgenin “Zoom On” yapılmış hali.....	66
Şekil 9.1. Üniversal torna tezgahında 85 m/dak ‘da AISI 316 Ti paslanmaz çeliğinin işlenmesi sırasında ilerlemeye bağlı kesme kuvveti grafiği.....	72
Şekil 9.2. Üniversal torna tezgahında 120 m/dak ‘da AISI 316 Ti paslanmaz çeliğinin işlenmesi sırasında ilerlemeye bağlı kesme kuvveti grafiği.....	72
Şekil 9.3 Üniversal torna tezgahında 165 m/dak ‘da AISI 316 Ti paslanmaz çeliğinin işlenmesi sırasında ilerlemeye bağlı kesme kuvveti grafiği.....	73
Şekil 9.4. Üniversal torna tezgahında 85 m/dak ‘da AISI 316 Ti paslanmaz çeliğinin işlenmesi sırasında ilerlemeye bağlı ilerleme kuvveti grafiği....	74

Şekil	Sayfa
Şekil 9.5. Üniversal torna tezgahında 120 m/dak 'da AISI 316 Ti paslanmaz çeliğinin işlenmesi sırasında ilerlemeye bağlı ilerleme kuvveti grafiği....	74
Şekil 9.6. Üniversal torna tezgahında 160 m/dak 'da AISI 316 Ti paslanmaz çeliğinin işlenmesi sırasında ilerlemeye bağlı ilerleme kuvveti grafiği....	75
Şekil 9.7. Üniversal torna tezgahında 85 m/dak 'da AISI 316 Ti paslanmaz çeliğinin işlenmesi sırasında ilerlemeye bağlı radyal kuvvet grafiği.....	76
Şekil 9.8. Üniversal torna tezgahında 120 m/dak 'da AISI 316 Ti paslanmaz çeliğinin işlenmesi sırasında ilerlemeye bağlı radyal kuvvet grafiği.....	76
Şekil 9.9. Üniversal torna tezgahında 160 m/dak 'da AISI 316 Ti paslanmaz çeliğinin işlenmesi sırasında ilerlemeye bağlı radyal kuvvet grafiği.....	77
Şekil 9.10. Üniversal torna tezgahında 85 m/dak 'da AISI 316 Ti paslanmaz çeliğinin işlenmesi sırasında ilerlemeye bağlı yüzey pürüzlülüğü grafiği.....	78
Şekil 9.11. Üniversal torna tezgahında 120 m/dak 'da AISI 316 Ti paslanmaz çeliğinin işlenmesi sırasında ilerlemeye bağlı yüzey pürüzlülüğü grafiği.....	78
Şekil 9.12. Üniversal torna tezgahında 165 m/dak 'da AISI 316 Ti paslanmaz çeliğinin işlenmesi sırasında ilerlemeye bağlı yüzey pürüzlülüğü grafiği.....	79
Şekil 9.13. Üniversal torna tezgahında 0,1 mm/dev 'de AISI 316 Ti paslanmaz çeliğinin işlenmesi sırasında kesme hızına bağlı kesme kuvveti grafiği.....	80
Şekil 9 14. Üniversal torna tezgahında 0,2 mm/dev 'de AISI 316 Ti paslanmaz çeliğinin işlenmesi sırasında kesme hızına bağlı kesme kuvveti grafiği.....	80
Şekil 9.15. Üniversal torna tezgahında 0,4 mm/dev 'de AISI 316 Ti paslanmaz çeliğinin işlenmesi sırasında kesme hızına bağlı kesme kuvveti grafiği.....	81
Şekil 9.16. Üniversal torna tezgahında 0,1 mm/dev 'de AISI 316 Ti paslanmaz çeliğinin işlenmesi sırasında kesme hızına bağlı ilerleme kuvveti grafiği.....	82

Şekil	Sayfa
Şekil 9.17. Üniversal torna tezgahında 0,2 mm/dev 'de AISI 316 Ti paslanmaz çeliğinin işlenmesi sırasında kesme hızına bağlı ilerleme kuvveti grafiği.....	82
Şekil 9.18. Üniversal torna tezgahında 0,4 mm/dev 'de AISI 316 Ti paslanmaz çeliğinin işlenmesi sırasında kesme hızına bağlı ilerleme kuvveti grafiği.....	83
Şekil 9.19. Üniversal torna tezgahında 0,1 mm/dev 'de AISI 316 Ti paslanmaz çeliğinin işlenmesi sırasında kesme hızına bağlı radyal kuvvet grafiği.....	84
Şekil 9.20. Üniversal torna tezgahında 0,2 mm/dev 'de AISI 316 Ti paslanmaz çeliğinin işlenmesi sırasında kesme hızına bağlı radyal kuvvet grafiği.....	84
Şekil 9.21. Üniversal torna tezgahında 0,4 mm/dev 'de AISI 316 Ti paslanmaz çeliğinin işlenmesi sırasında kesme hızına bağlı radyal kuvvet grafiği.....	85
Şekil 9.22. Üniversal torna tezgahında 0,1 mm/dev 'de AISI 316 Ti paslanmaz çeliğinin işlenmesi sırasında kesme hızına bağlı yüzey pürüzlülüğü grafiği.....	86
Şekil 9.23. Üniversal torna tezgahında 0,2 mm/dev 'de AISI 316 Ti paslanmaz çeliğinin işlenmesi sırasında kesme hızına bağlı yüzey pürüzlülüğü grafiği.....	86
Şekil 9.24. Üniversal torna tezgahında 0,4 mm/dev 'de AISI 316 Ti paslanmaz çeliğinin işlenmesi sırasında kesme hızına bağlı yüzey pürüzlülüğü grafiği.....	87

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 5.1. Üniversal torna tezgahı.....	35
Resim 7.1. Deneylerde kullanılan dinamometre.....	44
Resim 7.2. Veri alma kartı (data kart).....	44
Resim 7.3. Dört kanaldan veri akışını düzenleyen amplifier.....	45
Resim 8.1. 316 Ti malzemesi için yapılan sertlik ölçümleri.....	47
Resim 8.2. 316 Ti deney parçaları için yapılmış olan çekme deneyi.....	47
Resim 8.3. Takım tutucu	48
Resim 8.4. Deney Numunelerinin Torna Tezgahına Bağlanması.....	52
Resim 8.5. Üniversal torna tezgahın sportu ve kalemligi.....	55
Resim 8.6. Üniversal torna tezgahın sportunun sökülmesi.....	56
Resim 8.7. Dinometrenin torna tezgahına aparat ile bağlanması.....	56
Resim 8.8. Yüzey pürüzlülük cihazı.....	67
Resim 8.9. İş parçasının deneyden sonraki yüzeyleri.....	68
Resim 9.1. 85 m/dak kesme hızı ve 0.4 mm/dev ilerleme miktarında kesme işleminde kullanılan MA formülü, 0.4 mm burun yarıçaplı kesici takım.....	87
Resim 9.2. 85 m/dak kesme hızı ve 0.8 mm/dev ilerleme miktarında kesme işleminde kullanılan MA formülü, 0.8 mm burun yarıçaplı kesici takım.....	88
Resim 9.3. 85 m/dak kesme hızı ve 0.4 mm/dev ilerleme miktarında kesme işleminde kullanılan ES formülü, 0.4 mm burun yarıçaplı kesici takım.....	88
Resim 9.4. 85 m/dak kesme hızı ve 0.8 mm/dev ilerleme miktarında kesme işleminde kullanılan ES formülü, 0.8 mm burun yarıçaplı kesici takım.....	88

Resim	Sayfa
Resim 9.5. 85 m/dak kesme hızı ve 0.4 mm/dev ilerleme miktarında kesme işleminde kullanılan MS formülü, 0.4 mm burun yarıçaplı kesici takım.....	89
Resim 9.6. 120 m/dak kesme hızı ve 0.8 mm/dev ilerleme miktarında kesme işleminde kullanılan MS formülü, 0.8 mm burun yarıçaplı kesici takım.....	89
Resim 9.7. 120 m/dak kesme hızı ve 0.4 mm/dev ilerleme miktarında kesme işleminde kullanılan MA formülü, 0.4 mm burun yarıçaplı kesici takım.....	89
Resim 9.8. 120 m/dak kesme hızı ve 0.4 mm/dev ilerleme miktarında kesme işleminde kullanılan MA formülü, 0.8 mm burun yarıçaplı kesici takım.....	90
Resim 9.9. 120 m/dak kesme hızı ve 0.4 mm/dev ilerleme miktarında kesme işleminde kullanılan ES formülü, 0.4 mm burun yarıçaplı kesici takım.....	90
Resim 9.10. 120 m/dak kesme hızı ve 0.4 mm/dev ilerleme miktarında kesme işleminde kullanılan ES formülü, 0.8 mm burun yarıçaplı kesici takım.....	90
Resim 9.11. 120 m/dak kesme hızı ve 0.4 mm/dev ilerleme miktarında kesme işleminde kullanılan MS formülü, 0.4 mm burun yarıçaplı kesici takım.....	91
Resim 9.12. 120 m/dak kesme hızı ve 0.4 mm/dev ilerleme miktarında kesme işleminde kullanılan MS formülü, 0.8 mm burun yarıçaplı kesici takım.....	91
Resim 9.13. 165 m/dak kesme hızı ve 0.4 mm/dev ilerleme miktarında kesme işleminde kullanılan MA formülü, 0.4 mm burun yarıçaplı kesici takım.....	91
Resim 9.14. 165 m/dak kesme hızı ve 0.4 mm/dev ilerleme miktarında kesme işleminde kullanılan MA formülü, 0.8 mm burun yarıçaplı kesici takım.....	92
Resim 9.15. 165 m/dak kesme hızı ve 0.4 mm/dev ilerleme miktarında kesme işleminde kullanılan ES formülü, 0.4 mm burun yarıçaplı kesici takım.....	92

Resim	Sayfa
Resim 9.16. 165 m/dak kesme hızı ve 0.4 mm/dev ilerleme miktarında kesme işleminde kullanılan ES formlu, 0.8 mm burun yarıçaplı kesici takım.....	92
Resim 9.17. 165 m/dak kesme hızı ve 0.4 mm/dev ilerleme miktarında kesme işleminde kullanılan MS formlu, 0.4 mm burun yarıçaplı kesici takım.....	93
Resim 9.18. 165 m/dak kesme hızı ve 0.4 mm/dev ilerleme miktarında kesme işleminde kullanılan MS formlu, 0.8 mm burun yarıçaplı kesici takım.....	93
Resim 9.19. AISI 316 Ti paslanmaz çelik malzemesini MA formlu, 0.4 mm burun yarıçaplı kesici takımla, $V=85$ mm/dak, $f=0.1$ mm/dev ile işlenmesi sırasında çıkan talaşlar.....	94
Resim 9.20. AISI 316 Ti paslanmaz çelik malzemesini MA formlu, 0.4 mm burun yarıçaplı kesici takımla, $V=85$ mm/dak, $f=0.2$ mm/dev ile işlenmesi sırasında çıkan talaşlar.....	94
Resim 9.21. AISI 316 Ti paslanmaz çelik malzemesini MA formlu, 0.4 mm burun yarıçaplı kesici takımla, $V=85$ mm/dak, $f=0.4$ mm/dev ile işlenmesi sırasında çıkan talaşlar.....	95
Resim 9.22. AISI 316 Ti paslanmaz çelik malzemesini MA formlu, 0.8 mm burun yarıçaplı kesici takımla, $V=85$ mm/dak, $f=0.1$ mm/dev ile işlenmesi sırasında çıkan talaşlar.....	95
Resim 9.23. AISI 316 Ti paslanmaz çelik malzemesini MA formlu, 0.8 mm burun yarıçaplı kesici takımla, $V=85$ mm/dak, $f=0.2$ mm/dev ile işlenmesi sırasında çıkan talaşlar.....	96
Resim 9.24. AISI 316 Ti paslanmaz çelik malzemesini MA formlu, 0.8 mm burun yarıçaplı kesici takımla, $V=85$ mm/dak, $f=0.4$ mm/dev ile işlenmesi sırasında çıkan talaşlar.....	96
Resim 9.25. AISI 316 Ti paslanmaz çelik malzemesini MS formlu, 0.4 mm burun yarıçaplı kesici takımla, $V=85$ mm/dak, $f=0.4$ mm/dev ile işlenmesi sırasında çıkan talaşlar.....	97
Resim 9.26. AISI 316 Ti paslanmaz çelik malzemesini MS formlu, 0.8 mm burun yarıçaplı kesici takımla, $V=85$ mm/dak, $f=0.1$ mm/dev ile işlenmesi sırasında çıkan talaşlar.....	97

Resim	Sayfa
Resim 9.27. AISI 316 Ti paslanmaz çelik malzemesini ES formulu, 0.8 mm burun yarıçaplı kesici takımla, $V=120$ mm/dak, $f=0.1$ mm/dev ile işlenmesi sırasında çıkan talaşlar.....	98
Resim 9.28. AISI 316 Ti paslanmaz çelik malzemesini ES formulu, 0.8 mm burun yarıçaplı kesici takımla, $V=120$ mm/dak, $f=0.4$ mm/dev ile işlenmesi sırasında çıkan talaşlar.....	98
Resim 9.29. AISI 316 Ti paslanmaz çelik malzemesini MS formulu, 0.4 mm burun yarıçaplı kesici takımla, $V=120$ mm/dak, $f=0.1$ mm/dev ile işlenmesi sırasında çıkan talaşlar.....	99
Resim 9.30. AISI 316 Ti paslanmaz çelik malzemesini MS formulu, 0.4 mm burun yarıçaplı kesici takımla, $V=120$ mm/dak, $f=0.2$ mm/dev ile işlenmesi sırasında çıkan talaşlar.....	99
Resim 9.31. AISI 316 Ti paslanmaz çelik malzemesini MS formulu, 0.8 mm burun yarıçaplı kesici takımla, $V=120$ mm/dak, $f=0.1$ mm/dev ile işlenmesi sırasında çıkan talaşlar.....	100
Resim 9.32. AISI 316 Ti paslanmaz çelik malzemesini MS formulu, 0.8 mm burun yarıçaplı kesici takımla, $V=120$ mm/dak, $f=0.2$ mm/dev ile işlenmesi sırasında çıkan talaşlar.....	100
Resim 9.33. AISI 316 Ti paslanmaz çelik malzemesini MS formulu, 0.8 mm burun yarıçaplı kesici takımla, $V=120$ mm/dak, $f=0.4$ mm/dev ile işlenmesi sırasında çıkan talaşlar.....	101
Resim 9.34. AISI 316 Ti paslanmaz çelik malzemesini MA formulu, 0.4 mm burun yarıçaplı kesici takımla, $V=165$ mm/dak, $f=0.1$ mm/dev ile işlenmesi sırasında çıkan talaşlar.....	101
Resim 9.35. AISI 316 Ti paslanmaz çelik malzemesini MA formulu, 0.4 mm burun yarıçaplı kesici takımla, $V=165$ mm/dak, $f=0.2$ mm/dev ile işlenmesi sırasında çıkan talaşlar.....	102
Resim 9.36. AISI 316 Ti paslanmaz çelik malzemesini ES formulu, 0.4 mm burun yarıçaplı kesici takımla, $V=165$ mm/dak, $f=0.1$ mm/dev ile işlenmesi sırasında çıkan talaşlar.....	102
Resim 9.37. AISI 316 Ti paslanmaz çelik malzemesini ES formulu, 0.4 mm burun yarıçaplı kesici takımla, $V=165$ mm/dak, $f=0.2$ mm/dev ile işlenmesi sırasında çıkan talaşlar.....	103

Resim	Sayfa
Resim 9.38. AISI 316 Ti paslanmaz çelik malzemesini ES formlu, 0.4 mm burun yarıçaplı kesici takımla, $V=165$ mm/dak, $f=0.4$ mm/dev ile işlenmesi sırasında çıkan talaşlar.....	103
Resim 9.39. AISI 316 Ti paslanmaz çelik malzemesini ES formlu, 0.8 mm burun yarıçaplı kesici takımla, $V=165$ mm/dak, $f=0.4$ mm/dev ile işlenmesi sırasında çıkan talaşlar.....	104
Resim 9.40. AISI 316 Ti paslanmaz çelik malzemesini MS formlu, 0.4 mm burun yarıçaplı kesici takımla, $V=165$ mm/dak, $f=0.4$ mm/dev ile işlenmesi sırasında çıkan talaşlar.....	104
Resim 9.41. AISI 316 Ti paslanmaz çelik malzemesini MS formlu, 0.8 mm burun yarıçaplı kesici takımla, $V=165$ mm/dak, $f=0.4$ mm/dev ile işlenmesi sırasında çıkan talaşlar.....	105

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklama
f	İlerleme miktarı, mm/dev
V	Kesme hızı, m/dak
T	Takım ömrü, dak
n	Devir, dev/dak
tkm	Talaş kaldırma miktarı, mm
Ra	Ortalama yüzey pürüzlülüğü
Rmax	En büyük yüzey pürüzlülük değeri
Rt	Yüzey pürüzlülük yüksekliği
kc	Özgül kesme direnci, N/mm ²
Fx	Radyal kuvvet, N
Fy	İlerleme kuvveti, N
Fz	Kesme kuvveti, N

Simgeler	Açıklama
AISI	Amerikan demir ve çelik enstitüsü
ASTM	Amerikan test ve malzemeler derneği
BUE	Yığılma kenar
BHN	Brinell sertlik numarası
CNC	Bilgisayarlı sayısal denetim
HSS	Yüksek hız çeliği
KOSGEB	Küçük ve orta ölçekli sanayi geliştirme ve destekleme idaresi başkanlığı

1. GİRİŞ

Gelişen teknoloji ve ürün yelpazesi ile birlikte malzeme çeşitliliği ve şekillendirilmesi alanlarında da gelişmeler dikkat çekmektedir. İhtiyaçlara en iyi şekilde çözüm sunmak için üretilen malzemelerin işlenebilirliği de büyük önem arz etmektedir. Çelik malzeme türlerin talaşlı üretim yöntemi ile işlenmesinde ise istenilen kalitede ürün elde edebilmek için bir çok etken bulunmaktadır. Kullanılan kesici takım özellikleri, soğutma sıvısı ve kesme hızı, ilerleme miktarı, talaş derinliği gibi kesme parametreleri işlenebilirliği etkileyen ana etkenlerdendir

Kullanımları giderek yaygınlaşan paslanmaz çeliklerin tüketimi, atık toplumlarda refah seviyesinin bir göstergesi sayılmaktadır. Dünyada yılda 20 milyon ton civarında paslanmaz çelik tüketilmektedir. Paslanmaz çelikler diğer çeliklere oranla fiyat bakımından daha pahalıdır, ancak bakımlarının ucuz ve kolay olması, uzun ömürlü olmaları, tümüyle geri kazanabilmeleri ve çevre dostu bir malzeme olmaları çok büyük avantajlar sağlar [1].

Paslanmaz çelikler, yüksek çekme mukavemetli, korozyon direnci yüksek, düşük ısı iletkenliğe sahip, yüksek miktarda krom-nikel içermesi ve molibden gibi mukavemeti artırıcı elementlerin bulunması işlenebilirliği olumsuz etkilemektedir. Ayrıca paslanmaz çeliklerin talaşlı imalatı sırasında pekleşme özelliği de işlenebilirliği olumsuz etkileyen faktörler arasındadır [2, 3].

Paslanmaz çeliğin değişik türleri bulunmaktadır. AISI 316 Ti östenitik paslanmaz çeliği; Kağıt, kimya, ilaç, boya ve vernik imalat tesisleri, sentetik reçine üretim üniteleri, lastik ve motor yakıtı endüstrisi, pompa ve kompresör parçaları, et işleme üniteleri, petrol ve doğal gaz üretim üniteleri, nükleer mühendislik ve yukarıda bahsettiğimiz çalışmada ortopedik uygulamalar gibi geniş bir kullanım alanına sahiptir [4].

Bu çalışmada, iç yapısı özelliklerinden dolayı işlenebilirliğinin zayıf olduğu kabul edilen AISI 316 Ti paslanmaz çeliği için işlenebilirlik deneyleri yapılmıştır.

Deneylerde farklı kesme parametreleri, farklı burun yarıçapına ve talaş kırıncısına sahip kaplamalı kesici takımlar kullanılmıştır. Üniversal torna tezgahında yapılan deneylerde kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü değerleri ölçülmüştür. Ölçülen kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü değerlerine yönelik grafikler oluşturularak yorumlanmaya çalışılmıştır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Geçmişten günümüze kadar çelik malzemelerin işlenebilirliği konularında bir çok çalışma yapılmıştır. Çelik malzemelerin işlenebilirliğini etkileyen bir çok etken vardır. Kullanılan takım tezgahı, kesici takım özellikleri, soğutma sıvısı ve kesme hızı, ilerleme miktarı, talaş derinliği gibi kesme parametreleri işlenebilirliği etkileyen ana etkenlerdendir.

İşlenebilirlik ile yapılan çalışmalarda kesici takım kaplaması üzerinde oldukça durulmuştur. PVD yöntemi kullanılarak TiC, TiN, TiAlN, Al₂O₃ kaplanmış takımlara yönelik araştırmalarda, TiAlN ile kaplanmış takımların en yüksek sıcaklık sertliğine sahip olduğu görülmüştür. TiAlN kesici takım kaplamasından sonra en yüksek sıcaklık sertliğine sahip kaplama türleri sırası ile TiC, Al₂O₃ ve TiN olarak belirlenmiştir [5-6]. TiAlN kaplı takım, Al₂O₃ ve TiCN kaplı takımlara göre daha az kesme kuvvetine sahip olduğu da yapılan bir başka çalışmada saplanmıştır [7]. TiC kaplamalı takımlarda, talaşın takıma yapışma eğiliminin çok düşük olması, düşük kesme kuvvetlerine neden olduğu yapılan çalışmalar sonucunda kanıtlanmıştır. Yapılan işlenebilirlik deneylerinde kaplamasız takımlar en yüksek yüzey pürüzlülüğü değerlerini verdiği belirlenmiştir [8]. Bununla birlikte TiN kaplı kesici takımlar Al₂O₃ kaplı kesici takımlara göre daha iyi yüzey pürüzlülüğü elde edilmiştir [9]. Farklı amaç ve malzemeler için çeşitli kaplamalar ile kaplanmış sementit karbür kesici takımlar kullanılarak yapılan bir çalışmada, Alüminyum oksidin (Al₂O₃) yüksek sıcaklıklarda aşınma direncinin yüksek olduğu, Titanyum nitrürün (TiN) ise sürtünme katsayısını azalttığı görülmüştür [10]. TiC/TiCN/TiN ve TiCN/TiC/Al₂O₃ ile kaplanmış takımlar ile yapılan bir çalışmada kesme kuvvetlerinin, TiC/TiCN/TiN ile kaplanmış kesici takımda daha düşük olduğu tespit edilmekle beraber bu farkın çok fazla olmadığı anlaşılmıştır [11]. Ayrıca bu çalışmada AISI 316 paslanmaz çeliğin işlenmesinde oluşan kesme kuvvetlerinin AISI 304 paslanmaz çeliğe göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Çelik malzemeyi oluşturan alışımlı elementleri üzerinde yapılan bir çalışmada [12], çeliğin işlenebilirlik özelliğini belirleyen en etkin elementin karbon olduğu

belirtilmiştir. Karbon elementinden sonra; Nikel (Ni), Cobalt (Co), Mangan (Ma), Vanadyum (V), Molibden (Mo), Niobyum (Nb), Tungsten ((W), Bakır (Cu) v.b. gelmektedir. İşlenebilirliği zorlaştıran elementlerin yanı sıra Kükürt (S), Fosfor (P) ve Kurşun (Pb) gibi elementler işlenebilirliği kolaylaştıran elementlerdir

Azot oranının araştırıldığı bir çalışmada [13] ise %0.91 ile %0.57 azot oranına sahip östenitik paslanmaz çeliklerin ortak kesme parametreleri kullanılarak eşit koşullarda, takım ömrü ve yüzey pürüzlülük değerlerini konu alan bir çalışma yapılmıştır. Araştırma sonucunda %0.91 azot içeren paslanmaz çelikte takım ömrü 30 dak iken, %0.57 oranında azot içeren paslanmaz çelikte takım ömrü 10 dak olarak ölçülmüş ve kesme hızı arttırıldıkça her iki malzemede de takım ömrünün azaldığı görülmüştür.

INCONEL 718 süper alışım malzemesinin işlenmesinde, kesme parametrelerinin, kesme kuvvetine etkilerinin incelendiği bir çalışmada [14], kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesme derinliğinin esas kesme kuvveti üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla nikel esaslı Inconel 718 süper alışımı; 1.2 mm burun yarıçapına sahip seramik kesici takımla bilgisayarlı sayısal denetimli (BSD) torna tezgahında, soğutma sıvısı kullanılmadan işlenmiştir. Kesme parametreleri olarak beş farklı kesme hızı (225, 300, 350, 400, 500 m/dak) ve beş farklı ilerleme miktarı (0.05, 0.075, 0.1, 0.125, 0.15 mm/dev) ile iki farklı talaş derinliği (1 mm, 2 mm) değerleri kullanılmıştır. Yapılan deneylerde kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesme derinliğine bağlı olarak 500 m/dak kesme hızı, 0.05 mm/dev ilerleme miktarı ve 1 mm kesme derinliğinde yapılan çalışmada en düşük kesme kuvveti 192 N, 225 m/dak kesme hızı, 0.15 mm/dev ilerleme hızı ve 2 mm kesme derinliğinde ise en yüksek kesme kuvveti 780 N olarak ölçülmüştür.

Dublex paslanmaz çeliklerin işlenebilirliği ile ilgili bir çalışmada [15], yüksek kesme kuvvetleri oluştuğu ve aşırı takım aşınmasının meydana geldiği görülmüştür. Kesme hızlarının artırılması ile yüzey pürüzlülük değerinin düştüğu saptanmıştır.

Östenitik paslanmaz çeliklerin işlenebilirliğini konu alan bir çalışmada [16], Östenitik paslanmaz çeliklerin düşük ısı iletkenliğine ve talaşlı imalat sırasında

pekleşme özelliğine sahip olması, sertleştirilmemiş karbon çeliklerine kıyasla yüksek enerji tüketimine neden olduğu gözlenmiştir. Aynı zamanda ısı iletkenliğinin düşük olması kesme işleminin gerçekleştiği bölgede yüksek sıcaklıkların meydana gelmesine ve bu sıcaklığın ikinci deformasyon bölgesinde difüzyon aşınmasına sebep olduğu belirtilmiştir.

İşleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada [17] deneyler, CNC torna ve freze tezgahında yapılmıştır. Deneylerde ilerleme miktarı, sabit tutulmuş ve kesme hızı artırıldığında yüzey pürüzlülüğü Ra'nın azaldığı görülmüştür. Kesme hızı sabit tutularak ilerleme miktarının artırıldığı deneylerde Ra'nın arttığı görülmüştür. İlerleme miktarının çok düşük olduğu durumlarda Ra pürüzlülük değerinin azalmasına karşın takım aşınması hızlanmıştır. Talaş derinliğinin artırılması durumunda ise yüzey pürüzlülüğünün arttığı belirtilmiştir. Kesici burun yarıçapının büyük tutulması da yüzey pürüzlülüğünü olumsuz etkilediği deneylerde gözlemlenmiş sonuçlar arasındadır.

AISI 01 soğuk iş takım çeliği ile yapılan bir çalışmada [18], kesme hızı ile ilerleme miktarını, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Yedi farklı kesme hızı (120, 160, 200, 240, 280, 320, 360 m/dak) ve dört farklı ilerleme miktarı (0.05, 0.1, 0.15, 0.2 mm/dev) kullanılarak yapılan çalışmada talaş derinliği (1 mm) sabit tutulmuştur. Deneyler sementit karbür kesici takım kullanılarak torna tezgahında yapılmıştır. Deneyler sonunda kesme hızının artması ile kesme kuvvetinin azaldığı görülmüştür. Aynı zamanda kesme hızında ki artış yüzey pürüzlülüğünü azaltmış ancak 280 m/dak'lık kesme hızından sonra tekrar artmaya başladığı görülmüştür. Kullanılan ilerleme miktarının tümünde en düşük yüzey pürüzlülüğü değeri 280 m/dak kesme hızında elde edilmiştir. Veriler ANOVA (Analysis of variance) analizi uygulanarak kesme hızı ve ilerleme miktarının yüzey pürüzlülüğüne etkilerini belirlenmişlerdir.

AISI 304 Östenitik paslanmaz çeliğinin tornalanması sırasında yüzey pürüzlülüğünün varyans analizi modellenmesi ve optimizasyonu için yapılmış çalışmada [19]; deney numuneleri 1050°C'de 60 dakika tavllanmış ve suda

soğutulmuştur. Daha sonra tavlanmış numuneler 700°C’de sırası ile 30, 90 ve 240 dakika bekletilmiş ve ardından oda sıcaklığında soğutulmuştur. Deneysel çalışmalar farklı kesme hızları, ilerleme miktarı ve bekleme süresi esas alınarak yapılmıştır. Tornalama işleminde yüzey pürüzlülüğünü için ölçüm, sinyal gürültü oranı ve varyans analizi yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda, yüzey pürüzlülüğüne etki eden en önemli faktörün ilerleme oranı, bekleme süresinin ikinci ve en az etkili olan parametrenin ise kesme hızı olduğu tespit edilmiştir. Aynı zamanda yüzey pürüzlülüğünü modellemek için doğrusal olmayan regresyon metodu da kullanılmıştır. Regresyon modelinin yüksek korelasyon katsayısının (0.95), gerçekleştirilen modelin yüzey pürüzlülüğünü modellemek için yeterli ve deneysel sonuçlar ile analiz sonuçlarının uyumlu olduğu görülmüştür.

AISI 304 östenitik paslanmaz çelik ile yapılan bir başka araştırmada [20], yüksek dayanıklılık, düşük ısı iletkenlik ve yüksek sünekliğin işlenebilirliği zorlaştıran nedenler olduğu belirtilmiştir. Deneyler ilerleme miktarı 0.24 mm/dev ve kesme hızları 120, 150, 180 ve 210 m/dak alınarak yapılmıştır. Yapılan çalışmada, belli bir değere kadar kesme hızının artması, takım aşınmasının azalmasına sebep olduğu ama bir noktadan sonra takım aşınmasının arttığı gözlemlenmiştir. En ideal kesme hızı 180 m/dak olarak belirlenmiştir. Düşük kesme hızlarında talaş ile malzeme arasındaki temasın fazla olduğu ve bu temasın sürtünme ile ısının artmasına neden olduğu belirtilmiştir.

AISI 304 östenitik paslanmaz çeliklerin kesme parametrelerine dayalı yüzey pürüzlülüğünün araştırıldığı bir çalışmada ise [21]; en yüksek yüzey kalitesinin elde edildiği parametrelerin, kesme hızı 75 m/ dak, ilerleme miktarı 0.15 mm/dev ve talaş derinliğinin 1.5 mm olduğu belirtilmiştir. En kötü yüzey kalitesinin ise, kesme hızının 50 m/dak, ilerleme miktarının 0.25 mm/dev ve talaş derinliğinin 2 mm olduğu sonucuna varılmıştır. Bu sonuçlardan da anlaşılabileceği gibi ilerlemenin ve talaş derinliğinin artması ile yüzey pürüzlülüğü de artmıştır. Yapılan çalışmada elde edilen önemli bir sonuç da, kesme hızı 50 m/dak’dan 75 m/dak’ya çıktığında yüzey pürüzlülüğü kalitesinin artmasına karşın, kesme hızı 75 m/dak’nın üzerine çıkıldıkça yüzey pürüzlülüğü kalitesinde azalma olduğu sonucuna varılmıştır. İlerleme

miktarının, istenilen yüzey kalitesini elde etmede kesme hızından daha etkili olduğu tespit edilmiştir.

AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin işlenebilirliğini araştıran bir diğer çalışmada da [22], deneyler talaş derinliği sabit tutularak (1.5 mm) üç farklı kesme hızı (120, 150, 180 m/dak) ve üç farklı ilerleme miktarı (0.20, 0.24, 0.3 mm/dev) kullanılmıştır. Deneyler soğutma sıvısı kullanılmadan kuru şartlarda yapılmıştır. Kesme hızının artması ile yanak aşınması değerin azaldığı ve yanak aşınması değerin en küçük olduğu kesme hızının 180 m/dak olduğu tespit edilmiştir. Kesme hızı 180m/dak olduğunda en düşük yüzey pürüzlülük değeri elde edilmiş ve en uygun kesme hızı olduğu sonucuna varılmıştır. Kesme kuvvetinin azaltılmasında ise en uygun kesme hızının 150 m/dak olduğu iddia edilmiştir. Kesme hızının 150 m/dak'dan 180 m/dak'ya çıkarıldığında kesme kuvvetinde fazla bir düşme görülmemiştir. İlerlemenin arttırılması da kesme bölgesindeki yükü arttırarak kesici takım aşınmasının artmasına neden olduğu ve en uygun ilerleme miktarının 0.24 mm/dev olduğu belirtilmiştir.

“AISI 304 östenitik paslanmaz çeliklerin tornalanması” [23] başlıklı bir çalışmada ise kesme hızı, ilerleme miktarı ve talaş derinliği değiştirilerek, bu parametrelerin yüzey pürüzlülüğü, takım yanak aşınması ve takım-talaş ara yüzey sıcaklığına etkileri araştırılmıştır. Deneyler sonunda; kesme hızının artması ile takım-talaş ara yüzey sıcaklığının ve takım yanak aşınmasının azaldığı, ilerleme miktarı ve talaş derinliğinin azalmasıyla yüzey pürüzlülüğünün iyileştiği sonucuna varılmıştır.

AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin işlenmesi sırasında oluşan ses bir bilgisayara kaydedilerek, farklı kesme hızları ve ilerleme miktarları arasındaki ses farkı belirlenmeye çalışılarak yapılan bir araştırmada [24], CNC torna tezgahında dört farklı kesme hızı (120, 135, 150, 180 m/dak) ve üç farklı ilerleme miktarı (0.2, 0.25, 0.3 mm/dev) kullanılmıştır. 165 m/min kesme hızı ve 0.25 mm/dev ilerleme miktarının en iyi sonucu verdiği ve tespit edilen sesin bu sonucu doğruladığı belirtilmiştir.

AISI 303 östenitik paslanmaz çeliklerin işlenebilirliği ve AISI 304 östenitik paslanmaz çeliklerle karşılaştırılmasını hedefleyen bir çalışmada [25-26]; Kesme hızının yüksek olmasının, titreşimin, ısının ve kesme kuvveti değerlerinin büyümesine neden olacağı belirtilmiştir. Kesme hızı 150 m/dak alındığında, kesme hızının 120 m/dak, 180 m/dak ve 210 m/dak alındığı deney aşamalarına göre kesme kuvvetinin düştüğü ve yüzey pürüzlülüğünün iyileşme gösterdiği tespit edilmiştir. Kesme hızının 180 m/dak ve 210 m/dak'ya çıkarıldıklarında titreşimin arttığı ve yüzey kalitesinin azaldığı gözlemlenmiştir. Yapılan çalışmalarda en iyi yüzey pürüzlülük değerinin ilerleme miktarının 0.2 mm/dev olduğunda elde edildiği belirtilmiştir. Kesme hızı artırıldıkça, kesme kuvvetinde düşüş görülmüş, buna karşın yüzey kalitesinde ve takım aşınmasında negatif etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. İlerleme miktarının artması, kesme kuvvetini artırdığı ve takım aşınmasını hızlandırdığı belirtilmiştir. AISI 304 ve AISI 303 paslanmaz çelikleri karşılaştırıldığında, AISI 304 ve AISI 303 östenitik paslanmaz çeliklerin C ve S elementlerindeki farklılık nedeni ile kesme kuvvetlerinde %19, yüzey pürüzlülük değerinde ise %51 artış olduğu gözlemlenmiştir.

AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğin işlenebilirliğini konu alan bir çalışmada [27], CVD ile kaplanmış TiN/TiCN/TiN, TiN/TiCN/ Al₂O₃ kesici takımlar ile PVD ile kaplanmış TiAlN kesici takımlar kullanılmıştır. Deneylerde soğutma sıvısı kullanılmamış ve AISI 316 paslanmaz çeliği freze tezgahında işlenmiştir. Deneylerde her kesici takım çeşidi için üç değişik kesme hızı (180, 225, 270 m/dak) ve üç değişik ilerleme miktarı (0.05, 0.1, 0.15, 0.33 mm/dev) kullanılarak talaş derinliği sabit tutulmuştur. Bu çalışmanın sonucunda; kesme hızının artması ile takım ömrünün ve yüzey pürüzlülüğünün azaldığı görülmüştür. İlerleme miktarındaki artış ile yüzey pürüzlülüğünde de bir artış gözlemlenmiştir. Takım aşınmasına en dayanıklı kaplamanın TiAlN olduğu ve bunu sırası ile TiN/TiCN/TiN, TiN/TiCN/ Al₂O₃ takip ettiği belirtilmiştir. Yine TiAlN kaplı kesici takımın yüzey pürüzlülüğü deneylerinde diğer kaplamalar göre daha iyi bir sonuç verdiği gözlemlenmiştir.

Östenitik paslanmaz çeliklerin işlenebilirliği ile yapılan çalışmalar incelendiğinde; İşlenebilirliği zorlaştıran unsurlar arasında, östenitik paslanmaz çeliklerin yüksek dayanıklılığı, düşük ısı iletkenliği ve yüksek sünekliğe sahip olması ana etkenler

olarak gösterilmiştir. Bu etkenler neticesinde paslanmaz çeliklerin işlenmesinde yüksek kesme kuvvetlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Yapılan çalışmalarda kesme hızının artırılması ile kesme kuvvetinin düştüğü, buna karşın yüzey pürüzlülük değerinin negatif etkilendiği anlaşılmaktadır. İlerleme miktarının artırılması da kesme kuvvetinde artışa neden olduğu ve yüzey pürüzlülüğünü de artırdığı incelemelerdeki ana sonuçlardandır. Talaş derinliğinin artması da kesme kuvvetlerinin ve yüzey pürüzlülüğünün artmasına neden olan önemli etkenlerden olduğu araştırılan çalışmalarda görülebilmektedir.

Yapılan literatür araştırmalarında genellikle östenitik paslanmaz çelikler üzerinde durulmaya çalışılmış ve AISI 316 Ti östenitik paslanmaz çeliklerin işlenebilirliği ile ilgili fazla bir bilgiye rastlanmamıştır. Tez çalışmasında deneylere başlamadan önce işlenebilirlik ile ilgili yapılan çalışmalar incelenerek öneriler dikkate alınmıştır.

Bu çalışmada, AISI 316 Ti paslanmaz çelik malzemesi, farklı burun yarıçapı ve desene sahip kaplamalı karbür kesici takımlarla universal torna tezgahında işlenmiştir. Yapılan bir çok deneyde farklı kesme parametreleri (kesme hızı ve ilerleme) kullanılmıştır. Yapılan deneylerde kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü ölçülmüştür. Elde edilen veriler değerlendirilerek, kesme parametrelerinin (kesme hızı ve ilerleme), kesici takım burun yarıçapı ve talaş kırıcı deseninin, 316 Ti paslanmaz çelik malzemesinin işlenmesinde, yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri üzerindeki etkileri incelenmiştir.

3. PASLANMAZ ÇELİKLER

Paslanmaz çeliği ilk olarak Harry Brearley, 1913 yılında tesadüfen keşfetmiştir. Tüfek namluları için çeşitli metalleri birleştirerek deneyler yaparken bazılarının paslanmaya karşı dirençli olduklarını görmüştür. Her büyük buluşta olduğu gibi o da paslanmaz çeliği sanayicilere kabul ettirmek için uzun bir uğraş vermiştir [4].

Paslanmaz çelikler mükemmel korozyon dayanımları yanında, değişik mekanik özelliklere sahip türlerinin bulunması, düşük ve yüksek sıcaklıklarda kullanılabilmesi, şekil verme kolaylığı, estetik görünümleri gibi özelliklere sahiptirler. Kullanımları giderek yaygınlaşan paslanmaz çeliklerin tüketimi, atık toplumlarda refah seviyesinin bir göstergesi sayılmaktadır. Dünyada yılda 20 milyon ton civarında paslanmaz çelik tüketilmektedir. Bunların büyük çoğunluğu yassı mamul biçimindedir. Daha az miktarlarda ise; çubuk, tel, boru, dövme parça ve döküm parça olarak kullanılmaktadır. Paslanmaz çelikler diğer çeliklere oranla daha pahalıdır, ancak bakımlarının ucuz ve kolay olması, uzun ömürlü olmaları, tümüyle geri kazanabilmeleri ve çevre dostu bir malzeme olmaları çok büyük avantajlar sağlamaktadır [28].

Paslanmaz çelikler; içerisinde en az % 10,5 oranında (ağırlıkça) krom (Cr) içeren demir esaslı alaşımlar olarak tanımlanırlar. Paslanmaz çelikler, yüksek korozyon dayanımı ve üstün mekanik özellikleri (çekme, darbe, aşınma dayanımı ve sertlik) açısından diğer metalik malzemelere göre üstünlük gösterir. Özellikle bu çeliklerin yüksek korozyon dayanımını sağlayan unsur; yüzeye kuvvetle tutunmuş, yoğun, sünek, çok ince ve saydam bir oksit tabakasının varlığıdır. Çok ince olan bu amorf tabaka sayesinde paslanmaz çelikler, kimyasal reaksiyonlarda pasif davranarak korozyona karşı dayanım kazanırlar. Söz konusu oksit tabakası, oksijen bulunan ortamlarda oluşur ve dış etkilerle (kesme, aşınma, talaşlı imalat, vb.) bozulsa dahi kendini onararak eski özelliğine tekrar kavuşur [28-29].

Krom miktarı yükseltilerek veya nikel ve molibden gibi alaşım elementleri katılarak korozyon dayanımı artırılabilir. Bunun dışında bakır, titanyum, alüminyum, silisyum,

niyobyum, azot, kükürt ve selenyum gibi bazı elementlerle alışımlama yapılarak ilave olumlu etkiler sağlanabilir [28].

3.1. Paslanmaz Çeliklerin Üstünlükleri

Korozyon dayanımı:

Bütün paslanmaz çeliklerin korozyon dayanımı yüksektir. Düşük alaşımlı türleri atmosferik korozyona, yüksek alaşımlı türleri ise asit, alkali çözeltileri ile klorür içeren ortamlara daha iyi dayanıklıdır. Bu çelikler ayrıca yüksek sıcaklık ve basınçlarda da kullanılabilir [28].

Yüksek ve düşük sıcaklıklar:

Bazı paslanmaz çelik türlerinde, yüksek sıcaklıklarda dahi mekanik dayanımında önemli bir düşme görülmez. Bazı türlerinde ise çok düşük sıcaklıklarda dahi gevrekleşmezler ve tokluklarını korurlar [28].

İmalat kolaylığı:

Paslanmaz çeliklerin hemen hepsi kesme, kaynak, sıcak ve soğuk şekillendirme ve talaşlı imalat işlemleri ile gerekli koşullar sağlanarak biçimlendirilebilirler.

Mekanik dayanım:

Paslanmaz çeliklerin büyük çoğunluğu soğuk şekillendirme ile pekleşir ve dayanımının artması sayesinde tasarımlarda malzeme kalınlıkları azaltılarak parça ağırlığı ve fiyatta önemli düşüşler sağlanabilir. Bazı türlerde ise ısıl işlemler ile malzemeye çok yüksek bir dayanım kazandırmak mümkündür [28].

Görünüm:

Paslanmaz çelikler çok farklı yüzey kalitelerinde temin edilebilirler. Bu yüzeylerin görünümü ve kalitesi, bakımı kolay olduğundan kolaylıkla uzun süreler korunabilir [28].

Hijyenik özellik:

Paslanmaz çeliklerin kolay temizlenebilir olması, bu malzemelerin hastahane, mutfak, gıda ve ilaç sanayinde yaygın olarak kullanılmasını sağlar [28].

Uzun ömür:

Paslanmaz çelikler dayanıklı ve bakımı kolay malzemeler olduklarından, üretilen parçanın tüm kullanım ömrü dikkate alındığında ekonomik malzemelerdir [28].

3.2. Paslanmaz Çeliklerin İç Yapıları

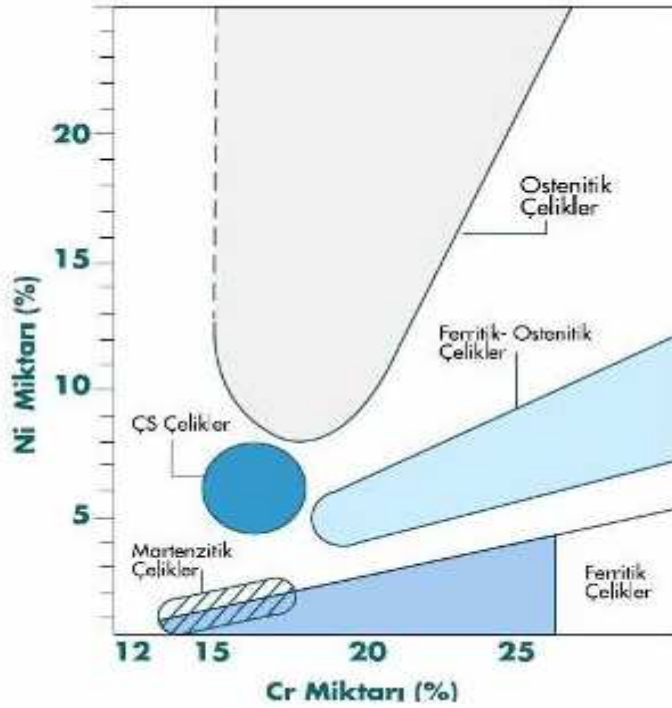
Paslanmaz çeliklerde karbon %0,02 ile 1 arasında olabilir, düşük karbon miktarları daha tipiktir, yüksek oranlar martenzitik çeliklerde söz konusudur. Çünkü bu paslanmaz çeliklerde karbonun varlığında krom karbür oluşur ve genellikle tane sınırlarında krom karbür olarak çökelir, bu nedenle kafes içinde çözünmüş krom miktarı %12'lik sınırın altına düşebilir ve malzemenin korozyona dayanıklılık özelliği kaybolur. Dolayısıyla çelik bileşimindeki karbon yüzdesi yükseldikçe; krom miktarı artırılmalı veya karbür yapma eğilimi kromdan fazla olan elementler katılarak krom karbürün meydana gelmesi ve kafeste çözünmüş kromun azalması engellenmelidir [30].

Paslanmaz çeliklerde kimyasal bileşimi belirleyen en önemli alaşım elementleri önem sırasına göre krom, nikel, molibden ve mangandır (Çizelge 3.1). Bunlardan öncelikle krom ve nikel içyapının ferritik veya ostenitik olmasını belirler. Schaeffler

diyagramı çeşitli paslanmaz kalitelerinin bileşim açısından yerini gösterir (Şekil 3.1) [30].

Çizelge 3.1. Paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri [31].

ASTM	EN Malzeme No	Kimyasal Bileşim, ağı, % max									
		C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	N	Diğer
Ferritik Paslanmaz Çelikler											
409	1,4512	0,08	1.0	1.00	0,045	0,03	10.5-11.75	-	-	-	(6 x C)Ti
430	1,4016	0,12	1.0	1.00	0,04	0,03	16.0-18.0	-	-	-	-
430Ti	-1,4500	0,1	1.0	1.00	0,04	0,03	16.0-19.5	0,75	-	-	(5 x C)Ti
439	1,4510	0,07	1.0	1.00	0,04	0,03	17.0-19.0	0,5			0.2+4(C+N)
Martenzitik Paslanmaz Çelikler											
410	1,4006	0,15	1.0	1.00	0,04	0,03	11.5-13.0	-	-	-	-
420	1,4021	0,15 min	1.0	1.00	0,04	0,03	12.0-14.0	-	-	-	-
440A	-	0.6-0.75	1.0	1.00	0,04	0,03	16.0-19.5	-	0.75	-	-
440C	1,4125	0.95-1.2	1.0	1.00	0,04	0,03	16.0-18.0	-	0.75	-	-
Duplex Paslanmaz Çelikler											
2205*)	1,4462	0,03	2.0	1.00	0,03	0,02	21.0-23.0	4.5-6.5	2.5-3.5	0.08-0.2	-
329	1,4460	0,20	1.0	0.75	0,04	0,03	23.0-28.0	2.5-5.0	1.0-2.0	-	-
Ostenitik Paslanmaz Çelikler											
201	1,4372	0,15	5,5-7,5	1,00	0,06	0,03	16,0-18,0	,05-5,5	-	0,25	-
301	1,4310	0,15	2,0	1,00	0,045	0,03	16,0-18,0	6,0-8,0	-	-	-
304	1,4301	0,08	2,0	1,00	0,045	0,03	18,0-20,0	8,0-10,5	-	-	-
304L	1,4306	0,03	2,0	1,00	0,045	0,03	18,0-20,0	8,0-12,0	-	-	-
304LN	1,4311	0,03	2,0	1,00	0,045	0,03	18,0-20,0	8,0-12,0	-	01,-0,16	
309	1,4828	0,20	2,00	1,00	0,045	0,03	22,0-24,0	12,0-15,0			
309S	1,4833	0,08	2,00	1,00	0,045	0,03	22,0-24,0	12,0-15,0			
310	1,4841	0,25	2,00	1,50	0,045	0,03	24,0-26,0	19,0-22,0			
310S	1,4845	0,08	2,00	1,50	0,045	0,03	24,0-26,0	19,0-22,0			
316	1,4401	0,08	2,00	1,00	0,045	0,03	16,0-18,0	10,0-14,0	2,0-3,0	-	-
316L	1,4404	0,03	2,00	1,00	0,045	0,03	16,0-18,0	10,0-14,0	2,0-3,0	-	-
316LN	1,4406	0,03	2,00	1,00	0,045	0,03	16,0-18,0	10,0-14,0	2,0-3,0	0,1-0,16	
316Ti	1,4571	0,08	2,00	1,00	0,045	0,03	16,0-18,0	10,0-14,0	2,0-3,0	-	5x(C+N)Ti
321	1,4541	0,08	2,00	1,00	0,045	0,03	17,0-19,0	9,0-12,0	-	-	(5xC)Ti
347	1,4550	0,08	2,00	1,00	0,045	0,03	17,0-19,0	9,0-13,0	-	-	(10xC)Nb
Çökeltme Sertleşme Uygulanabilir Paslanmaz Çelikler											
631	1,4568	0,09	1,00	1,00	0,04	0,04	16,0-18,0	6,5-7,5	-	-	0,75-1,5
632	1,4532	0,09	1,00	1,00	0,04	0,03	14,0-16,0	6,5-7,5	2,0-3,0	-	0,75-1,5



Şekil 3.1. Alaşım içeriği çelik karakteristiğini değiştirmek üzere uyarlanması [31].

3.3. Paslanmaz Çelik Türleri

Paslanmaz çeliklerde kimyasal bileşim değiştirilerek farklı özelliklerde alaşımlar elde edilir. Krom miktarı yükseltilerek veya nikel ve molibden gibi alaşım elementleri katılarak korozyon dayanımı artırılabilir. Bunun dışında bakır, titanyum, alüminyum, silisyum, niyobyum, azot, kükürt ve selenyum gibi bazı elementlerle alaşımlama ile ilave olumlu etkiler sağlanabilir. Bu şekilde makine tasarımcıları ve imalatçıları değişik kullanımlar için en uygun paslanmaz çeliği seçme şansına sahip olurlar [31]. Türlerine göre paslanmaz çelikler, 5 ana grupta toplanırlar:

- Ferritik
- Martenzitik
- Ostenitik
- Ferritik-Ostenitik (dubleks)
- Çökeltme sertleşmesi uygulanabilen alaşımlar.

Bu gruplandırma malzemelerin içyapısına göre yapılmıştır. Bu gruplar içinden yaygın olarak kullanılanlar ostenitik ve ferritik paslanmaz çelikler olup, bunların kullanımları tüm paslanmaz çelikler içinde %95'e ulaşır [31]. Dolayısı ile burada sadece ferritik ve östenitik paslanmaz çeliklere değinilecektir.

3.3.1. Ferritik paslanmaz çelikler

Bunlar düşük karbonlu ve %12 - 18 krom içeren paslanmaz çeliklerdir.

Başlıca özellikleri:

- Orta ila iyi derecede olan korozyon dayanımı, krom miktarının artması ile iyileşir.
- Isıl işlemle dayanım artırılmaz ve sadece tavlanmış durumda kullanılır.
- Manyetikler.
- Kaynak edilebilme kabiliyetleri düşüktür.
- Ostenitik çelikler kadar kolay şekillendirilemezler.

Bazı kullanım yerleri:

Mutfak gereçleri, dekoratif uygulamalar, otomobil şasi parçaları, egzost elemanları, sıcak su tankları.

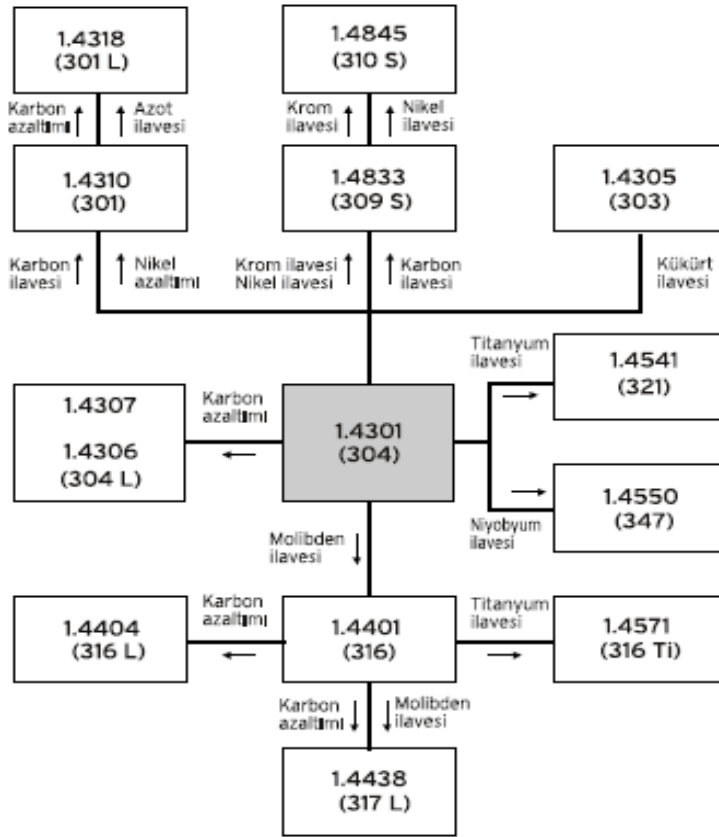
3.3.2. Ostenitik paslanmaz çelikler

Gerek kullanım, gerekse alaşım kalitelerinin çokluğu açısından en zengin grup ostenitik çeliklerdir. Manyetik olmayan bu çelikler hem oda sıcaklığında hem de yüksek sıcaklıklarda yüzey merkezle kübik kafese sahip ostenitik içyapılarını (Şekil 3.3) koruduklarından, normalleştirme ve sertleştirme ısıl işlemi yapılamaz. Tavlanmış halde süneklikleri, toklukları ve şekillendirilebilme kabiliyetleri düşük sıcaklıklarda bile mükemmeldir. Mukavemetleri ancak soğuk şekillendirme ile

artırılabilir. Ostenitik paslanmaz çelikler genellikle %16 ile %26 krom, %35'e kadar nikel ve %20'ye kadar mangan içerirler. Nikel ve mangan temel ostenit oluşturmalarıdır. 2XX serisinde, en çok %7 nikel, %5 ile %20 arasında mangan bulunur ve azotun ostenit içinde çözünürlüğü sayesinde dayanım artırılabilir. Katı çözültide bulunan kristal kusurların içine yerleşen azot, ostenit iç yapının mukavemetini artırır. 3XX serisi ise daha fazla nikel ve en çok %2 mangan içerir. 301 ve 304 kaliteleri en az alaşımlı olan türlerdir ve 3XX serisinin temel alaşımları olarak kabul edilirler [31].

Mükemmel şekillendirilebildiği, sünekliği ve yeterli korozyon dayanımı ile 304 kalite ostenitik çelik en yaygın olarak kullanılan paslanmaz çeliktir. Tavlanmış 3XX serisi çeliklerin akma dayanımı 200-275 MPa arasında iken yüksek azotlu 2XX serisinde akma dayanımı 500 MPa değerine kadar yükselir [31].

Bu çeliklerde korozyonu önlemek için gerekli olan kromun ferrit yapıcı etkisi, ostenit yapıcı alaşım elementleri katılarak giderilir (Şekil 3.2). 304 kalite çeliklere molibden katılarak 316 ve 317 kaliteleri üretilir ve klorürlü ortamda noktasal korozyona dayanım sağlanır. 309 ve 310 kaliteleri gibi yüksek kromlu alaşımlar yüksek sıcaklıklarda ve oksitleyici ortamlarda kullanılır. Yüksek oranda nikelli alaşımlar ise indirgeyici asidik ortamlarda tercih edilirler. Ancak bu amaçla, kuvvetli bir ostenit yapıcı olmasına karşın karbon miktarı artırılmaz, çünkü bu element karbür oluşturarak korozyon dayanımını zayıflatır. Bunun yerine aynı zamanda oksitleyici ve indirgeyici asitlere de dayanıklı olan nikelden yararlanılır. Yüksek oranda nikel, yaklaşık %6 azot ve %20 azot içeren alaşımlara süper ostenitikler de denir. 321 ve 347 kalitelerde karbonu stabilize etmek ve dolayısıyla yüksek sıcaklıkta taneler arası korozyonu önlemek amacıyla titanyum ve niyobyum eklenir. “L” ve “S” uzantılı alaşımlarda (304L, 309S gibi) taneler arası korozyonu önlemek için karbon oranını düşük tutma yoluna gidilmiştir [31].



Şekil 3.2. Östenitik paslanmaz çelik [30]

Östenitik paslanmaz çeliklerde mukavemeti artırmak için genellikle soğuk şekillendirmeden yararlanılır. Bu çeliklerde pekleşme, ferritiklerden daha fazladır. Bu arada şekil değiştirme martenziti de oluşabilir ve malzeme manyetiklik kazanır. Mukavemeti artırmak için bir diğer yol da alaşımlama yapmaktır. Bu açıdan karbon ve azot en etkili elementlerdir [31].

Kükürtsüz olan korozyif ortamlarda ostenitik çelikler, ferritiklerden daha iyi sonuç verirler. Molibden katılması ile organik ve çeşitli mineral asitlere karşı dayanımları artar. Tam ostenitik çelikler ısıya ve asitlere dayanıklı, yüksek sıcaklık özellikleri iyi olan malzemelerdir. Ancak sıcak yırtılma eğilimi gösterirler [31].

Ostenitik çelikler sünek ve toktur, ayrıca ısı etkisiyle sertleşmediklerinden, kaynak bağlantıları için uygundur, ancak ısınan ve soğuyan bölgede karbür çökmesi oluşmaması için stabilize edilmiş türleri seçilmelidir. Öte yandan ısı iletimleri düşük,

genleşmeleri yüksek olduğundan kaynakta çarpılmayı önlemek için ısı girdisi düşük tutulmalıdır [31].



Şekil 3.3. Östenitik çeliğin mikro yapısı [30]

Ostenit fazı içeren çeliklerde en büyük sorun, krom karbür çökmesidir. Kritik sıcaklıklar olarak nitelenen 400 ile 850°C arasında yüksek enerjili tane sınırları boyunca ayrılarak yan yana dizilen kromca zengin karbürler, malzemenin korozyif ortamlarda bulunması halinde taneler arası korozyona ve tane ayrılmasına yol açarlar. Bunun nedeni karbür bünyesine geçen krom nedeniyle, katı çözeltideki krom miktarının korozyona dayanıklılık sınırının ($< \%12$) altına düşmesidir. Bunu engellemek için;

- Çeliğe stabilizatörler katılarak, iç yapı kararlı hale getirilir. Bunlar, karbona ilgileri kromunkinden fazla olan titanyum, tantal ve niyobyum gibi elementlerdir. Bu sayede karbon, yüksek sıcaklıklarda dahi krom-karbür oluşturmayacak şekilde bağlanır [31].
- ELC (extra low carbon - çok düşük karbonlu) çelikler kullanılabilir. Östenitik çeliklerde 650°C sıcaklıkta çözünebilen karbon miktarı yaklaşık % 0.05'tir. Karbon miktarı bu değerden az olursa çözünen karbon, karbür oluşturamaz. Çözme tavlama uygulanabilir. 1050-1150°C arasında tavlayarak çökelmiş karbürler çözündürülür. Hızlı soğutularak yeniden çökeltme önlenir [31].

316 Ti östenitik paslanmaz çeliği

Tez çalışmasında deney malzemesi olan 316 Ti paslanmaz çeliği de yüksek korozyon özelliğine sahip iyi bir östenitik paslanmaz çeliğidir. 316 Ti paslanmaz çeliği 316 L kalite paslanmaz çeliğin modifiye edilmiş versiyodur. Krom karbür veya krom nitrür çökmesinin engelleyerek çeliğin korozyon duyarlılığı daha da azaltmak amacıyla titanyum ilave edilmektedir [32].

“Ortopedik uygulamalar için östenitik paslanmaz çeliklerin nitrasyonu” konulu bir çalışmada akışkan yatak fırınında düşük sıcaklık nitrasyonuna tabi tutulan 316 Ti kalite östenitik paslanmaz çeliğin yüzey karakteristikleri incelenmiştir. Uygulanan nitrasyon işlemi ile karbür ve/veya nitrür çökmesi olmadan yüzey S-fazı ile kaplanmış, yüzey sertliği 295 HV0,05’den 1690 HV0,05’ye artırılmıştır. Yüzey sertliğindeki artışa korozyon direncinde artış da eşlik etmiştir. Bu bulgular S-faz kaplamanın östenitik paslanmaz çelikler için çok faydalı bir yüzey işlemi olduğunu göstermektedir. Östenitik paslanmaz çelikten üretilen ortopedik implantların vücut içindeki hasar mekanizması çoğunlukla aşınma ve/veya korozyon olduğundan, S-fazı kaplamanın implantların vücut içinde kalma süresini önemli oranda artırabileceği sonucuna varılmıştır [32].

Çizelge 3.2. 316 Ti Mekanik özellikleri [28]

	%2 Akma Dayanımı (MPa)	%1 Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Kopma Uzaması (%)	Sertlik (Brinell)
Tavllanmış Durumda	En az 220	En az 270	540-700	>40	160-200
Soğuk İşlenmiş	500’e kadar		700’e kadar		200’e kadar
Yüksek Sıcaklık Özellikleri					
Sıcaklık (°C)	100	200	300	400	500
Elastiklik Modülü (GPa)	194	186	180	172	165
%2 Akma Dayanımı (MPa)	185	167	145	135	129
%1 Akma Dayanımı (MPa)	218	191	175	164	158
Isıl Genleşme Kat. (1/K)	16.5	17.5	18	18.5	19

AISI 316 Ti östenitik paslanmaz çeliği; Kağıt, kimya, ilaç, boya ve vernik imalat tesisleri, sentetik reçine üretim üniteleri, lastik ve motor yakıtı endüstrisi, pompa ve kompresör parçaları, et işleme üniteleri, petrol ve doğal gaz üretim üniteleri, nükleer mühendislik ve yukarıda bahsettiğimiz çalışmada ortopedik uygulamalar gibi geniş bir kullanım alanına sahiptir [28].

3.4. Paslanmaz Çeliklerde Talaşlı İmalat

Paslanmaz çeliklerin talaşlı imalatı, yüksek mukavemetleri, pekleşme özellikleri ve sünekliklerinden dolayı karbon çeliklerine oranla daha zordur (Çizelge 3.3'te 316 Ti paslanmaz çelik için imalat özellikleri verilmiştir). Türler arasında büyük farklılıklar bulunmakla beraber, daha yüksek güç, daha düşük kesme hızı ve daha kısa takım ömrü yanında, kesme sırasında ortaya çıkan yüzey kalitesi gibi sorunlar ve talaş yapışması (BUE) ortaya çıkabilmektedir. Paslanmaz çeliklerin kesme işleminde titreşimlerin önlenmesi için takım tezgahı ve kesici takımın rijitliği büyük önem taşır. Özellikle östenitik ve yüksek alaşımlı türlerde sert ve sürekli talaş oluştuğu için, talaş kırıcı takımlar tavsiye edilir. Çoğu uygulamada, aşınma dayanımları daha iyi olan karbürli kesici takımlar tercih edilir. Kesilmekte olan malzeme yüzeyinde oluşabilecek pekleşmenin önlenmesi için bazı hususlara dikkat etmek gerekir. Takımın kesme öncesinde yüzey üstünde hafif temas ile hareketi, yüzeyin hemen altındaki tabakada ezilmeye ve pekleşmeye, yüzeyin parlatılmasına ve takımın daha yüzeye dalmadan yanmasına yol açabilir. Ayrıca iş parçasında bir önceki işlem (şekillendirme veya talaşlı imalat) gelen sertleşmenin talaş kaldırmaya etkisi hesaba katılmalıdır.

Çizelge 3.3. 316 Ti İmalat özellikleri [28]

Tavlama	1030-1120 °C sıcaklık aralığında, her mm kalınlık için 5 dakika süre ile tutulur. Soğutma havada yapılır. 2 mm'den kalın ürünlerde soğutma suda yapılır. İşlem sonrası yüzeyde oluşan renk değişimleri veya tufal oluşumları kimyasal veya mekanik olarak giderilmez ise korozyon dayanımı olumsuz etkilenir.
Soğuk Şekillendirme	Bütün östenitik çelikler gibi 316 Ti paslanmaz çeliğin soğuk şekillendirme kabiliyeti mükemmeldir. %15'ten fazla şekillendirme yapıldığında tavlama gerekir.
Sıcak Şekillendirme	1150-800 °C sıcaklık aralığında yapılır ve havada soğutulur. İşlem sonrası yüzeyde oluşan renk değişimleri veya tufal oluşumları kimyasal veya mekanik olarak giderilmez ise korozyon dayanımı olumsuz etkilenir
Talaşlı İmalat	Karbon çeliklerine oranla işlenebilme kabiliyetleri düşüktür. İyi kalite yüksek hız çeliği veya karbür takımlar kullanılmalıdır. İşleme sırasında iyi soğutma gereklidir.
Kaynak Edilebilirlik	Gaz eritme kaynağı hariç bütün yöntemler kullanılabilir. Ara pasalarda sıcaklığın 150 °C'a düşmesi beklenmelidir. Kaynak sonrası tavlama gerekmez. Kaynak sonrası yüzeyde oluşan renk değişimleri veya tufal oluşumları kimyasal veya mekanik olarak giderilmez ise korozyon dayanımı olumsuz etkilenir

Kesme sırasında oluşabilecek pekleşme, karbon çeliklerinkine göre daha düşük ilerleme ve kesme hızları ile önlenabilir. Ostenitik çeliklerin işlenmesi malzemenin türüne göre büyük farklılıklar gösterir. En kolay talaş kaldırılabilen türler otomat çeliği sınıfında olanlardır. 304 ve 316 gibi ostenitik çelikler tavllanmış halde 540-700 MP'a çekme dayanımına sahiptir (Çizelge 3.2). Bu malzemelerde akma ile çekme dayanımları arasındaki büyük fark ve aradaki pekleşme sonucunda kesme zorlaşır. Alaşıma kükürt veya selenyum eklenmesi sonucu elde edilen 416, 430F ve 303 gibi otomat çeliklerinde talaşlı imalat, diğerlerine oranla çok daha kolay ve problemsizdir. Malzeme seçiminde imalatın yanında kullanım özellikleri de dikkate alınmalıdır. Korozyon dayanımı diğer paslanmazlara göre daha düşük olan otomat çelikleri, selenyumlu olan türler hariç soğuk kafa yığma gibi şekillendirme işlemlerine uygun değildir.

3.5. Dünyada ve Türkiye’de Paslanmaz Çelik

Geleceğin malzemesi olan paslanmaz çeliğin üretimi; ülke ekonomisinin büyütülmesi ve geliştirilmesi demir çelik sanayisine rekabet üstünlüğü kazandırılması, açısından kritik bir teknolojidir [33].

1950’li yılların başında 1 milyon ton civarında olan dünya paslanmaz çelik üretimi, 20. Yüzyılın sonunda 20 milyon tona ulaşmıştır. 2010 yılında dünya paslanmaz çelik üretiminin 30 milyon tona yükseleceği tahmin edilmektedir. Kişi başına paslanmaz çelik tüketimi, gelişmiş ülkelerde 6.5-7 Kilogram, ülkemizde ise 1.5 Kilogram civarındadır [34].

Uluslararası Paslanmaz Çelik Forumu, 19 Aralık 2007 tarihinde, Brüksel’de; 2006 yılının 3. çeyreğinde dünya paslanmaz ham çelik üretiminin 2005 yılına göre yüzde 30 civarında arttığını ve 7.1 milyon tona ulaştığını açıkladı. 2006 yılının ilk 9 ayında dünya paslanmaz çelik üretimi, önceki yıla göre %13 artarak 20.9 milyon ton oldu [35]. Paslanmaz çelik üretiminde bu yüksek artış paslanmaz üreten bütün ülkelerde gerçekleşti. Uluslararası Paslanmaz Çelik Forumu, bu artışın dünya ekonomisinin başarısından kaynaklandığını ifade ediyor. Kuzey yarımküredeki bir çok paslanmaz çelik üreticisi yüksek talebin etkisiyle durgunluk dönemini aştı. Üretici ve fabrikatörler hala 2005 yılında azalan stoklarını tamamlamaya devam ediyorlar [33].

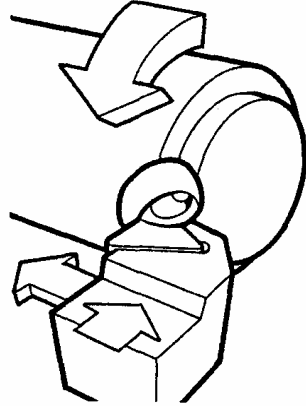
Asya, 2006 yılının ilk 9 ayında 10,9 milyon tonluk paslanmaz çelik üretimiyle en çok paslanmaz üretilen bölge oldu. Bu rakam, 2005 yılının aynı dönemine göre %15’lik üretim artısını ifade etmektedir. Çin, paslanmaz çelik üretiminde bir önceki yıla göre yüzde 50 artış sağladı ve açık farkla dünyada en çok paslanmaz çelik üreten, birinci ülke oldu. Batı Avrupa ve Afrika bölgesinde, aynı dönemde, paslanmaz çelik üretimi %11.2 artarak 7.4 milyon tona ulaştı. Paslanmaz çelik üretimi Amerika’da da belirgin bir şekilde arttı. Bölgedeki paslanmaz üretimi %10 artarak 2.3 milyon tona ulaştı. Rusya ve Ukrayna’da yüksek artışla paslanmaz çelik üretimi ilk 9 ayda bir önceki yıla göre %24 artarak 286 bin tona ulaştı [33].

4. TALAŞ KALDIRMAYA ETKİ EDEN FAKTÖRLER

İmalat endüstrisindeki yarış birçok şirketin ürünlerini daha kaliteli üretmeye ve üretim maliyetlerini azaltmaya zorlamaktadır. Geçmiş yüzyıl boyunca, üretimde sağlanan artışlar, yüksek teknoloji otomasyon, sayısal kontrollü (CNC) tezgahlar, esnek üretim sistemleri ve diğer yeni gelişmelerden kaynaklanmaktadır. Ancak, kullanılan ileri teknoloji CNC tezgahları ile hassas parçaların imalatı için; güvenilir ve yüksek randımanlı kesici takımlara ihtiyaç bulunmaktadır.

Kesme şartlarını iyileştirerek verimliliği arttırmak amacı ile kesici takım malzemelerini geliştirmek adına sürekli çalışmalar yapılmaktadır. Yüksek hız (HSS) çeliklerini sırasıyla, karbürler, sermetler ve seramikler takip etmektedir. Çok kristalli elmaslar ve çok kristalli kübik bor nitrür gibi verimliliği ve aşınma direnci yüksek kesici takımlar son yıllarda imalat sanayiinde geniş olarak uygulama alanı bulmaktadır. İşlenebilirliğin verimli olması için, üretim esnasında optimum işleme şartlarının da sağlanması gerekmektedir. Talaş kaldırmada üç önemli değişken; kesme hızı, ilerleme miktarı ve talaş derinliği takım ömrüne ve talaş kaldırma miktarına doğrudan etki etmektedir.

Talaş kaldırma işlemi, elastik ve plastik şekil değişikliğine dayanan, sürtünme ve ısı oluşumu, talaş oluşumu ve talaş kırılması, iş malzemesi yüzeyinin sertleştirilmesi, kesici takım ucunun aşınması ve kırılması gibi olayların meydana geldiği karmaşık bir fiziksel olaydır. Her hangi bir iş malzemesi yüzeyinden (Şekil 4.1), belirli miktarda ki bir talaşın kaldırılması için kesici takımın malzeme içine girerek batması gerekir. Talaş kaldırma işlemi içinde öncelikle kesici takımın, işlenecek iş parçasına göre sert, dayanıklı olması ve takımın malzemeye dalması için yeteri kadar bir kuvvet ile itilmesi veya hareket ettirilmesi gerekmektedir [36, 37, 38]. Bütün bunların belirli şartlara göre yapılması da uygun bir talaş kaldırma işlemini sağlar.



Şekil 4.1. Tornalama tek kesici takımın kullanıldığı bir işlemdir [38]

Bir talaş kaldırma işleminde, takım ucunun temas ettiği malzeme katmanında, önce elastik daha sonra da plastik şekil değişiklikleri oluşarak malzeme tabakasında akmlar başlar ve gerilmeler malzemenin kopma sınırını geçtiği anda, kopan talaş is parçası boyunca parçadan ayrılır. Talaşın parçadan ayrılış biçimi, parça malzemesinin mekanik özelliklerine ve kesme şartlarına bağlı olarak değişik bir şekilde gerçekleşir. Farklı talaş tipleri ve talaş oluşumu meydana gelir [36, 37].

Tornalama sürekli talaş kaldırma yönünden, talaş kaldırmayı en iyi şekilde karakterize etmektedir. Bu nedenle, talaş kaldırma işlemine etki eden faktörlerin bilinmesi ve birbirlerine etkilerinin dikkate alınması gereklidir. Bunların başlıcaları şöyle özetlenebilir [36]:

- Kesici takım ömrü,
- Kesme hızı, talaş derinliği ve ilerleme miktarı,
- Takım-iş parçası malzeme çifti,
- Takım burun yarıçapı,
- Soğutma sıvısı,
- Takım geometrisi
- Titreşim

4.1. Takım Ömrü

Kesme yapan kesicinin kesme özelliğini kaybedene kadar geçen süreye denir. Ancak takım ömrü, planyalama, vargelleme gibi işlemlerde işleme uzunluğu, delik delme de delme uzunluğu olarak belirtilirken, frezeleme işleminde ise kaldırılan talaş miktarına göre ifade edilir. Takım ömrünü belirleyen takım aşınması, aşınmaya etki eden takım malzemesi ve iş malzemesi, takım ve talaş geometrisi, kesme hızı, soğutma sıvısı gibi faktörlerden etkilenmektedir. Bunlardan en önemli faktör kesme hızıdır. Kesme işleminin iyileştirilmesi için, kesme hızı (V) ve takım ömrü (T) arasındaki ilişki önemlidir. Bu konudaki ilk çalışma Taylor tarafından yapılmış olup, aşağıdaki eşitlik (4.1) ile ifade edilmiştir [39].

$$V T^n = C \quad (4.1)$$

Bu eşitlikte de;

V : Kesme hızı (m/dak),

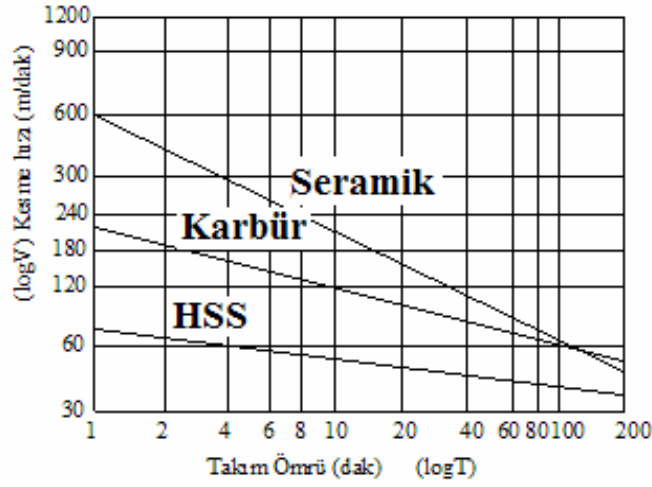
T : Takım ömrü (dak),

n : Takım veya iş parçası malzemesine bağlı bir değer,

C : İşleme değişkenlerine (takım veya iş parçası malzemesi, kesme sıvısı, kaldırılacak talaş kesiti vb. ortam koşulları) bağlı bir sabittir ve bir dakikalık takım ömrüne karşılık gelen kesme hızını ifade eder.

Şekil 4.2’de kesme hızına yönelik olarak bazı kesiciler için takım ömrü eğrileri verilmiştir. Verilen takım ömrü eğrisinin eğimi, n sabitinin elde edilmesinde kullanılır. Hesaplama için eşitlik 4.2 verilmiştir.

$$n = \tan \theta = \frac{\log V_2 - \log V_1}{\log T_1 - \log T_2} \quad (4.2)$$



Şekil 4.2. Kesme hızının değişik takım malzemeleri için takım ömür grafiği [39].

İşleme maliyeti hesaplanmasında takım ömrünün önemli bir yere sahip olduğundan, iş parçasından kaldırılan malzeme hacmine bağlı olarak elde edilen takım ömrü hem takım aşınması hem de işleme maliyetini belirlemede etkili bir rol oynamaktadır. İş parçasından kaldırılan malzeme hacmi bilinen verilerden kolaylıkla tayin edilebilir. Taylor'un takım ömrü eşitliği kesme derinliği ve ilerleme etkilerinin ilavesiyle aşağıdaki eşitlik 4.3'teki gibi yeniden yazılabilir.

$$T = CV^n f^m d^p \quad (4.3)$$

Bu eşitlikte de;

T : Takım ömrü (dak),

V : Kesme hızı (m/dak),

F : İlerleme miktarı (mm/dev),

d : Kesme derinliği (mm),

n, m, p : Yukarıdaki parametrelere ait üsleri,

C : Parametrelerin sisteme etkiye sabitesini göstermektedir.

4.2. Kesme Hızı, Talaş Derinliği ve İlerleme Miktarının Etkisi

Kesme hızı, kesme esnasında kesici takımın dönen iş parçası üzerinden dakikada metre cinsinden aldığı yol olarak ifade edilir. Talaş kaldırma esnasında verilmesi gereken kesme hızı aşağıdaki faktörlere bağlı olarak değişmektedir [40];

- İşlenecek malzeme,
- Kesici takım malzemesi,
- Talaş derinliği,
- İlerleme miktarı,
- Soğutma sıvısı,
- Tezgahın rijit olması ve tezgah tipi vb.

Tornalama işlemlerinde kesme hızı dış çapa göre verilir. Kesme hızı verilen eşitlik 4.4'teki gibi hesaplanabilir;

$$V = \pi.D.n / 1000 \text{ (m/dak)} \quad (4.4)$$

Bu eşitlikte:

D : işlenecek iş parçası çapı (mm)

n : tezgaha verilmesi gereken devir sayısı (dev/dak) olarak ifade edilir.

Uygun kesme hızının seçimi, optimum ve ideal kesme şartlarının belirlenmesinde önemli bir faktör olduğu açıktır. Kesme hızı oldukça düşükse çok az sayıda parça üretilecek, takım ucunda talaş sıvanması / yapışması meydana gelebilecek ve takım değişikliğine neden olacaktır. Eğer kesme hızı çok yüksekse, takım hızla bozulacak ve sıkça takım değişikliğine gidilecek. Bu nedenlerden dolayı herhangi bir talaş kaldırma işlemi için optimum kesme hızı, kesici takım ömrü ve talaş kaldırma miktarını dengeleyecek şekilde seçilmelidir [40].

İlerleme miktarı (mm/dev) takımın belirlenen yöne dakikada aldığı yol olarak belirtilebilir. İlerleme miktarı sadece yüzey pürüzlülüğünü değil talaş oluşumu ve kesme kuvvetlerininide etkiler.

Talaş kaldırma miktarı (TKM), bitirilmemiş iş parçasından kaldırılan malzeme miktarı olup, dakikada mm^3/dak veya cm^3/dak cinsinden ölçülür.

Bu üç değişkenden (kesme hızı, ilerleme miktarı ve talaş derinliği) herhangi biri değiştirildiği zaman bunun sonucu olarak TKM'da değişecektir. Örneğin. kesme hızı veya talaş derinliği %25 artırılırsa TKM da %25 artacak, fakat kesici takımın ömrü azalacaktır. Ancak, her bir değişkendeki bir değişiklik, kesici takım ömrüne farklı olarak etki edecektir [40].

Yapılacak işlem için kesme parametreleri belirlenirken, tavsiye edilen parametreleri dikkate alarak önce talaş derinliğine daha sonrada ilerlemeye en büyük değerlerin verilmesi uygun olacaktır. Kesme hızı ise işlenen malzeme ve tezgah dikkate alınarak kesici takım için tavsiye edilen değerlere göre tespit edilir [40]. Fakat Kesme hızı, aşağıdaki kriterlere göre de tercih edilebilir.

- Üretim süresinin minimuma indirilmesi,
- Kesici ömrünün maksimum yapılması,
- En küçük ölçüsel hassasiyetin sağlanması,
- En mükemmel yüzey pürüzlülüğünün elde edilmesi,
- Bir defada kaldırılacak talaş miktarının maksimum olması,
- Kesici kırılmalarının en aza indirilmesi,
- Kesintisiz en güzel işlemin oluşturulması,
- Tezgahta meydana gelebilecek aşınma ve titreşimlerin en aza indirilmesi,
- Birim maliyetinin minimuma indirilmesi.

4.2.1. Kesme parametrelerin takım ömrüne etkisi

İşlenebilirlikde en iyi talaş kaldırma işlemi için kesme hızı, talaş derinliği ve ilerleme miktarı değiştirilebilen parametrelerdir [39].

Kesme hızının ve ilerleme miktarının yüksek tutulması işleme zamanını azaltmasına karşın, takım ömrünü kısalttığından ekonomik değildir. Bu parametrelerin düşük tutulması da üretim hızının düşmesine neden olacaktır. Bu iki durumda imalatta istenilen bir özellik değildir. Bunun için optimum kesme parametreleri belirlemek imalatta önem arz etmektedir.

4.2.2. Kesme parametrelerin yüzey pürüzlülüğüne etkisi

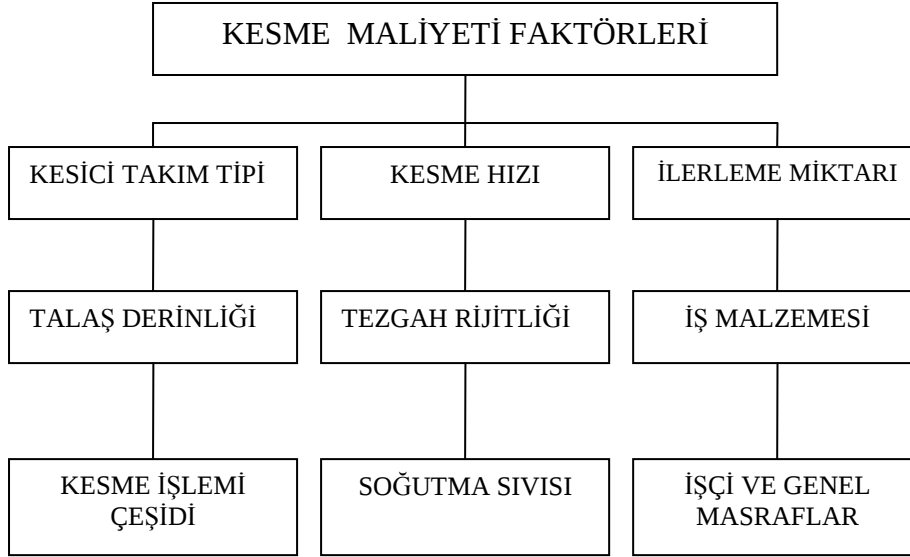
Yüzey pürüzlülüğüne etki eden önemli faktörler [40]: İlerleme, kesme hızı, talaş derinliği, kesici takım geometrisidir. Diğer faktörler ise;

- Kesici uç üzerine talaşın yapışması,
- Takım ve iş parçasının elastik deformasyonu,
- Takım ve iş parçası arasındaki titreşim,
- Kesme kenarının pürüzlülüğü, birinci ve ikinci kesici kenarda oluşan izler ve aşınma,
- İş parçasının talaş kaldırılan yüzeyinde 100 µm'luk derinlikteki fiziksel ve kimyasal özellikler,
- Talaşın plastik akışı.

4.3. Takım Malzemesi ve İş Parçası Malzemesinin Etkisi

Talaşlı imalat işlemlerinde kullanılan kesici takım seçimi yapılırken, en uygun maliyette optimum kesme işlemi gerçekleştirilmesine dikkat edilmelidir. Kesici takım talaş kaldırma miktarına etki eden en önemli faktördür. Kesici takımın kalitesi işlem kalitesi ve işleme zamanı ile direkt bağlantılıdır. Diğer taraftan kesici uç işleme

maliyetini belirleyen etkenlerdendir. Kesici takımdan başka işleme maliyetine etki eden bir çok faktör vardır (Şekil 4.3).



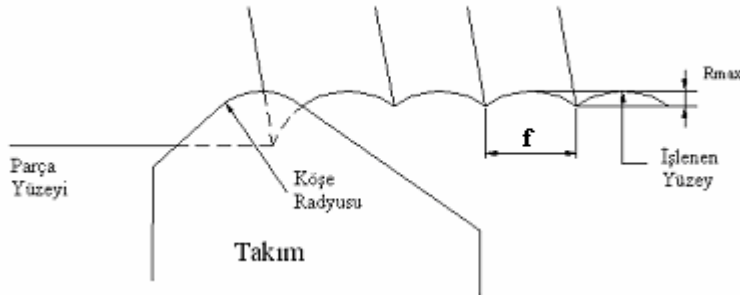
Şekil 4.3. Bir parçanın işlenme maliyetine etki eden faktörler

İş malzemesinde ise en önemli faktör işlenebilirliktir. Malzeme çeşidine göre işleme koşulları ve kullanılan kesici uçlar değişir. İşlenebilirliği düşük malzemeler talaş kaldırma işlemini zorlaştıracaktır. İşlenebilirliği yüksek iş malzemelerinde takım ömrü uzun ve daha düşük kesme kuvvetleri ile yüksek yüzey kaliteleri elde edilir.

4.4. Takım Burun Yarıçapının Etkisi (R)

Kesme işlemi üzerine takım burun yarıçapının önemli etkisi mevcuttur (Şekil 4.4). Ancak takım burun yarıçapının optimize edilmesi gerekir. Çünkü takım burun yarıçapı en az talaş derinliğini gösterir. Çünkü, burun yarıçapı büyükse, malzeme üzerine daha büyük kuvvetle bastırılmasını gerektirir. Kesici ucun daha fazla sürtünmesi ile iş parçası yüzeyini sertleştirir. Bunun sonucu olarak da takım ucunda daha çok ısı ile takım aşınmasını hızlandırır. Dolayısı ile körelen takım ile beraber kötü yüzey kalitesi elde edilir. Takım burun yarıçapı çok küçük ise o zaman takım

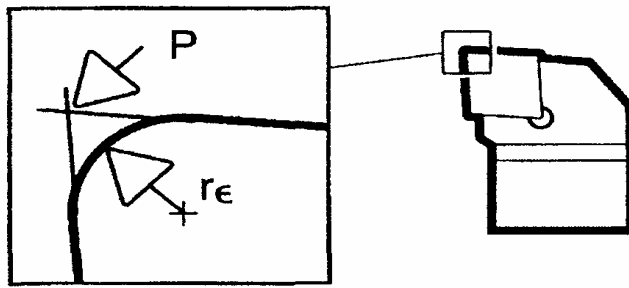
sadece kazıma işlemi yapacağından yine takım hızlı körelebilir ve yüzeyde çentik etkisi mevcut olabilir. Takım ucunun yarıçapı yüzey pürüzlülüğünü etkilediğinden dolayı takım ucunun yarıçapı dikkatli seçilmelidir [39].



Şekil 4.4. Takım ucunun etkisi

Pratikte imalatı yapılan kesici takımların uçları yuvarlatılmaktadır (Şekil 4.5). Kesici burun yarıçapı artırıldıkça yüzey pürüzlülük değeri azalacaktır. Fakat iş parçalarının son işlem pasolarında büyük burun yarıçapı değerine sahip kesici uçlar tercih edilmelidir.

4.5'te verilen eşitlikten de anlaşılabacağı gibi ilerleme miktarı ve burun yarıçapı yüzey pürüzlülüğünü etkileyen ana etkenlerdir.



Şekil 4.5. Kesici uç burun yarıçapı [38]

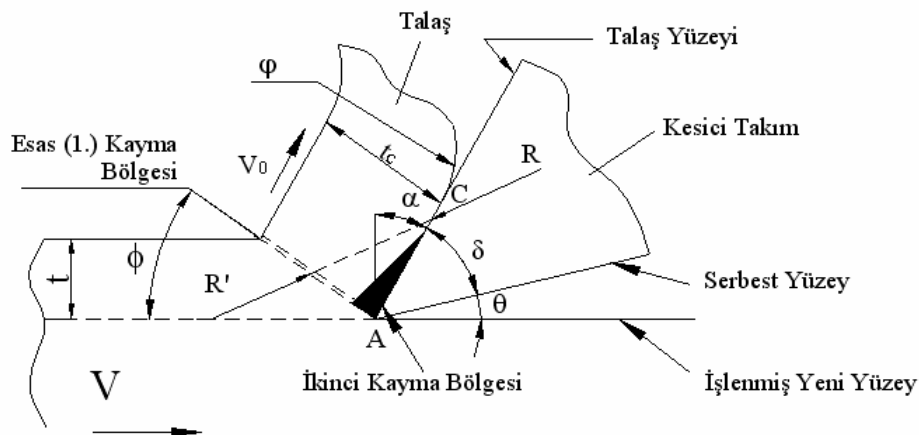
$$R_{\max} = \frac{f^2}{8r} \quad (4.5)$$

4.5. Soğutma Sıvısının Etkisi

Talaş kaldırarak işleme sırasında işlenen malzeme, kesici uç özellikleri ve kesme koşullarına vb. göre yapılan işin %90-95'i ısıya dönüşür. Kullanılan kesme hızı değerine göre oluşan ısıнын çoğu talaş ile atılmaktadır. Geri kalan ısı kesici takım ve iş parçasının sıcaklığını artırır. Bu ısıнын oranı kesici takımda %10-15 ve iş parçasında %5-10 olarak dağılır. İş parçası üzerinde ısıнын fazla olması genleşmelere neden olur. Isı iletimi düşük olan malzemeler işlenebilirliği zorlaştırmaktadır. Kesici takımda oluşan ısı kesici ucu deforme ederek ömrünü kısaltır. Kesici takım seçilirken, ısıyı kesici uç bölgesinden çabuk transfer edebilen kesici uçların seçilmesi dikkat edilecek unsurlar arasındadır. Termal şoklara duyarlı kesici takımlarda soğutma sıvısı kullanmak uygun olmayabilir. Kesici uç seçiminde bu özelliğinin de göz önünde bulundurulması gerekir.

4.6. Takım Geometrisinin Etkisi

Boşluk açısı (θ), kama açısı (δ) ve talaş açısı (α) gibi açılar kesici takım geometrisini oluşturan açılardır (Şekil 4.6). Kesicinin talaş kaldırması sırasında oluşan kayma açısı (ϕ) (kayma düzlemi ile takımın hareket yönü arasında meydana gelen açıdır) önemlidir. Çünkü kayma açısı değiştiği zaman talaş kalınlığı da değişmektedir [40].



Şekil 4.6. Talaşlı İşlem Temel Terminolojisi [39].

R : Bileşke Takım Kuvveti,	ϕ : Talaş Kıvrılma Yarıçapı,
R' : Bileşke Talaş Kuvveti,	Φ : Kayma Düzlemi Açısı,
V_0 : Talaş Hızı,	δ : Kama Açısı,
V : Kesme Hızı,	α : Talaş Açısı,
t_c : Talaş Kalınlığı,	θ : Boşluk Açısı
t : Deforme olmamış Talaş Kalınlığı,	

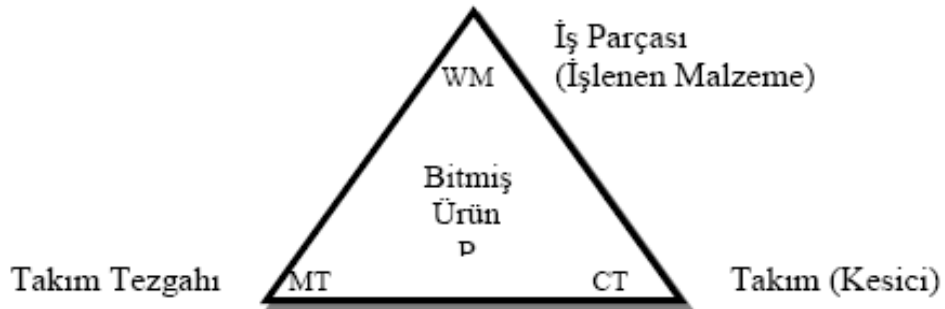
4.7. Titreşimin Etkisi

Titreşimin kesici takım ömrüne ve işlenen yüzey kalitesine, kesici takım ile iş parçası arasında sürekli oluşan bir relatif titreşimin mevcut olması nedeniyle, kötü etkisi vardır. Talaş kaldırma esnasında, genellikle, zorlanmış titreşim ve kendiliğinden doğan titreşim olmak üzere iki tür titreşim ortaya çıkmaktadır. Zorlanmış titreşim, tezgahın mekanik hareketlerinden dolayı ileri gelirken kendiliğinden doğan titreşim ise talaş kaldırma olayından dolayı meydana gelen titreşimdir. Genelde kendiliğinden doğan titreşim, kesme hızı arttığı zaman kesme kuvvetlerinin azalmasından kaynaklanmaktadır. Bu titreşimlerin en kötü hali ise, işlenen yüzeyde titreşimden doğan takım izleri bırakacak derecede büyük olan “tırlama” olarak adlandırılan titreşimin ortaya çıkmasıdır ki bu doğrudan yüzey pürüzlülüğüne olumsuz etki yapar. Talaş kaldırma esnasında oluşan bu olayı önlemek için aşağıdaki faktörler dikkate alınmalıdır [39].

- İş parçası bağlama mesafesi mümkün olduğunca en aza indirilmeli, iş parçası dengeli tespit edilmeli, ve kesici takım altına altlıklar konulmalı,
- Rijit tezgah ve takımlar kullanılmalı,
- Tezgahın hareket eden elemanlar arasındaki boşluklar en aza indirilmeli,
- Kesme şartları (kesme hızı, ilerleme miktarı ve talaş derinliği) optimize edilmeli, aşınma kriterine ulaşmış olan aşınmış bir takım ile talaş kaldırma işlemi devam ettirilmemelidir.

5. TEZGAH - KESİCİ - İŞ PARÇASI İLİŞKİSİ

İmalat usullerinden biri olan talaş kaldırmak, iş parçasının nihai şeklinin ham bir malzemenin bir kesici ile işlenerek istenilen ölçü ve şekle getirilmesidir. Talaş kaldırma işlemlerinde kullanılan değişik tezgâhlarda; tornalama, frezeleme, delik delme, taşlama vb. işlemler için bir kesici takım kullanılır. Ham parçadaki fazlalıklar, tezgâha bağlanmış kesici takım ile talaş kaldırarak alınır. Malzemeden talaş kaldırılması, kesici takım ucunun/kenarının iş parçası yüzeyine temas etmesi ve bu etki bölgesinde, tezgâhtan iş parçasına iletilmesi ile sağlanır. Bu sebeple tezgâh/kesici/iş parçası üçgeni arasındaki ilişki (Şekil 5.1) çok iyi kurulmalıdır. Böylelikle de kullanılan kesme parametreleri ile talaş kaldırma süresince meydana gelen sıcaklık, kesme kuvvetlerinin takım ömrüne etkisi en aza indirilebilir [41].



Şekil 5.1. Tezgah, kesici, iş parçası ilişkisi [39]

5.1. Tezgah

Çok geniş bir anlamda tüm üretim araçlarına takım tezgahı denilebilir. Ancak dar bir anlamda tüm üretim araçlarına sadece metal, plastik, ahşap ve taş gibi malzemeleri işleyen ve bunlara belirli bir şekil veren üretim araçlarına da takım tezgahı denilir. Takım tezgahlarından en yaygın olanları metalik malzemeleri işleyen takım tezgahlarıdır. Takım tezgahı torna tezgahları, seri imalatta yaygın olarak kullanılır [42].

5.1.1. Tornalama takım tezgahları

Parçaya kesici takım önünde dönme hareketi vererek talaş kaldırmaya tornalamak, bu işlemleri yapan tezgahlara da torna tezgahı denir. Üretim aracı olarak takım tezgahlarının kullanılması insanlık tarihi ile başlamıştır. Geliştirilen bütün torna tezgahlarının çalışma prensipleri aynı olmakla beraber, bugün çok daha modern torna tezgahları geliştirilmiştir. Bugüne kadar geliştirilen tezgahlar içerisinde en eski ve günümüzde de en çok kullanılan universal torna tezgahıdır. Torna tezgahlarının birçok çeşidi olmasına rağmen, burada sadece universal tezgahları hakkında bilgi verilecektir [42].

Üniversal torna tezgahı

Üniversal torna tezgahı, belli bir özel işleme amacı için değil de, genel kullanım amaçlı tasarlanmış tezgahlardır (Resim 5.1). Bu tezgahlarda kesici hareketleri operatör yardımı ile yapılmaktadır. Üniversal tornalar, CNC torna tezgahların yaygınlaşmasından önce imalat sanayisinde en çok tercih edilen tezgahlardan biriydi [42].

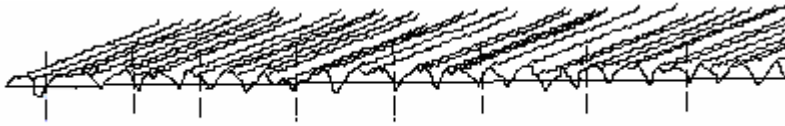


Resim 5.1. Üniversal torna tezgahı

6. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ

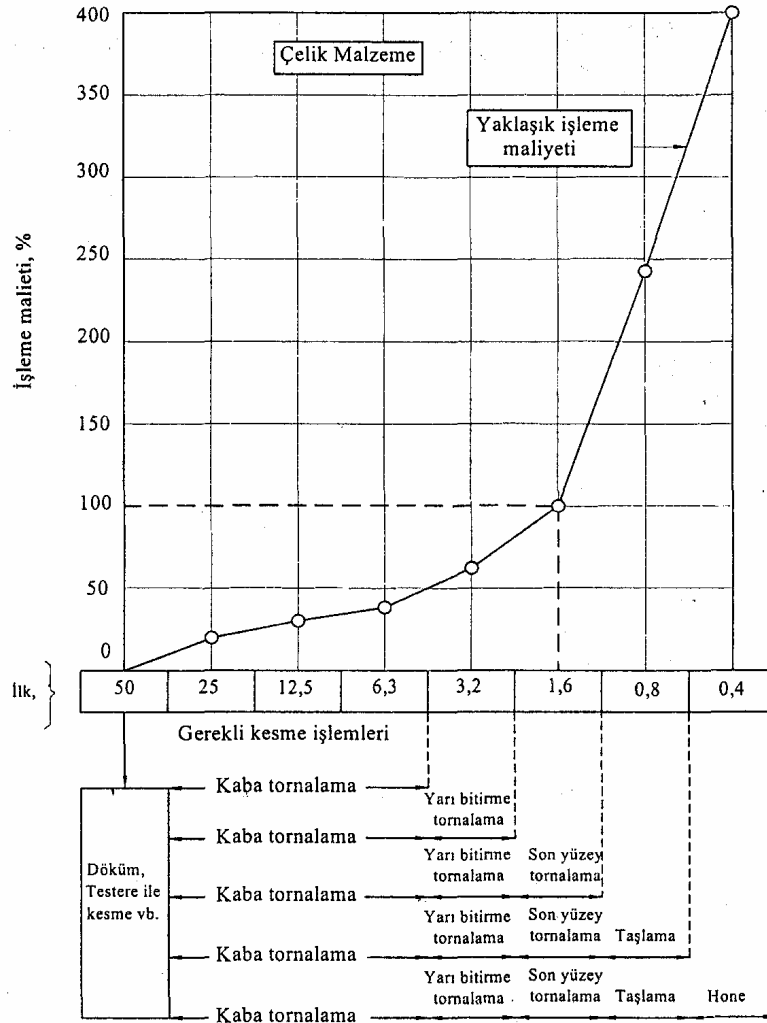
Yüzey pürüzlülüğü, iş parçasının işlenmesinde kesme parametreleri, iş parçası malzemesi, kullanılan takım tezgahı, kesici takım özellikleri vb. gibi etkenlerin neticesinde, malzeme yüzeyinin düzgünlüğünü ifade eder. İşlenen bir yüzeye çıplak gözle bakıldığında düzgün görünürken, mikroskop altında incelendiğinde Şekil 6.1’de ki gibi görünür.

İstenilen yüzeyi elde edebilmek için talaşlı imalat operasyonlarının optimum şartlarda olması gerekmektedir. Kesici takımlar ile yapılan talaş kaldırma işlemlerinde, yüzey pürüzlülüğü örneğin ilerleme miktarı ve takım burun yarıçapından çok etkilenmektedir. Tornalama işleminde iyi bir yüzey kalitesi için talaş derinliği ve ilerleme miktarının düşük tutulması istenir.[43].



Şekil 6.1. Yüzey pürüzlülüğünün üç boyutlu gösterilmesi ve yüzey pürüzlülüğü [43]

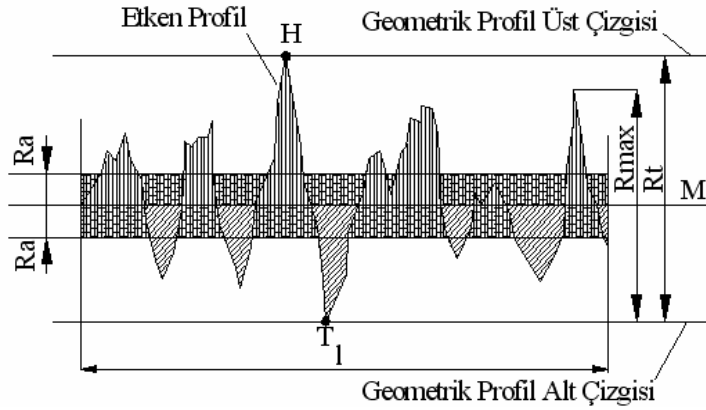
Makine parçalarının, çalışma özelliklerine göre görevlerini yerine getirmeleri için istenilen yüzey kalitesinde üretilmelidir. İstenilen yüzey kalitesine göre üretim maliyeti değişir (Şekil 6.2).



Şekil 6.2. Çelik malzemenin yüzey pürüzlülüğü ile işleme maliyeti ilişkisi [43]

Pürüzlülük değeri küçüldükçe üretim maliyeti artar. Kaba tornalamada maliyet %40-50 iken ince tornalamada %80-100 olmaktadır [43].

Yüzey pürüzlülüğünün belirlenmesine kullanılan bazı değerler bulunmaktadır. Şekil 6.3'de pürüzlülük için belirlenmiş ölçüm bilgileri görülmektedir.



Şekil 6.3. Yüzey Pürüzlülüğü Profili [43]

- R_t = Pürüzlülük Yüksekliği (μm)
- R_a = Ortalama Pürüzlülük Değeri (μm)
- R_{max} = En Büyük Pürüzlülük Derinliği (μm)
- L = Örnek Uzunluk (mm)

Yüzey kalitesini etkileyen faktörleri genel olarak sıralarsak,

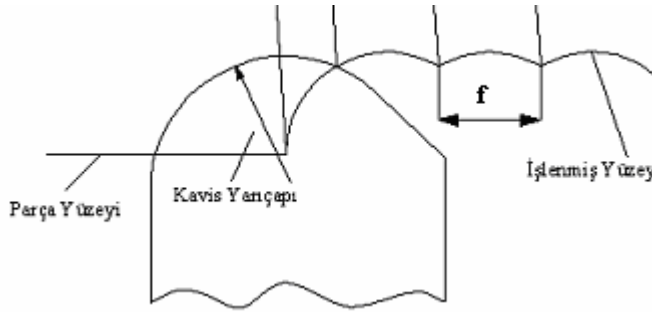
- Takım tezgahının rijitliği,
- Yataklama sisteminden kaynaklanan tezgah hataları,
- Takım tutucunun rijitliği,
- Takım konumlama ve bağlama hataları,
- Takım aşınmasından kaynaklanan hatalar,
- Çevrenin etkisi ile oluşan hatalar.

6.1. İdeal Yüzey Pürüzlülüğü

İdeal yüzey pürüzlülüğü, kesici takımdaki hatalar, vuruntular, kesici uçta oluşan malzeme sıvanması gibi etkenler azaltıldığında, verilen kesici biçimine ve ilerlemeye bağlı olarak mümkün olan en iyi bitirme yüzey değerini gösterir [44].

Sivri uçlu kesici takımlarla işlenmiş bir yüzeyde matematiksel pürüzlülük değerinin, ilerlemeye direkt olarak bağlı olduğunu gösterir. Genellikle prizmatik kesme takımlarının ucu yuvarlatılmış olarak hazırlanır (Şekil 6.4). Yüzey kalitesi aşağıda ifade edildiği gibi uç yarıçapına ve ilerlemeye bağlıdır.[44]. R burun yarıçapı olduğunda Ra pürüzlülük değeri pratik olarak eşitlik 6.1'deki gibi bulunur.

$$Ra = \frac{0,0321(f)}{R} \quad (6.1)$$



Şekil 6.4. Yuvarlatılmış uçlu kesici için yüzey pürüzlülüğü [44]

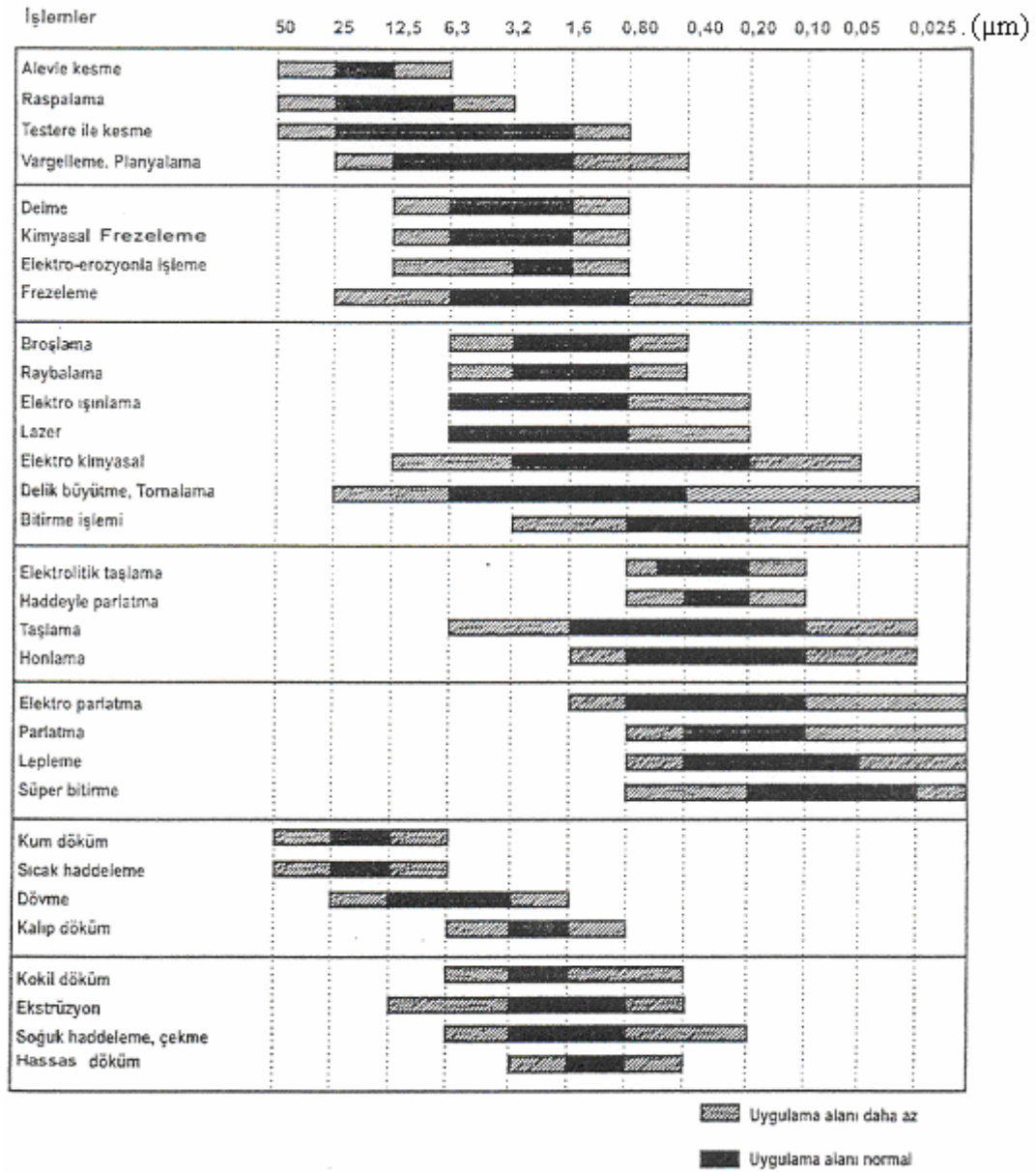
6.2. Gerçek Yüzey Pürüzlülüğü

Uygulamada, genellikle yukarıda tanımlanan ideal pürüzlülük şartlarına ulaşmak mümkün değildir. Normalde, gerçek pürüzlülükte en etkili pürüzlülük tipi gerçek yüzey pürüzlülüğüdür. Gerçek yüzey pürüzlülüğüne sebep olan en önemli faktörlerden biri yığma talaş oluşumudur. Yığma talaş devamlı iş parçasının yeni yüzeyine sürtünür. Talaş/takım sürtünmesini azaltan faktörler daha iyi bir yüzey kalitesinin elde edilmesini sağlar [44]. Bu faktörler:

- Kesme hızındaki değişiklik
- Yüksek hız çeliği yerine karbür takım seçme
- Kurşunlu veya kükürtlü otomat çeliklerinin kullanılması
- Yavaş kesme hızında, uygun kesme yağı kullanılmasıdır.

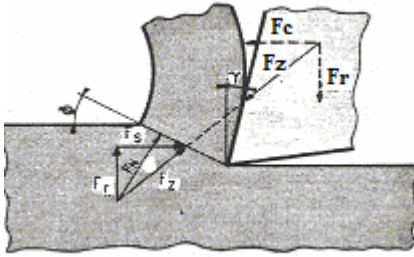
Örnek olarak imalat sanayisinde genel imalat metotları ile elde edilen yüzey pürüzlülük (Ra) değerleri Çizelge 6.1’ de gösterilmiştir.

Çizelge 6.1. Genel imalat yöntemleri ile oluşan yüzey pürüzlülük değerleri [44]



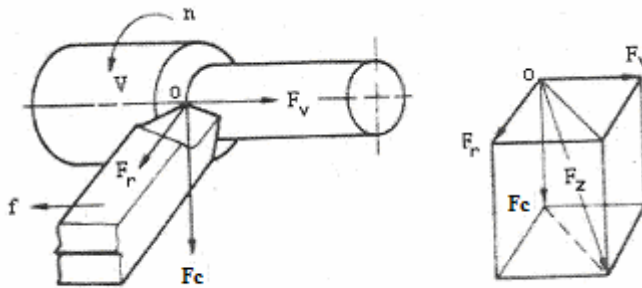
7. KESME KUVVETİ

Talaş kaldırma işleminde, kesici takıma karşı koyan kuvvetler oluşur (Şekil 7.1). Talaş kaldırma işlemi sırasında talaş kaldırma kuvveti oluşur. Talaş kaldırma kuvvetinin (F_z) üç bileşeni vardır [37, 40].



Şekil 7.1. Talaş kaldırma kuvvetleri [40]

Bu bileşenler; ilerleme (F_v) kuvveti, kesme (F_c) kuvveti, radyal (F_r) kuvvettir (Şekil 7.2) [40].



Şekil 7.2. Kesme kuvvetinin bileşenleri [40]

Talaş kaldırma kuvveti bileşenlerinden hesaplanarak bulunabilen tek kuvvet teğetsel (kesme kuvveti) kuvvettir. Teğetsel kuvvet (F_c) özgül kesme kuvveti (k_c) ile talaş kesit alanının (A) çarpımına eşittir (Eşitlik 7.1). Özgül kesme kuvveti herhangi bir talaş kaldırma işlemi için güç hesabında kullanılan önemli faktörlerden biridir. Bu kuvvet N/mm^2 cinsinden birim talaş kesit alanını kaldırmak için gerekli teğetsel

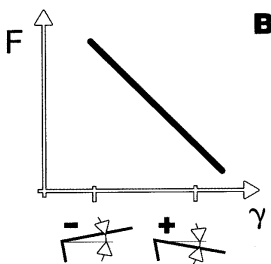
kuvvet olarak tanımlanır. Bu kuvvetin birim talaş hacminin kaldırılması için gerekli özgül enerji ile yakın ilişkisi vardır [40].

İşlenen malzemenin kopma mukavemeti arttıkça özgül kesme kuvveti artar, dolayısıyla işlenebilirlik azalır. Alüminyum alaşımları için k_c değeri 450 N/mm^2 iken daha zor işlenebilir paslanmaz çelikler için 1680 N/mm^2 dir. Kesme hızı arttıkça kesme sıcaklıkları artar, bunun sonucunda k_c değeri düşer [40].

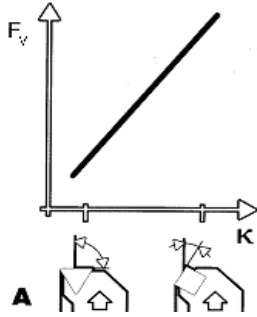
$$F_c = k_c \cdot A \quad (7.1)$$

En önemli faktörlerin kesme kuvveti üzerindeki etkileri şu şekilde özetlenebilir [40]:

- İş parçası malzemesini kopma mukavemeti büyüdükçe malzemenin işlenebilirliği azalır, özgül kesme kuvveti artar, teğetsel kuvvet dolayısıyla tüm kuvvet bileşenleri artar.
- Talaş açısının artması ile takımın kama açısı azalır (boşluk açısının sabit olduğu varsayılmaktadır). Bu ise daha sivri takım, parçaya daha rahat nüfuziyet, daha düşük kesme kuvvetleri demektir. Özgül kesme kuvveti ile talaş ve eğim açıları arasında ampirik bağıntılar mevcuttur (Şekil 7.3).
- Yanaşma açısının özellikle radyal ve eksenel kuvvetler üzerinde büyük etkisi vardır. Yanaşma açısı arttıkça ilerleme kuvvetinin artıp radyal kuvvetin azaldığı, yanaşma açısının azalması halinde ise tersi durumun söz konusu olduğu söylenebilir (Şekil 7.4).



Şekil 7.3. Kesme kuvveti-talaş açısı ilişkisi [40]



Şekil 7.4. Eksenel kuvvet-yanaşma açısı ilişkisi [40]

7.1. Dinamometre

Dinamometre, talaş kaldırma sırasında oluşan kesme kuvvetleri ve momentin ölçülmesinde kullanılan bir cihazdır. Dinamometre üzerinde uygulanan yükleri ve uygulama yönlerine göre belirleyerek sinyaller üretir.

Resim 7.1’de gösterilen dinamometre 4 bileşenli (F_x , F_y , F_z ve M_z) olup hassas ölçüm yapabilecek kapasitededir. Bu dinamometrenin kuvvet ölçme aralığı ve etki yönleri aşağıda verilmiştir.

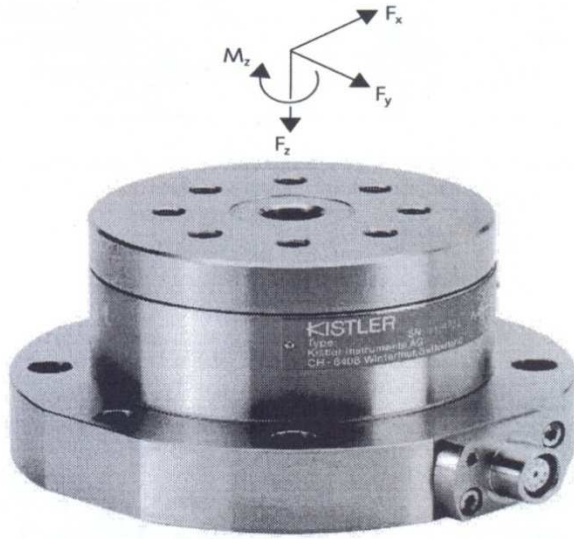
F_x	-5kN...	5 kN
F_y	-5kN...	5 kN
F_z	-5 kN...	20 kN
M_z	-200 Nm	200 Nm

Dinamometre ile ölçülebilen kuvvetler, Şekil 7.2’de verilen kuvvetlere ile karşılıkları aşağıda verildiği gibidir.

$$F_x = F_v$$

$$F_y = F_r$$

$$F_z = F_c$$



Resim 7.1. Deneylerde kullanılan dinamometre

Dinamometre ile ölçüm yapılırken, bazı donanımlara ihtiyaç duyulur. Bunlar;

- Veri alma ünitesi,
- Amplifier.

Veri alma ünitesi için alınan elektronik kart (data kartı) PCI olup çok kanaldan gelecek verileri alacak kapasitededir (Resim 7.2). Aynı zamanda veri alma ünitesi, dinamometrenin ölçtüğü kuvvetleri ve torku bilgisayara aktarılmasında görev yapmaktadır.



Resim 7.2. Veri alma kartı (data kart)

Amplifier, dinamometrenin ölçtüğü kuvvetleri ve torku veri alma ünitesi (PCI kart) tarafından alınabilecek hale dönüştürülmesinde görev yapmaktadır (Resim 7.3).



Resim 7.3. Dört kanaldan veri akışını düzenleyen amplifier

8. METERYAL VE METOT

Bu bölümde deneyde kullanılan malzeme, metod ve deney aşamaları yer almaktadır.

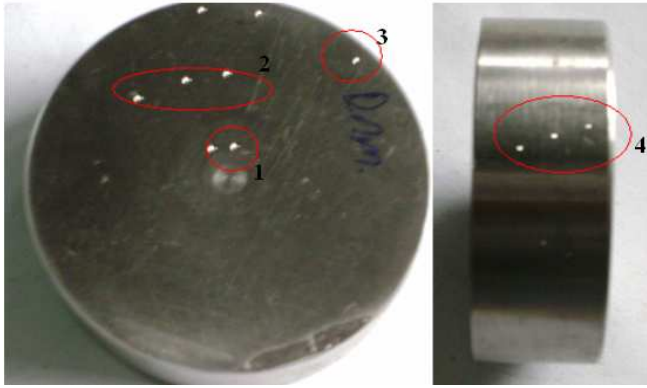
8.1. Deney Malzemesi

Deneylerde AISI 316 Ti östenitik paslanmaz çelik malzeme kullanılmıştır. Piyasadan normal olarak (ısıtıl işlem görmemiş) temin edilen malzemenin kimyasal ve mekanik özellikleri, KOSGEB laboratuvarlarında yaptırılan testlerle çıkarılmıştır. Malzemenin kimyasal bileşimleri Çizelge 8.1’de verilmiştir.

Çizelge 8.1. AISI 316 Ti Östenitik Paslanmaz Malzemenin Kimyasal Bileşimi

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Ti
0.02	1.778	0.497	0.035	0.019	16.74	10.92	2.150	0.536	0.318

Malzemenin sertliği, sertlik ölçümü cihazı ile belirlenmiştir. Sertlik ölçümü iş parçası malzemesinin merkezinden dışa doğru (belirli aralıklarla) ve en dış yüzeyinden olacak şekilde sertlik farkları tespit edilmiştir (Resim 8.1, Çizelge 8.2). İş parçasının merkezinden dış çapa doğru sertlik değerinin arttığı gözlenmiştir. Malzemenin en sert yerinin dış çap yüzeyinin olduğu ortaya çıkmıştır. Sertlik alınan bölgelerden; 4. Bölge malzemenin işlenmemiş dış yüzeyidir. 3. Bölge, malzemenin deneyler için işlenerek hazır hale getirilen çap olmaktadır.



Resim 8.1. 316 Ti malzemesi için yapılan sertlik ölçümleri

Çizelge 8.2. İş parçası sertlik değerleri

	1. Bölge	2. Bölge	3. Bölge	4. Bölge
Sertlik(BHN)	135	156	180	210

316 Ti malzemesinin mekaniksel özelliklerinin belirlenmesi için çekme testi olarak kullanılacak parçalar da hazırlanmıştır. Üç adet olarak hazırlanan çekme deney çubukları (ASTM standardı kullanılmıştır), KOSGEB laboratuvarında teste tabi tutulmuştur. Çekme deneyi sonucunda kopan deney çubukları test sonuçları Çizelge 8.3’de ve çekme testine tutulan bir numunede Resim 8.2’te verilmiştir



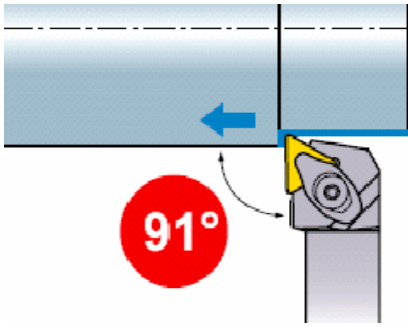
Resim 8.2. 316 Ti deney parçaları için yapılmış olan çekme deneyi

Çizelge 8.3. AISI 316 Ti Östenitik Paslanmaz Malzemenin Mekanik Özellikleri

Akma Dayanımı Kg/mm ²	Kopma Dayanımı Kg/mm ²	Kopma Uzunluğu %		Sertlik (BHN)	
		Min.	Max.	Min.	Max.
35.60	59.85	51.10	60.22	150.00	210

8.2. Kesici Takım ve Takım Tutucu

Deney numunelerinin işlenmesinde takım üreticisi Mitsubishi firmasının katoloğunda sert östenitik paslanmaz çelikler için önerilen kesici uç ve bu uçlara uygun bir takım tutucu kullanılmıştır. Kullanılan takım tutucunun iş parçası yaklaşma açısı 91° 'dir (Şekil 8.1).



Şekil 8.1. Takım tutucunun iş parçası ile yaptığı açı.

Deneylerde, üç farklı form (MA, MS, ES) ve iki farklı burun yarıçapı (0.4 mm, 0.8 mm) olan kaplamalı üçgen şeklinde kesici uçlar kullanılmıştır (Çizelge 8.4). Kullanılan kesici uçların talaş kaldırma işleminde her 3 köşesi ayrı ayrı kullanılabilir. Her bir deneyde, kesici uçun yeni bir köşesi kullanılarak kesicinin aşınmasından kaynaklanan etkileri giderilmiştir.

Resim 8.3'de kesici uçların universal torna tezgahına bağlanmasında kullanılan MT JNR2020K 16N takım tutucu görülmektedir.



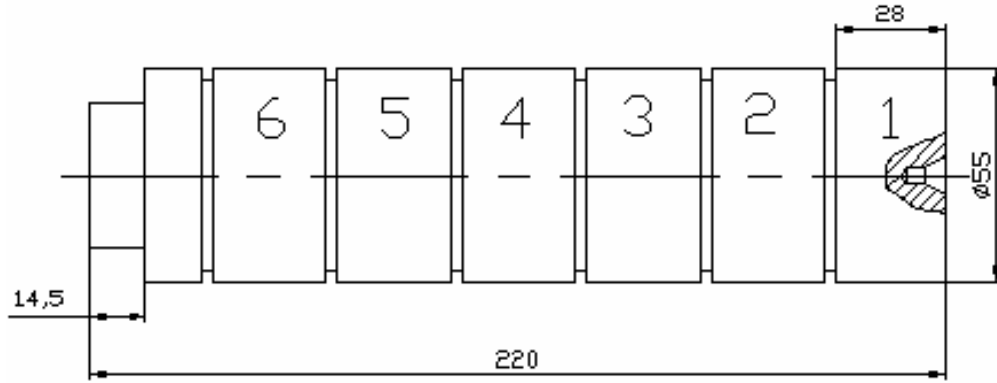
Resim 8.3. Takım tutucu

Çizelge 8.4. Kesici Takım Özellikleri

KOD	Form	Profil	Kalite	Kaplama	Burun Yarıçapı (mm)
TNMG160404R TNMG160408R	MA		US7020	TiCN-Al2O3-TiN	0.4 0.8
	MS				
	ES				

8.3. Deney Parçalarının Hazırlanması

Bu çalışmada, AISI 316 Ti östenitik paslanmaz çelik malzemeler piyasadan 55 mm çapında temin edilerek Şekil 8.2’de gösterilen ölçülerde işlenmiştir. Ölçüler, deney parçaları üzerinde 6 farklı parametrede deney yapılmasına olanak sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Şekil 8.2’de görülen her numaralı katman üzerine 1 deney yapılmış ve kullanılacak kesme hızlarına göre iş parçası çapları her deneyden önce Çizelge 8.5’de verilen ölçülere getirilmiştir. Çizelge 8.5’de verilen çap ölçüleri tezde verilen eşitlik 4.4’e göre hesaplanmıştır.



Şekil 8.2. Deney Numunelerinin Teknik Resmi

Çizelge 8.5. Kesme hızı ve kullanılacak devirlere göre iş parçası çapları

Kesme Hızı (m/dak)	Üniversal Torna Tezgahında Bulunan Devirler (dev/dak)	Deney Öncesi İş parçası Çapları (mm)
85	500	54.1
120	710	53.8
165	1000	52.5

Deney parçaları numarator kullanılarak numaralandırılmış ve böylelikle; her bir deney parçasının bir kimliğinin olması sağlanmıştır.

8.4. Deneylerin Yapılması ve Yöntem

Deneyler, “Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü, Talaşlı Üretim Ana Bilim Dalı” laboratuvarlarında yapılmıştır. Deneylerde kullanılan kesme parametrelerinin seçimi ISO 3685 (TS 10329)’a göre üretici firma verileri ve kullanılan takım tezgahı da dikkate alınarak belirlenmiş ve Çizelge 8.6.’de verilmiştir.

Çizelge 8.6. Deneyde kullanılacak kesici takım ve kesme parametreleri

Kesici Formu	Kesici Takım Burun Yarıçapı	Kesme Hızı (m/dak)	İlerleme (mm/dev)	Talaş Derinliği (mm)
MA	0.4 0.8	85	0.1	1.5
MS		120	0.20	
ES		165	0.4	

Çizelge 8.6’da görüldüğü gibi, bu çalışmada toplamda; $3 \times 2 \times 3 \times 3 \times 1 = 54$ adet deney yapılması gerekmiştir. Deneylerin güvenilirliği içinde, deneyler 2 (iki) kere tekrarlanmıştır.

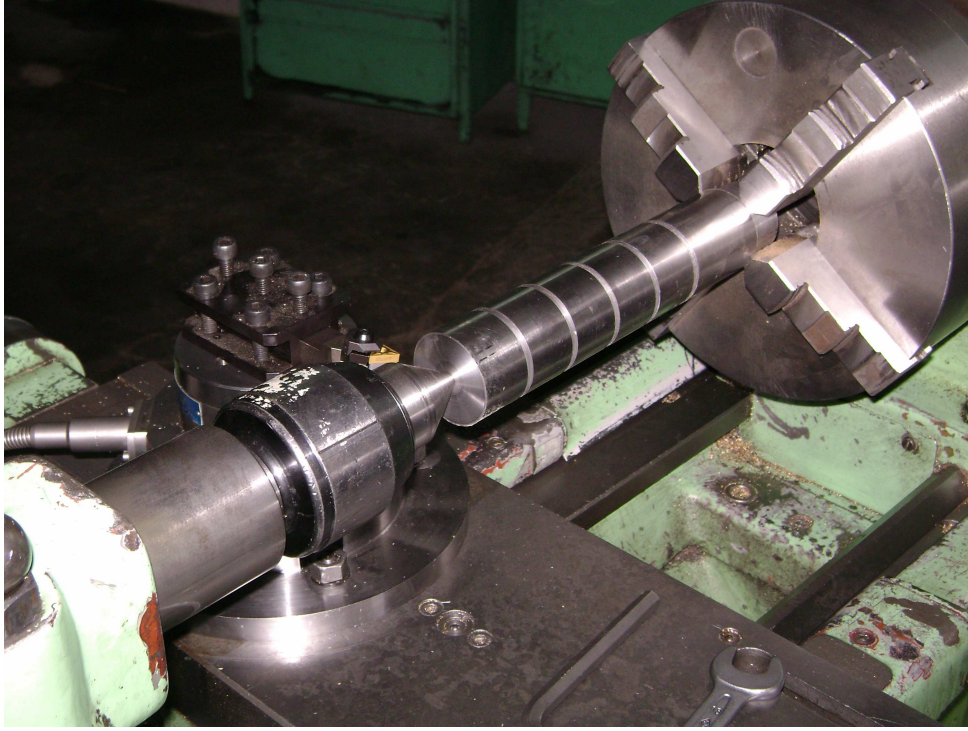
Deneylerde talaş derinliği 1.5 mm sabit tutulmuş, kesme hızlarının en düşük ve en yüksek değerleri ile bunların ortalaması alınarak üç farklı kesme hızı kullanılarak, kesme hızının kesme kuvvetine ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi incelenmiştir. Ayrıca her bir kesme hızında üç farklı ilerleme miktarı kullanılarak, ilerleme miktarı değişiminin kesme hızına bağlı olarak, kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi araştırılmıştır. İlerleme miktarı değerleri de kesme hızında olduğu gibi en düşük ve en yüksek değerleri ile bunların ortalaması esas alınarak belirlenmiştir.

Deneylerde kullanılan kesici takımlarda üç farklı kesici formu (MA, MS, ES) ve iki farklı burun yarıçapı (0.4, 0.8 mm) ayrı ayrı sabit tutularak, farklı kesme hızı ve ilerleme miktarları denenmiş ve en uygun sonuca ulaşılmaya çalışılmıştır.

Deneyler soğutma sıvısız olarak yapılmıştır. Deneyler sonunda farklı parametrelerdeki kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü incelenerek, AISI 316 Ti paslanmaz çeliğinin işlenmesindeki en uygun şartlar araştırılmıştır.

8.4.1. Deney parçalarının torna tezgahına bağlanması

Deney parçalarının universal torna tezgahına bağlamak için dört ayaklı bir ayna kullanılmıştır. Hazırlanan deney parçaları (Şekil 8.3) torna tezgahına Resim 8.4'de görüldüğü gibi ayna-punta arasında bağlanmıştır. Bağlanan parçalar üzerinden deney öncesi talaş kaldırılmıştır. Böylelikle bağlamadan kaynaklanabilecek salgı ve iş parçasının imalatından kaynaklan sert yüzey alınarak deney sonuçlarının en sağlıklı bir şekilde elde edilmesi sağlanmıştır.



Resim 8.4. Deney Numunelerinin Torna Tezgahına Bağlanması

Pratikte, iş parçasının aynaya her sökölüp takılmasında, iş parçası yüzeyinde bir miktar salgı oluşur. Bu nedenle, ayna-punta arasında bağlanarak salgısı giderilen iş parçası aynadan sökölmeden bir deney numunesi üzerinde 6 farklı deney yapılmıştır.

8.5. Kesme Kuvvetlerine Yönelik Deney Düzenəğinin Hazırlanması

Üniversal torna tezgahında 316 Ti paslanmaz çeliğinin işlenmesi sırasında meydana gelen kesme kuvvetlerinin ölçülmesinde Kistler'in 9272 kodlu dinamometresi ve ekipmanları kullanılmıştır (Şekil 8.3).

Kistler'in 9272 kodlu dinamometre ve ekipmanları daha önceden bir proje kapsamında okula kazandırılmıştır.

Kesme kuvvetleri için CNC Freze tezgahlarında kullanılmış olan dinamometrenin üniversal torna tezgahlarında kullanabilirliği araştırılmıştır. Bunun için Kistler firmasının ürün kataloğunda dinamometrelere ait bilgiler incelenmiş (Ek-3) ve dinamometrenin, tornalama işlemleri içinde kullanılabileceği görülmüştür. Dinamometrenin tornalama işlemlerinde kullanılması için Kistler'in ön gördüğü şartlara göre tezgaha montajı araştırılmıştır.

Dinamometrenin tornalama deneylerinde kullanılabilmesi için Kistler'in bu dinamometre için ürettiği özel takım tutucusunun (Şekil 8.4 Type 9404 olarak işaret edilmiştir) kullanılması gerekmiştir.

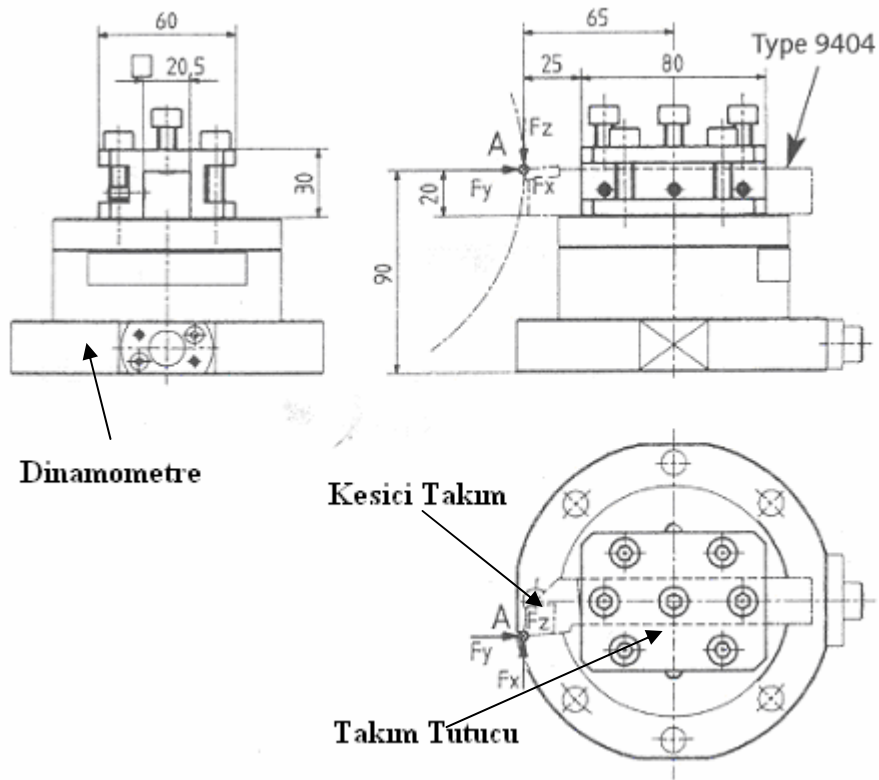


Şekil 8.3. Deney seti kurulumu

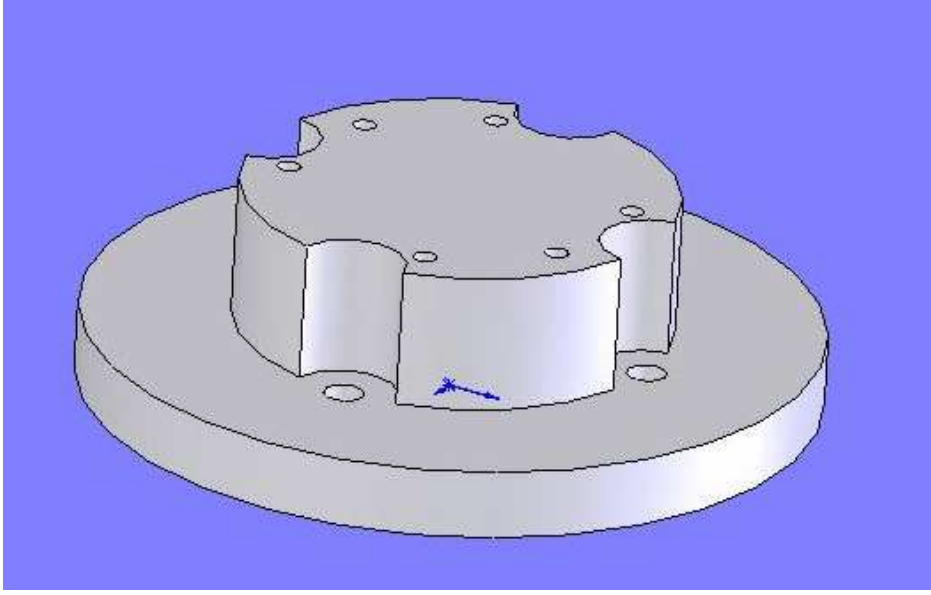
Deneyler, üniversal torna tezgahlarında yapılacağından mevcut deney düzenəğinin torna tezgahları için adapte edilmesi gerekmiştir. Bunun içinde dinamometrenin torna tezgahına bağlanabilmesinde bir bağlama aparatının tasarımına gidilmiştir.

8.5.1. Dinamometrenin torna tezgahına bağlanabilmesine yönelik bir bağlama aparatının tasarımı ve imalatı

Dinamometrenin universal torna tezgahının sportun olduğu yere bağlanmasına karar verilmiştir. Bağlama aparatının tasarımında, dinamometre kullanımına yönelik montaj ölçüleri için, Kistler'in ön gördüğü şartlar (Şekil 8.4) dikkate alınmıştır. Bağlama aparatının imalatında (Şekil 8.5) dinamometre üzerine bağlanacak kesici takımın, ayna/punta ekseninde konumlanabilmesine dikkat edilmiştir (Ek-1'de bağlama aparatının imalat resimleri verilmiştir).

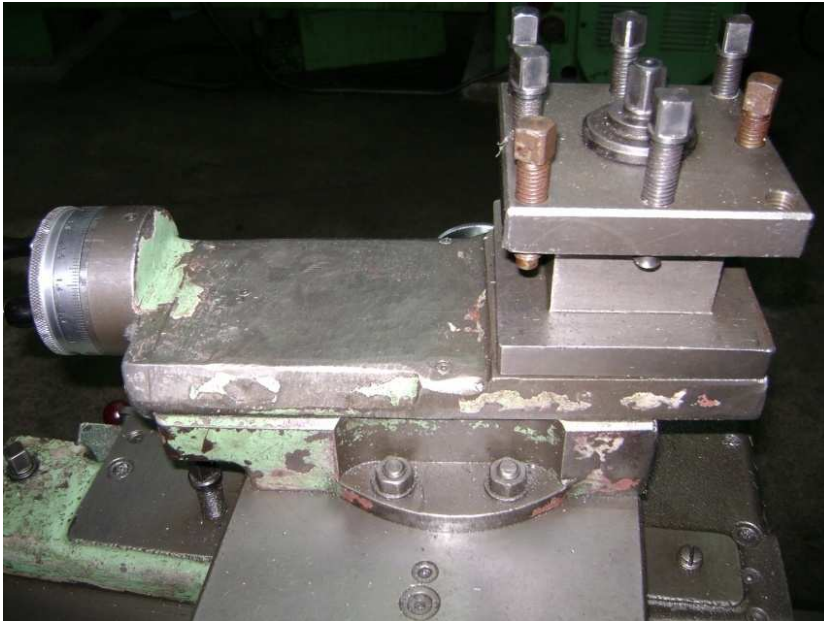


Şekil 8.4. Dinamometrenin tornalama deneyleri için öngörülen aparat ve montaj ölçüleri

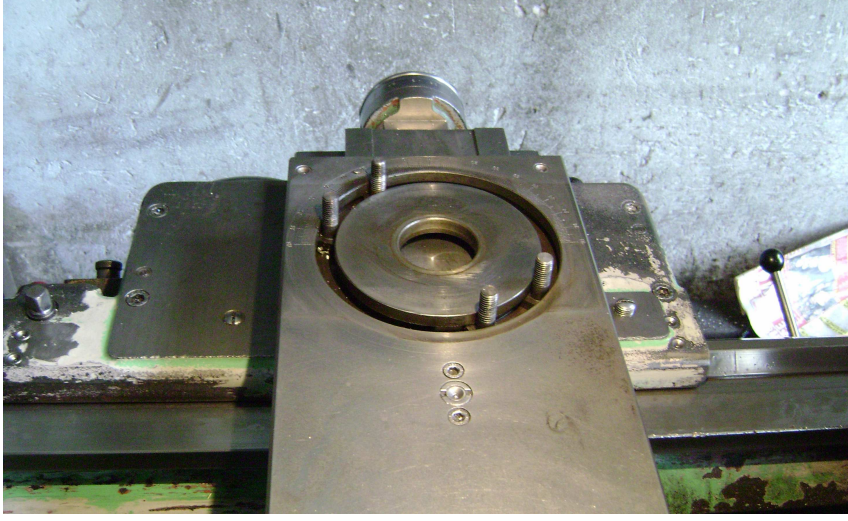


Şekil 8.5. Dinometrenin torna tezgahına bağlanabilmesi için imalatı yapılan bağlama aparatı

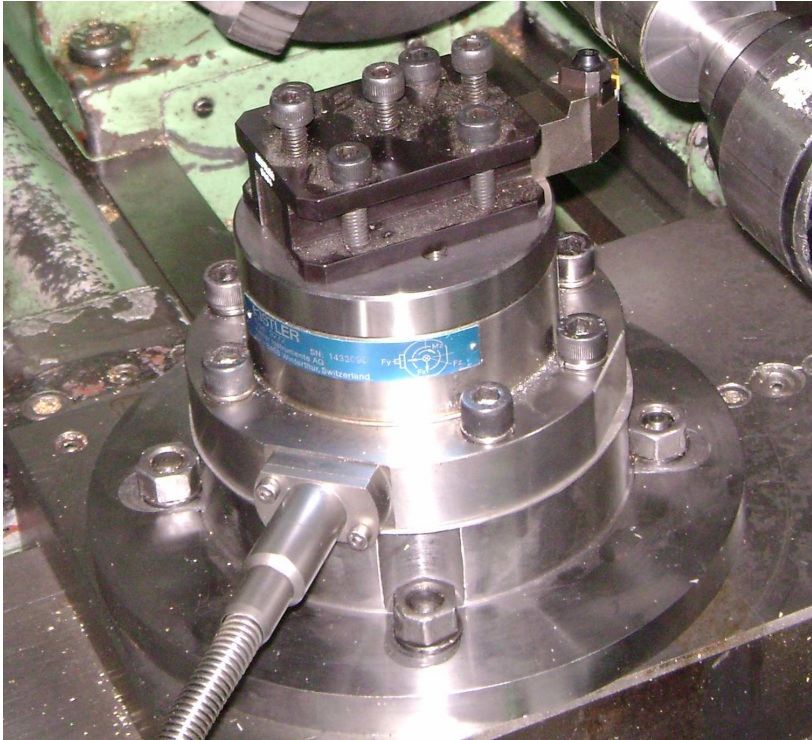
Dinamometrenin montajında, torna tezgahının sportu sökülüştür (Resim 8.5 ve Resim 8.6). Sonra sökülen yere bağlama aparatı bağlanmıştır. Bağlama aparatı üzerine dinamometre ve takım tutucusuda bağlanarak üniversal torna tezgahı deneyler için hazır hale getirilmiştir (Resim 8.7)



Resim 8.5. Üniversal torna tezgahın sportu ve kalemliği



Resim 8.6. Üniversal torna tezgahın sportunun sökülmesi

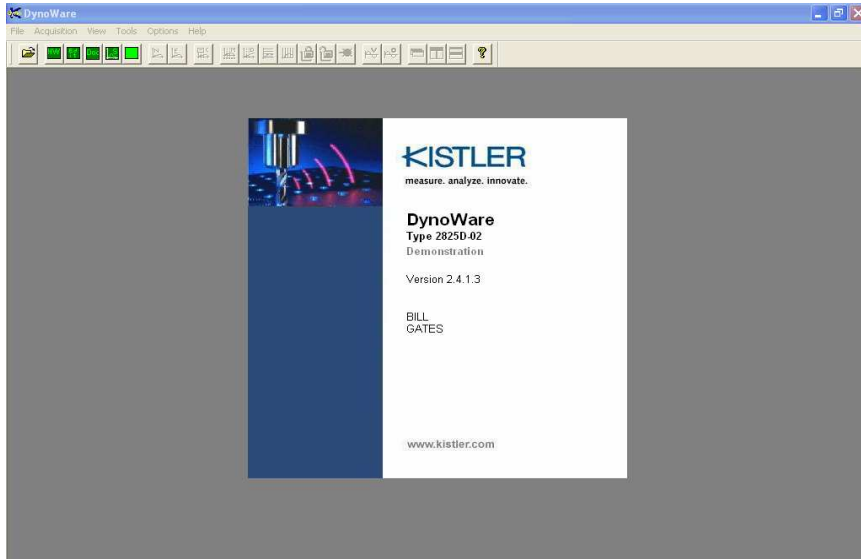


Resim 8.7. Dinometrenin torna tezgahına aparat ile bağlanması

8.5.2. Deney çalışmalarında kuvvet ölümleri için kullanılan bilgisayar programı

Üniversal torna tezgahında 316 Ti paslanmaz çeliğinin işlenmesi sırasında oluşan kesme kuvvetlerinin ölülmesinde deney setine özğü bir yazılım kullanılmıştır.

Deney setinin kendisine özğü olan DynoWare yazılımı; Kistler firmasının kuvvet ve yük ölümü için kendi lisansı ile çıkardığı bir programdır (Şekil 8.6).



Şekil 8.6. DynoWare programın ana açılış sayfasının görüntüsü

DynoWare programının ana sayfası açıldıktan sonra, üste bulunan araç çubuğ (toolbar) menüsünden gerekli ayarlamalar yapılarak program kullanılmaya başlanabilir .

DynoWare programı kullanılarak deneyler sırasında;

- F_x
- F_y
- F_z
- M_z

kuvvetleri ve momentin ölçülmesi sağlanmıştır. Deneyler yapılmadan önce dinamometre kalibre edilmiştir. Bunun içinde firma tarafından gönderilen dinamometre kalibre değerleri kullanılmıştır. Kalibre değerleri program içerisindeki “Hardware” sayfasına girilir (Şekil 8.7).

Hardware

A/D Board Multichannel Amplifier Type 5070 RS-232C - Setup Multicomponent Measurement

5070 version: 4-Channel Auto Detect 5070

Chan.	Label	Sensitivity	Unit	Measuring Range	Unit	Filter	Time Constant
1	F _x	7,693,000	pC/N	5,00,00	kN	1 kHz	Long
2	F _y	7,671,000	pC/N	2,00,00	kN	1 kHz	Long
3	F _z	3,606,000	pC/N	20,00,00	kN	1 kHz	Long
4	M	1,722,000	pC/Ncm	116,10,00	Nm	1 kHz	Long

Measure State

Measure Mode: On Start Acquisition

Measure Reset Send Parameters

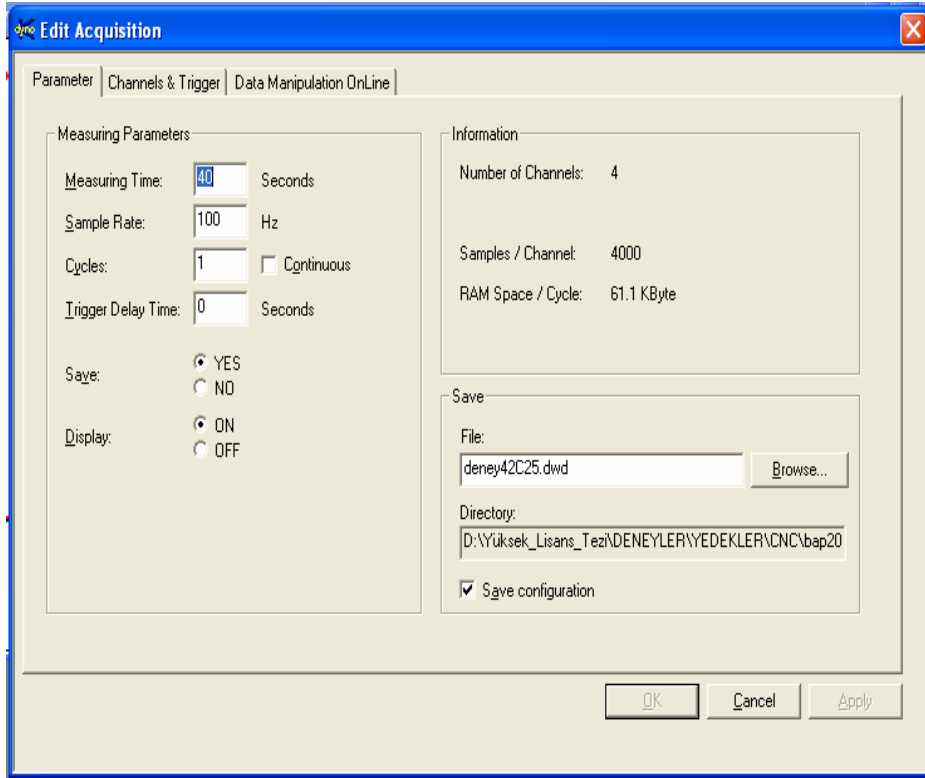
☒ Show Hardware Dialog between Acquisition Cycles

OK Cancel Apply

5019/5017 5011/5015 Others RCD 5223... RCD 5237... 5070...

Şekil 8.7. Dinamometrenin kalibre değerlerinin programa girilmesi

Kuvvet ölçümünde, DynoWare programı üzerinde bazı ayarların daha yapılması gerekmektedir. Bunun için programın “Edit Acquisition” sayfası kullanılmaktadır (Şekil 8.8). Bu sayfanın “Measuring Parameters” kısmındaki; ölçüm süresi (Measuring time), veri alma sayısı (Sample rates), deneylere yönelik olarak ayarlanmıştır. Bu çalışmada yürütülen deneylerde veri alma sayısı 100 Hz olarak ayarlanmıştır. Diğer bir deyişle; dinamometrenin her bir kanalından (F_x, F_y, F_z, M_z) 1 saniyede (sn) 100 veri alınmıştır. Veri alma sayısının daha büyük (örneğin 1 KHz: 1000 Hz) alınabilmesi mümkündür. Bu durumda, çok fazla veri toplanacağından büyük dosya boyutları oluşacaktır.



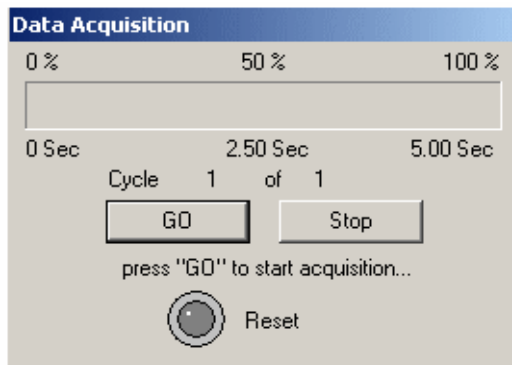
Şekil 8.8. Ölçüm yapma ayarları

Program içerisinde yapılan deneyle ilgili olarak; deney adı (dosya adı), kesme şartları, malzeme, vb. deney bilgilerin girileceği bir yer olan “Documentation” sayfası bulunmaktadır (Şekil 8.9). Deney kapsamında yapılan deneylerde; her bir deney için “deney” kelimesi, deney numarası (1) ve malzeme dosya adı olarak kullanılmıştır.

Şekil 8.9. Deney bilgilerinin girildiği program sayfası

Program; kuvvetlere (F_x , F_y , F_z , M_z) ait ölçülen değerleri an ve an (mili saniye) verilen dosya adı içersine yazmaktadır.

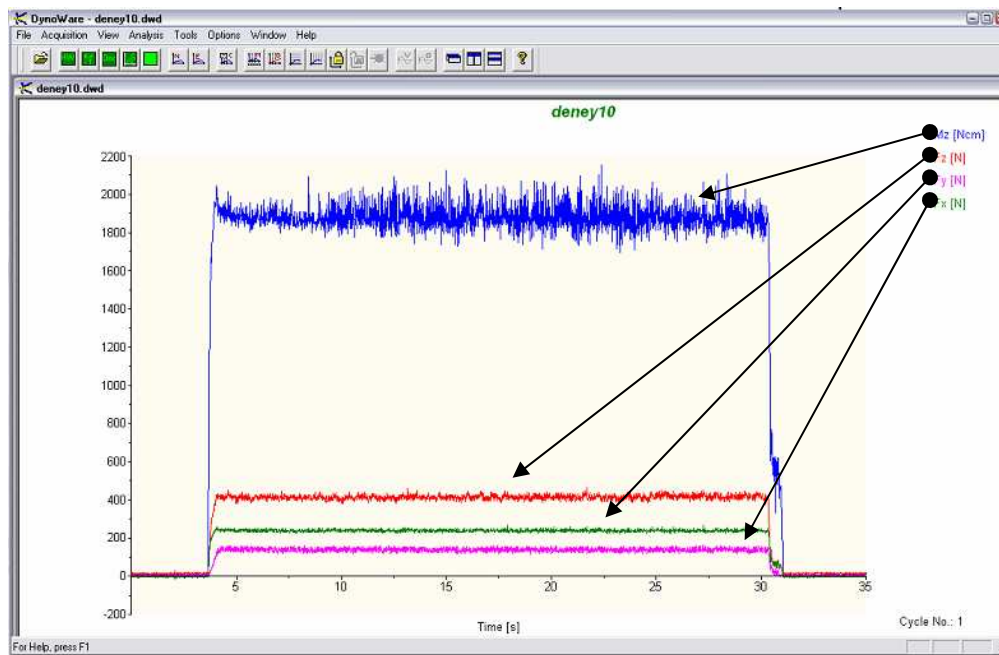
Bütün bu ayarlar yapıldıktan sonra ölçüm işlemini başlatmak için program menüsünden veya araç çubuğundan “Start Acquisition” tıklanır. Ekrana gelen “Data Acquisition” menüsünden kesici takım iş parçasına dalmaya başlamadan önce “GO” butonuna tıklanır (Şekil 8.10). Böylelikle yapılan deney için ölçüm başlatılmış olur.



Şekil 8.10. Programı başlatma menüsü

8.5.3 Kesme kuvvetlerini grafik üzerinden çıkartılması

DynoWare programı, zamana bağlı olarak meydana gelen kuvvet değişimlerini grafikler üzerinde gösterebilmektedir (Şekil 8.11). Verilen grafikler üzerinde kuvvet değişimlerine yönelik analizler kolaylıkla yapabilmektedir. Programın bu yönde “Analysis” menüsü bulunmaktadır. Bu menü altında “Cursor Tool” ve “Mean Value” olmak üzere iki seçeneği vardır.

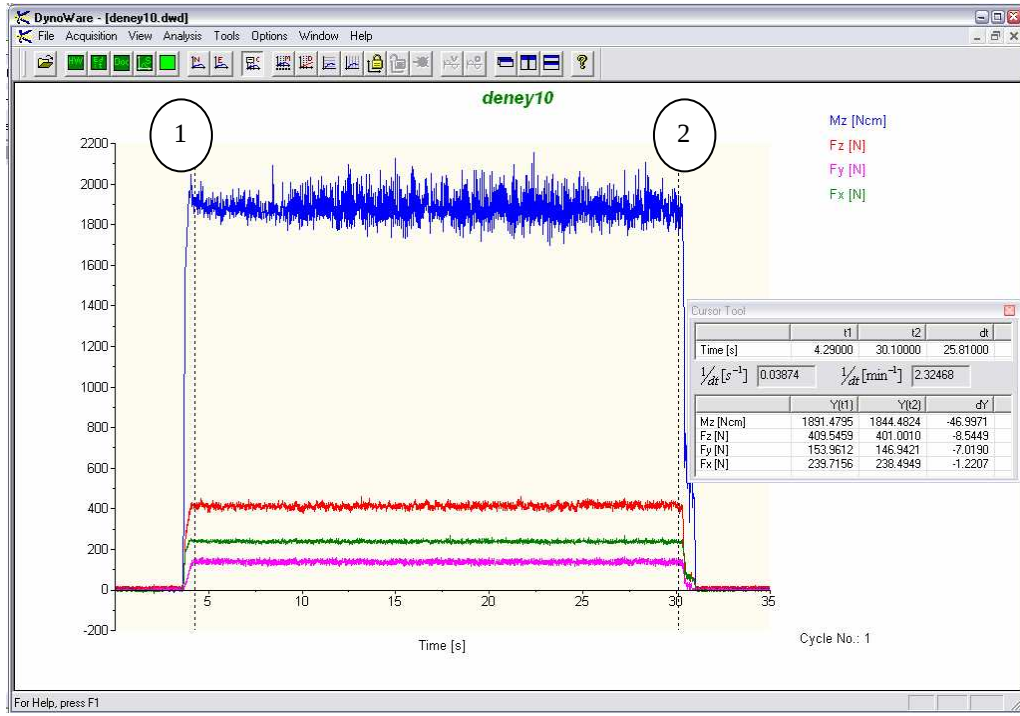


Şekil 8.11.Kesme kuvvetlerine yönelik DynoWare programının oluşturduğu bir grafik

Cursor Tool

Cursor tool menüsüne tıklandığında, noktalı dikey bir çizgi (1) grafik üzerinde görünür. Bu dikey çizgi analiz için başlangıç noktası ayarlamak için fare (mouse) hareketini izler. Grafik üzerinde istediğimiz yere getirdiğimizde farenin sağ düğmesine tıkladığında analiz başlangıç konumu belirlemiş olur. Başlangıç konumu oluşunca ikinci (2) bir noktalı dikey çizgi daha görülür. Bu çizgide bitiş noktasını ayarlamak için fareyi izler. Grafik analizi bitiş noktasına geldiğimizde farenin sağ

tuşu tıklandığında bitiş noktası da belirlenmiş olur. Böylelikle iki dikey çizgi arasında zaman aralığı belirlenmiş olur (Şekil 8.12’de 1 ve 2 çemberleri ile işaretlenmiştir).



Şekil 8.12. Grafik üzerinde bir zaman aralığı belirleme

Aralık için başlangıç ve bitiş noktaları ardından “Cursor Tool” menüsünde iki nokta arasındaki istatistiksel veriler, bir pencerede y-t grafik tabanlı olarak görüntülenir (Şekil 8.13)

	t1	t2	dt
Time [s]	4.29000	30.10000	25.81000
$1/dt [s^{-1}]$	0.03874	$1/dt [min^{-1}]$	2.32468
	Y(t1)	Y(t2)	dY
Mz [Ncm]	1891.4795	1844.4824	-46.9971
Fz [N]	409.5459	401.0010	-8.5449
Fy [N]	153.9612	146.9421	-7.0190
Fx [N]	239.7156	238.4949	-1.2207

Şekil 8.13. Grafik üzerinde tanımlanan istatistiksel veriler

Kullanıcı grafik üzerindeki zaman başlangıç ve bitiş noktalarının değiştirdikçe “Cursor Tools” sayfasındaki bilgiler de değişmektedir.

“Cursor Tools” sayfasında sırası ile;

t1: Zaman aralığı başlangıcı,

t2: Zaman aralığı bitiş,

td: Zaman değişimi,

Y(t1): Aralık başlangıcındaki kuvvetler (M_z , F_z , F_x , F_y),

Y(t2): Aralık bitişindeki kuvvetler (M_z , F_z , F_x , F_y),

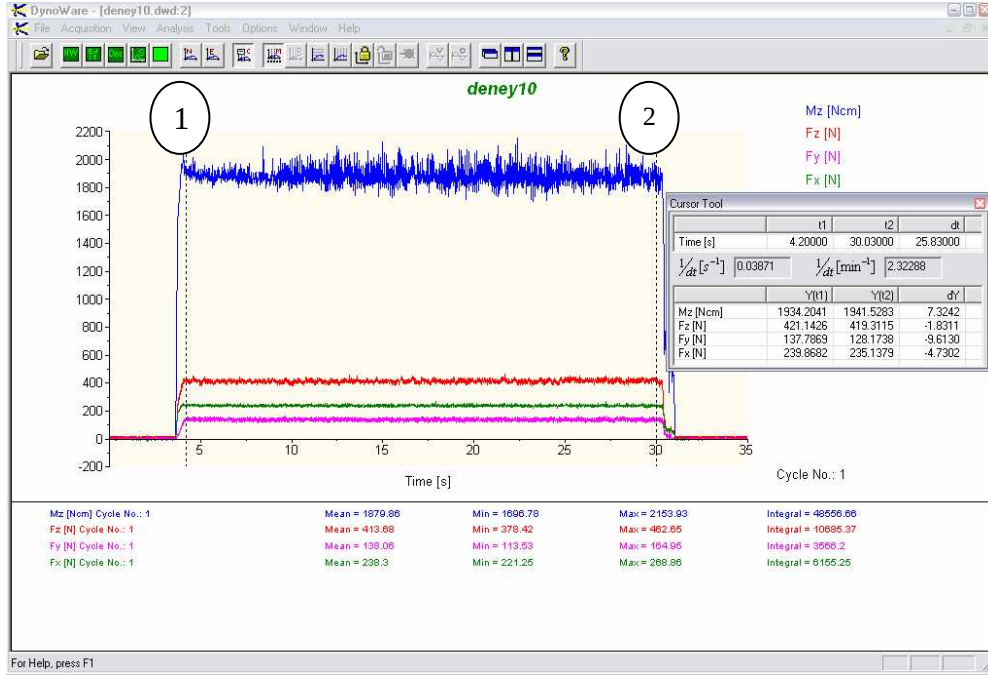
dY: Kuvvet değişimi,

gibi bilgiler verilmektedir.

Mean Value

Bu yöntem bir öncekine benzerdir. Burada da bir öncekinde olduğu gibi grafik analizi için başlangıç ve bitiş noktaları belirlenir (Şekil 8.14’de 1 ve 2 ile gösterilmiştir).

Bir önceki yöntemde belirlenen başlangıç ve bitiş sınırları arasında kalan her bir noktadaki kuvvet ve moment değeri kullanıcıya verilirken, bu yöntemde belirlenen aralık boyunca kuvvet ve momentlerin almış olduğu değerlerin istatistiksel sonuçları verilmektedir. Bu yöntem ile sonuçlar grafik ekranın altında verilmektedir (Şekil 8.14). Aşağıda; bu bilgiler daha rahat okunabilmesi için tekrar çizelge 8.7’de verilmiştir.



Şekil 8.14. Zaman aralığının belirlenmesi ve kuvvetler için istatistiksel bilgiler

Çizelge 8.7. Mean Value yöntemi kullanıldığında ekrana gelen bilgiler

M_z [Ncm] Cycle No.: 1	Mean = 1879.86	Min = 1696.78	Max = 2153.93	Integral = 48556.66
F_z [N] Cycle No.: 1	Mean = 413.68	Min = 378.42	Max = 462.65	Integral = 10685.37
F_y [N] Cycle No.: 1	Mean = 138.06	Min = 113.53	Max = 164.95	Integral = 3566.2
F_x [N] Cycle No.: 1	Mean = 238.3	Min = 221.25	Max = 268.86	Integral = 6155.25

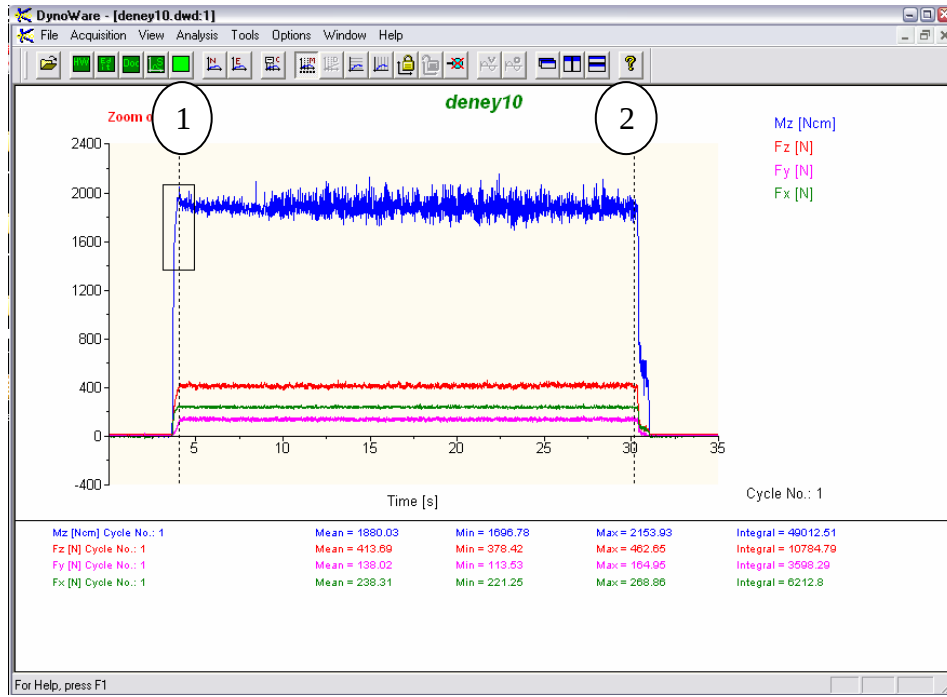
Verilenlere bakıldığında;

- **Mean** : Belirlenmiş zaman aralığında bulunan kuvvetlere (M_z , F_z , F_x , F_y) ait değerlerin aritmetik ortalaması,
- **Min** : Zaman aralığı içerisinde yer alan değerlerden en küçük olanlar,
- **Max** : Zaman aralığı içerisinde yer alan değerlerden en büyük olanlar, gibi bilgiler bulunmaktadır.

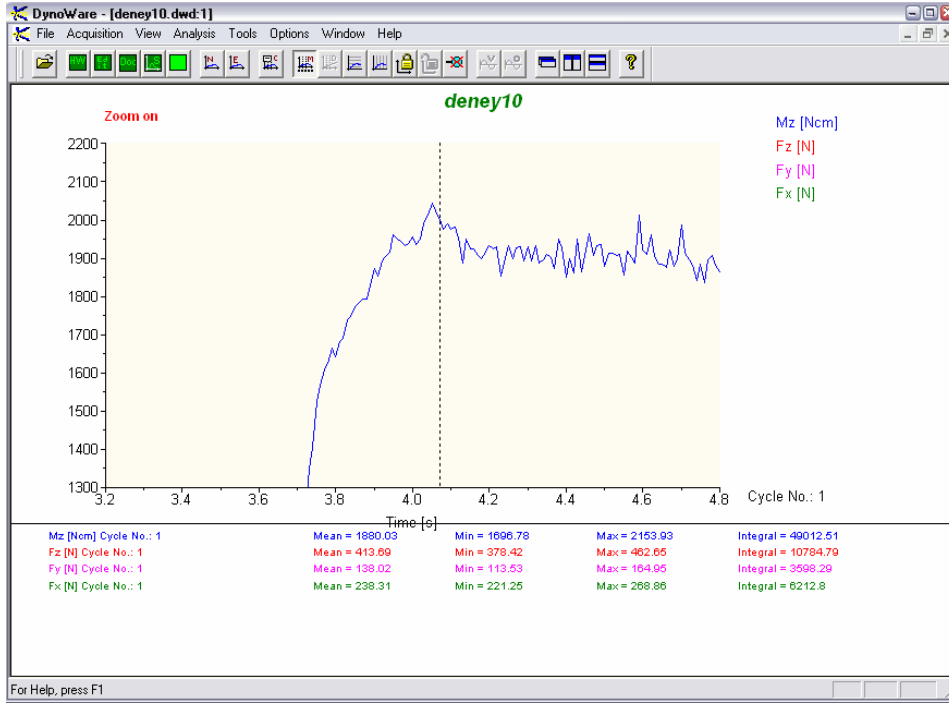
Grafik üzerinde zaman aralığı için konulacak noktaların (1 ve 2) daha hassas olarak tespiti mümkündür. Bunun için programın “Zoom On” özelliği kullanılarak grafik

üzerinde istenilen alan büyütülebilmektedir (Şekil 8.15). Bu işlemin ardından grafik üzerinde belirlenen bölgenin büyütülmüş hali ekrana gelir (Şekil 8.16). Böylelikle de ilk başta tespit edilmiş zaman aralığı tanımlama çizgilerinin (1 ve 2) daha hassas olarak grafik eğrisi üzerine konumlanması mümkün olmaktadır.

Programın bu özeliğinden de faydalanılarak her zaman aralığı (başlangıç, orta ve son) için kuvvetlerin (M_z ve F_z) aritmetik ortalaması (Mean Value) alınmıştır. Bu değerler tablo haline getirilmiştir.



Şekil 8.15. Grafik üzerinde bir bölgenin “Zoom On” yapılması



Şekil 8.16. Seçilen bölgenin “Zoom On” yapılmış hali

8.6. Elde Edilen Yüzeyler İçin Yapılan İncelemeler

Yapılan deneylerde işlenen deney parçaları üzerinde sırası ile şu incelemeler yapılmıştır

Yüzey pürüzlülüklerinin belirlenmesi

İşlenen parçaların yüzey pürüzlülüğü ölçümünde Mitutoyo SJ-201 kodlu pürüzlülük ölçüm cihazı kullanılmıştır (Resim 8.8).



Resim 8.8. Yüzey pürüzlülük cihazı

Kullanılan pürüzlülük cihazı ile;

- Ra
- Ry
- Rz
- Rq

yönelik ölçümler yapılabilmektedir.

Yüzey pürüzlülük ölçümleri, cihazın tavsiye edilen yüzey tarama uzunluğu 0.8 (cut of length) ayarlanarak yapılmıştır.

Elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinden *Ra* (ortalama), deney çalışmaları için kullanılmıştır. Yüzey pürüzlülük değerlerinin sonuçları bir sonraki bölümlerde tartışılacaktır.

İşlenen yüzey boyunca fotoğrafların alınması

Deneylerden sonra iş parçalarının fotoğrafları tek tek çekilmiştir. Burada örnek olarak bir deney parçasına ait resim, resim 8.9'da verilmiştir.



Resim 8.9. İş parçasının yapılan deneylerden sonraki yüzeyleri

9. DENEYLER VE SONUÇLAR

Elde edilen deney sonuçları ilerleme ve kesme hızı dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Ölçülen kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü değerleri (Çizelge 9.1-9.3), ilerleme ve kesme hızı ile ilişkilendirilerek yorumlanmaya çalışılmıştır. Bu amaçla elde edilen veriler “Microsoft Office Excel” programı kullanılarak grafiklere dönüştürülmüştür.

Çizelge 9.1. MA kesici formuna ait deney sonuçları

Kesici Formu	Burun Yarıçapı (mm)	İlerleme Miktarı (mm/dev)	Kesme Hızı (m/dak)	Yüzey Pürüzlülük Değeri (μm)	F _y (N)	F _x (N)	F _z (N)
MA	0.4	0.1	85	1,65	87	273	409
			120	1,23	86	241	400
			165	1,11	83	222	389
		0.2	85	3,9	146	372	718
			120	4,21	138	329	658
			165	3,93	145	304	662
		0.4	85	16,15	291	593	1311
			120	16,13	307	561	1316
			165	15,22	303	528	1290
	0.8	0.1	85	1,14	134	261	429
			120	1,1	123	238	405
			165	1,3	130	212	390
		0.2	85	1,86	191	317	675
			120	2	180	284	648
			165	1,53	180	259	632
		0.4	85	7,65	407	505	1287
			120	7,34	356	450	1233
			165	7,1	358	426	1224

Çizelge 9.2. MS kesici formuna ait deney sonuçları

Kesici Formu	Burun Yarıçapı (mm)	İlerleme Miktarı (mm/dev)	Kesme Hızı (m/dak)	Yüzey Pürüzlülük Değeri (µm)	Fy (N)	Fx (N)	Fz (N)
MS	0.4	0.1	85	1,59	105	272	419
			120	1,43	92	235	409
			165	1,38	97	220	393
		0.2	85	4,22	138	420	733
			120	4,02	132	295	641
			165	4,48	134	318	665
		0.4	85	16,25	243	730	1469
			120	16,45	301	571	1345
			165	16,5	296	555	1360
	0.8	0.1	85	1,23	139	288	439
			120	1,35	131	223	413
			165	1,09	144	221	408
		0.2	85	2,19	194	338	631
			120	1,48	181	280	649
			165	1,79	172	268	657
		0.4	85	7,64	344	470	1237
			120	7,53	311	416	1207
			165	7,58	271	372	1189

Çizelge 9.3. ES kesici formuna ait deney sonuçları

Kesici Formu	Burun Yarıçapı (mm)	İlerleme Miktarı (mm/dev)	Kesme Hızı (m/dak)	Yüzey Pürüzlülük Değeri (µm)	Fy (N)	Fx (N)	Fz (N)
ES	0.4	0.1	85	1,94	99	254	398
			120	1,46	107	249	400
			165	1,36	84	212	379
		0.2	85	3,92	157	316	621
			120	4,1	150	297	623
			165	3,68	144	259	622
		0.4	85	14,6	281	404	1155
			120	14,26	260	365	1119
			165	15	243	318	1122
	0.8	0.1	85	0,93	138	238	414
			120	1,19	136	216	409
			165	1,16	151	231	410
		0.2	85	1,57	197	292	645
			120	2,03	198	260	643
			165	1,75	197	258	645
		0.4	85	7,02	341	357	1131
			120	6	312	341	1163
			165	6,58	326	315	1149

9.1. İlerlemeye Bağlı Deney Sonuçları

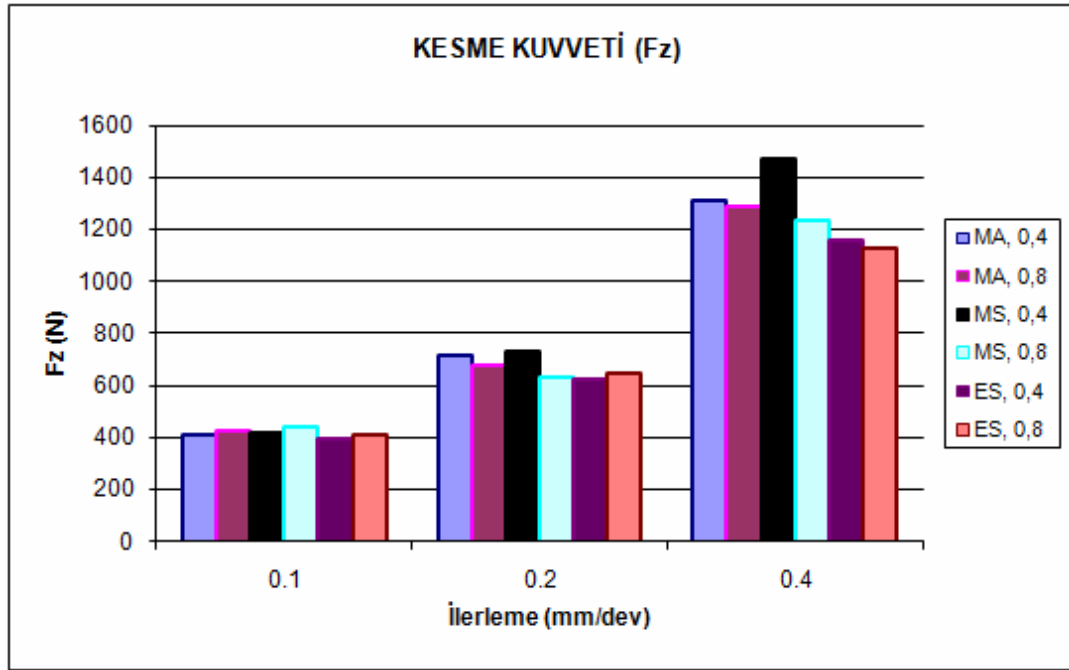
Deneylerde kullanılan üç farklı (0.1, 0.2, 0.4 mm/dev) ilerleme için kesme kuvvetleri (F_z , F_x ve F_y) ve yüzey pürüzlülüğü grafikleri oluşturulmuştur.

9.1.1. İlerlemeye bağlı kesme kuvvetleri (F_z)

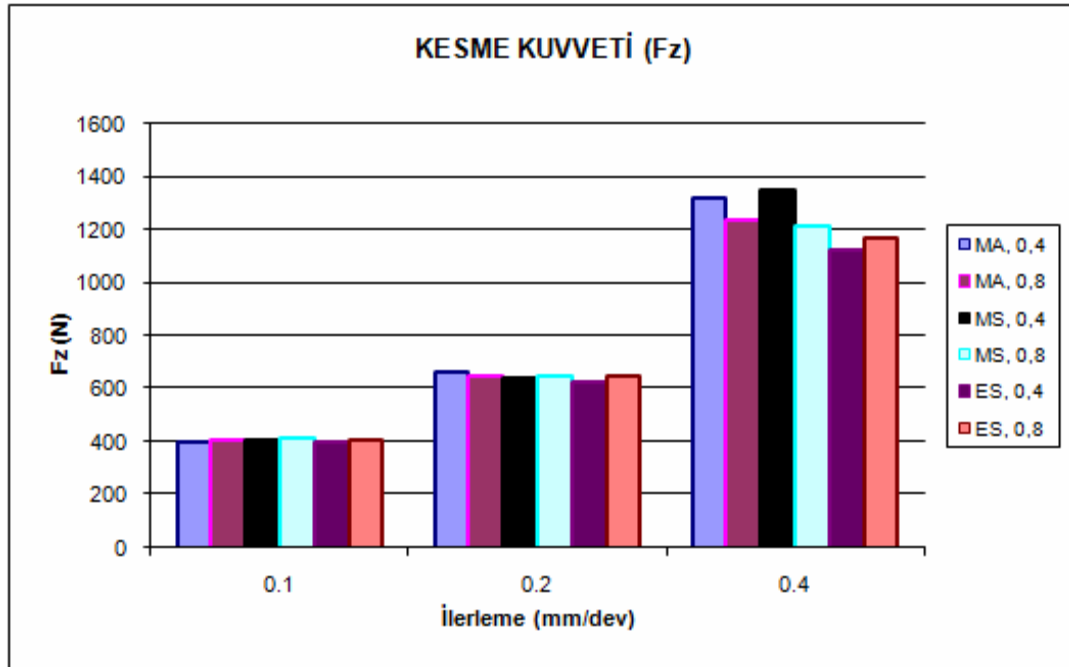
Bilindiği gibi ilerleme miktarı arttıkça çıkan talaşın kesit alanı büyür. Artan talaş kesiti de kesme kuvvetlerinde artış meydana getirecektir.

Şekil 9.1 - 9.3 arasında, ilerlemeye bağlı F_z kuvvetlerinin değişimini veren grafikler verilmiştir. Genel olarak F_z grafiklerine baktığımızda, ilerleme miktarı 0.1 mm/dev.'den 0.2 mm/dev.'e çıkarıldığında artış oranı %100 olmasına karşın, kesme kuvvetlerindeki artış ortalama %60 'dır. İlerleme miktarı 0.2 mm/dev.'den 0.4 mm/dev.'e çıkarıldığında ilerleme miktarındaki artış %100 ve kesme kuvvetlerindeki artış ortalama %200'dür. İlerleme miktarı 0.2 mm/dev 'den sonra kesme kuvveti ciddi bir şekilde artmaktadır (Şekil 9.1-9.3). En yüksek kesme kuvveti değeri 0.4 mm/dev ilerleme ve MA, MS kesici formuna sahip 0.4 mm burun yarıçapına sahip kesici uçun kullanıldığı deney şartlarında elde edilmiştir (Şekil 9.1-9.3). İlerlemeye bağlı farklı kesme hızlarındaki en ideal sonucu ES formulu kesici uç tipinde ve 0.1 mm/dev ilerleme miktarında elde edilmiştir.

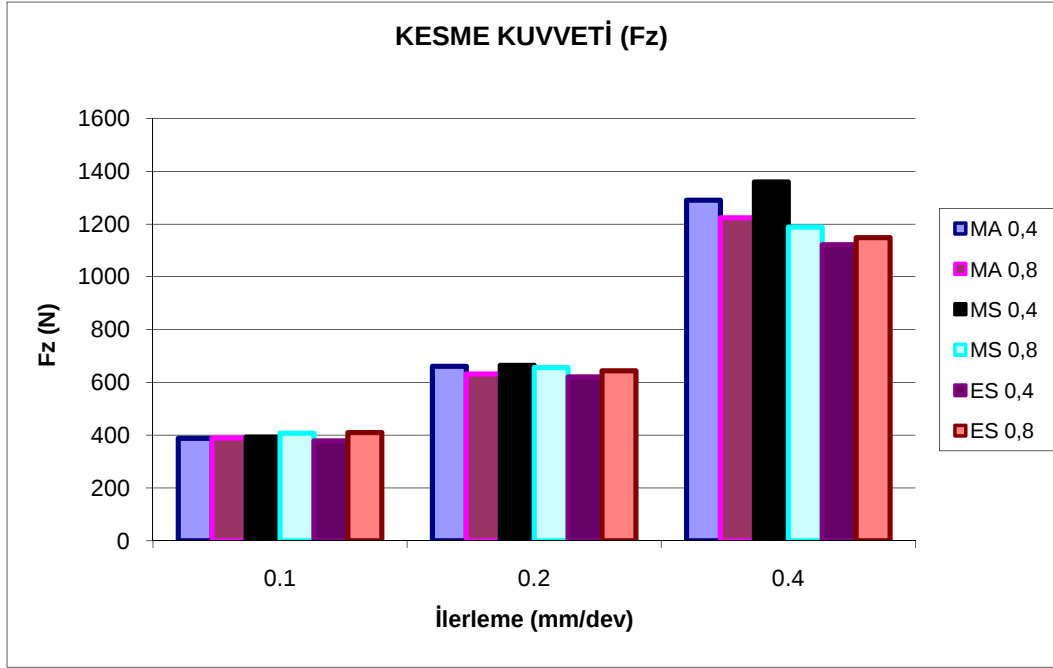
F_z grafiklerini kullanılan kesici takım burun yarıçaplarını (0.4 mm, 0.8 mm) dikkate alarak incelediğimizde, 0.8 mm burun yarıçapına sahip kesici takımların 0.4 mm burun yarıçapına sahip kesici takımlara göre daha yüksek kesme kuvveti değeri vermesi beklenirken, 0.4 mm burun yarıçaplı kesici takımlar ile daha yüksek kesme kuvveti değerleri elde edilmiştir. Bu sonuç, 0.4 mm burun yarıçaplı kesici takımlardaki oluşan takım aşınmasına bağlanabilir. 0.4 mm burun yarıçaplı kesici takımındaki aşınmanın, 0.8 mm burun yarıçaplı kesici takıma göre fazla olması, talaş kaldırma işlemi sırasında oluşan ısının yayılmasında kesici uç burun yarıçapının etkili olduğu söylenebilir. Dolayısı ile 0.8 mm burun yarıçaplı kesici takımın uç dayanımının daha fazla olması ısı dağılımının daha iyi olması ile açıklanabilir.



Şekil 9.1. Üniversal torna tezgahında 85 m/dak 'da AISI 316 Ti paslanmaz çeliğinin işlenmesi sırasında ilerlemeye bağlı kesme kuvveti grafiği.



Şekil 9.2. Üniversal torna tezgahında 120 m/dak 'da AISI 316 Ti paslanmaz çeliğinin işlenmesi sırasında ilerlemeye bağlı kesme kuvveti grafiği

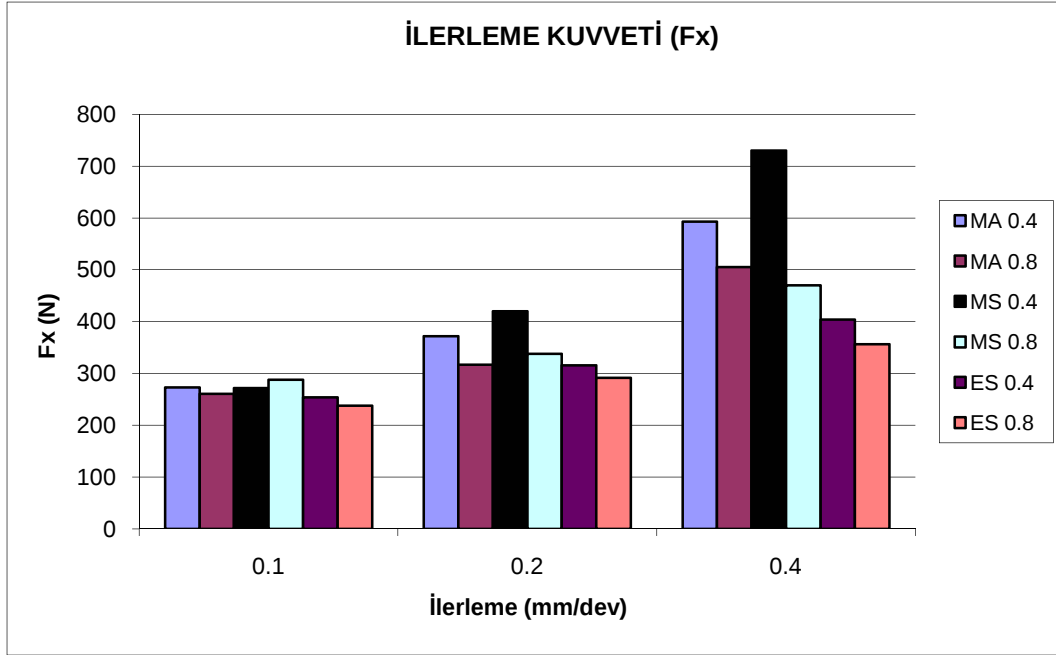


Şekil 9.3 Üniversal torna tezgahında 165 m/dak ‘da AISI 316 Ti paslanmaz çeliğinin işlenmesi sırasında ilerlemeye bağlı kesme kuvveti grafiği.

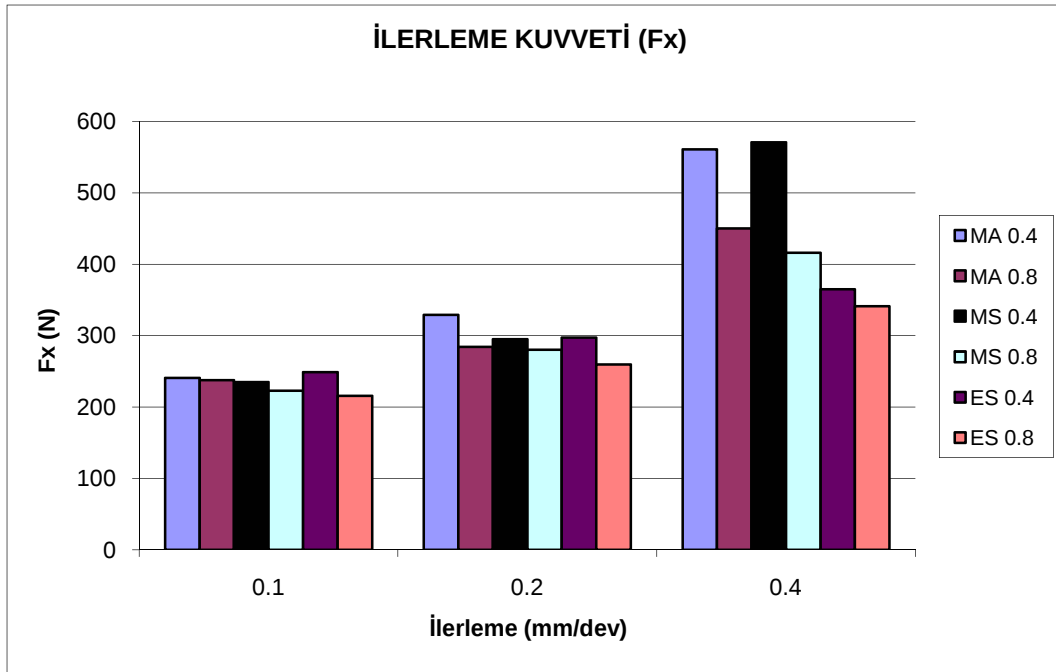
9.1.2.- İlerlemeye bağlı ilerleme kuvvetleri (Fx)

Kesicinin talaş kaldırma yönünde yaptığı ilerlemeye karşı koyan kuvvet ilerleme kuvveti olarak açıklanabilir. Şekil 9.4-9.6’da ilerlemeye bağlı olarak elde edilen ilerleme kuvveti grafikleri verilmiştir. Grafiklerde ilerleme kuvveti ilerleme miktarı ile birlikte artış göstermektedir. Bu artış özellikle ilerleme miktarı 0.2 mm/dev’den 0.4 mm/dev’e çıktığında görülmektedir. Burun yarıçapı 0.4 mm olan kesici takımlar, burun yarıçapı 0.8 mm olan kesici takımlara göre ilerleme kuvveti değerleri daha yüksektir (Şekil 9.4-9.6). Bu sonucun nedenini, kesme (F_z) kuvvetlerinde bahsettiğimiz gibi 0.4 mm burun yarıçaplı kesici takımlarda oluşan çentik aşınması olarak açıklayabiliriz.

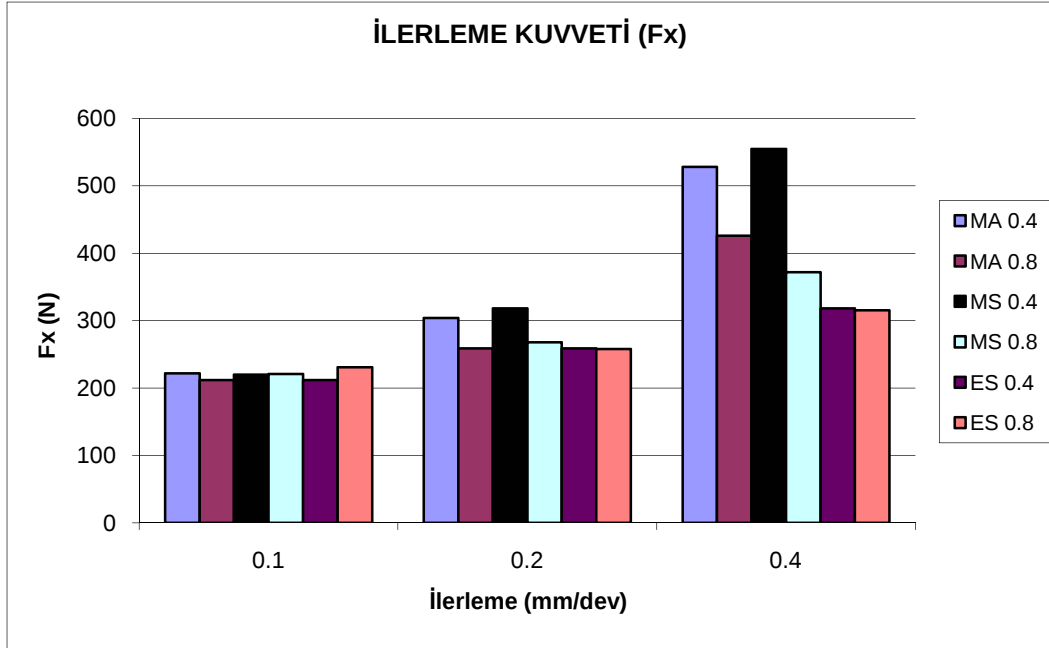
Şekil 9.6 ve 9.8 arasındaki grafikler incelendiğinde, 0.4 mm/dev ilerleme miktarında MA 0.4 ve MS 0.4 serisi kesici takımlar ile en yüksek ilerleme kuvvetleri elde edilmiştir. Bu sonuç, MA 0.4 ve MS 0.4 serisi kesici takımların yüksek ilerleme miktarlarına uygun olmadığını göstermektedir.



Şekil 9.4. Üniversal torna tezgahında 85 m/dak 'da AISI 316 Ti paslanmaz çeliğinin işlenmesi sırasında ilerlemeye bağlı ilerleme kuvveti grafiği.



Şekil 9.5. Üniversal torna tezgahında 120 m/dak 'da AISI 316 Ti paslanmaz çeliğinin işlenmesi sırasında ilerlemeye bağlı ilerleme kuvveti grafiği.

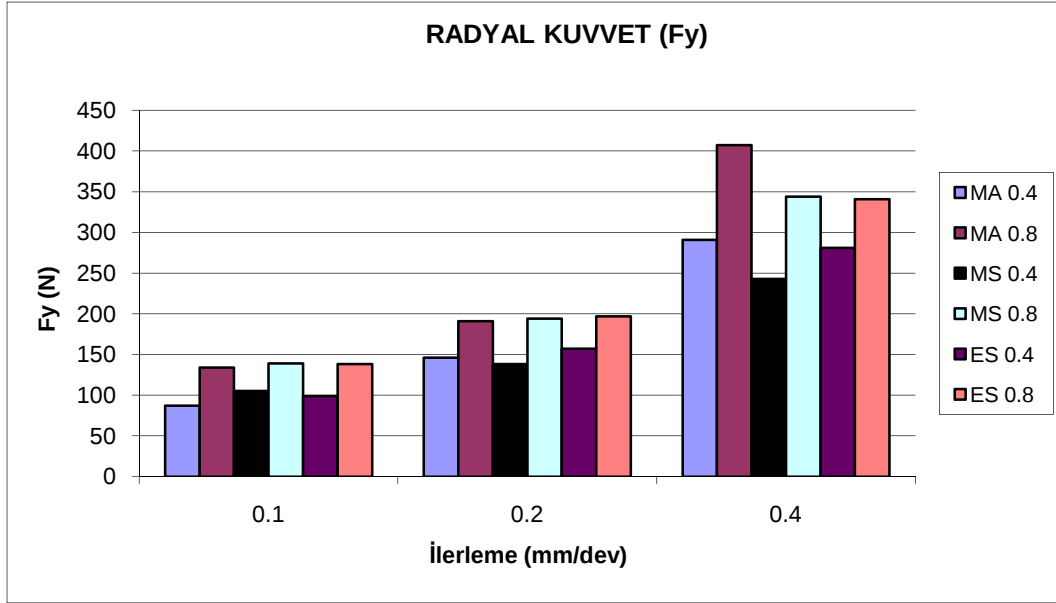


Şekil 9.6. Üniversal torna tezgahında 160 m/dak ‘da AISI 316 Ti paslanmaz çeliğinin işlenmesi sırasında ilerlemeye bağlı ilerleme kuvveti grafiği.

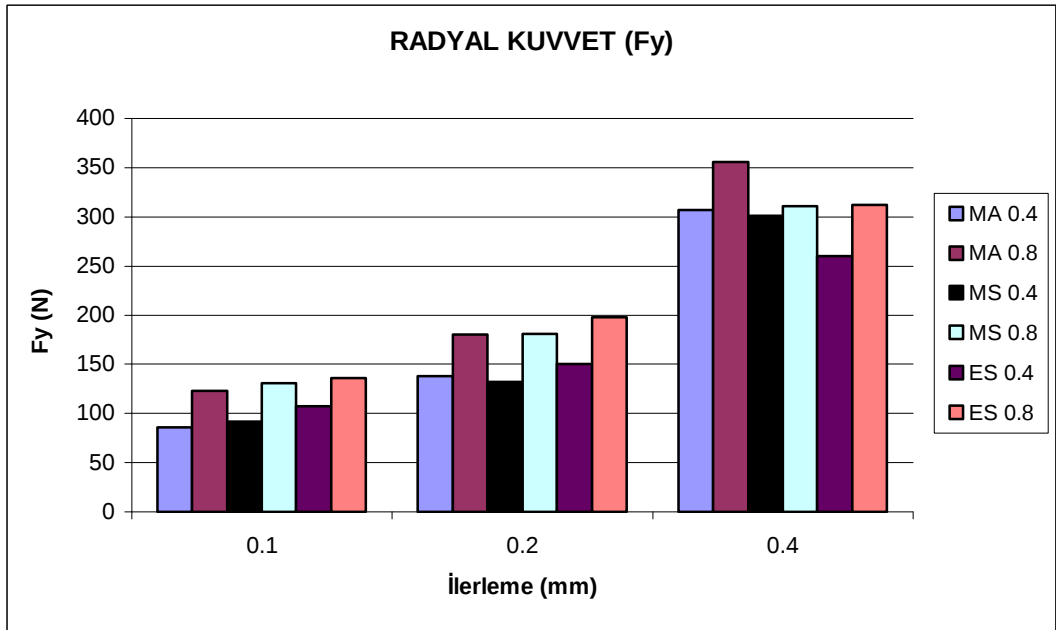
9.1.3. İlerlemeye bağlı radyal kuvvetler (F_y)

Radyal kuvvet takımı parçadan ayırmaya çalışan kuvvettir ve burun yarıçapı büyüdükçe malzeme üzerine daha büyük kuvvetle bastırılmasını gerektirir [39]. Bu bilgi doğrultusunda ilerlemeye bağlı farklı kesme hızlarındaki radyal kuvvet grafiklerini incelediğimizde (Şekil 9.7-9.9) kesici takım formlarının 0.8 mm burun yarıçaplı olanların, 0.4 mm burun yarıçaplı kesici takımlara kıyasla elde edilen radyal kuvvet değerleri daha yüksektir. Bu sonuç literatüre uygun bir sonuçtur.

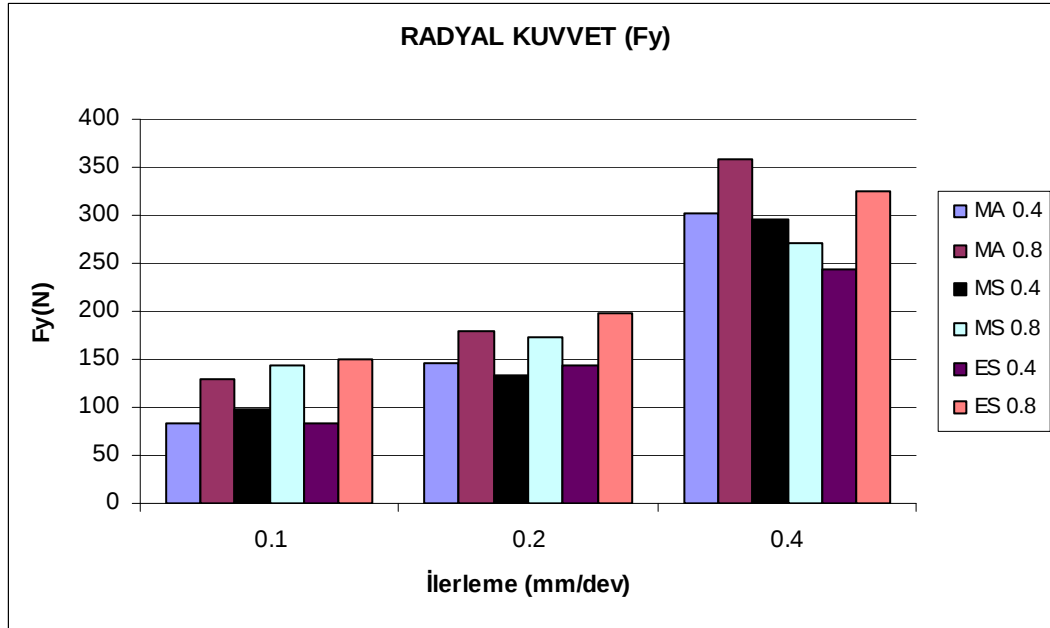
Kesme kuvveti ve ilerleme kuvveti grafiklerinde olduğu gibi ilerleme miktarı arttıkça radyal kuvvet de artmaktadır. En yüksek radyal kuvvet değeri her üç kesme hızında da (85, 120, 160 m/dak) 0.4 mm/dev ilerleme miktarında MA 0.8 serisi kesici takımda elde edilmiştir. Bu sonuç özellikle küçük çaplı malzemelerin işlenmesinde radyal kuvvetin yüksek olması, iş parçasında sehime ve bunun neticesinde bozuk yüzey kalitesine ve ölçü bozukluklarına neden olacağından, MA 0.8 serisi kesici takımlar yüksek ilerlemelerde kullanımı uygun olmayacaktır.



Şekil 9.7. Üniversal torna tezgahında 85 m/dak 'da AISI 316 Ti paslanmaz çeliğinin işlenmesi sırasında ilerlemeye bağlı radyal kuvvet grafiği.



Şekil 9.8. Üniversal torna tezgahında 120 m/dak 'da AISI 316 Ti paslanmaz çeliğinin işlenmesi sırasında ilerlemeye bağlı radyal kuvvet grafiği.



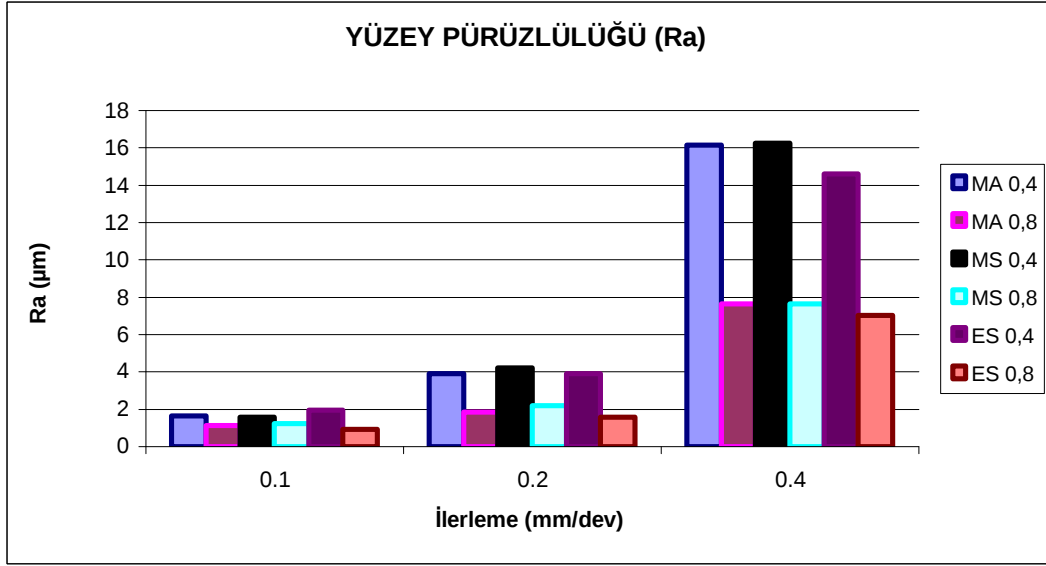
Şekil 9.9. Üniversal torna tezgahında 160 m/dak ‘da AISI 316 Ti paslanmaz çeliğinin işlenmesi sırasında ilerlemeye bağlı radyal kuvvet grafiği.

9.1.4. İlerlemeye bağlı yüzey pürüzlülükleri (Ra)

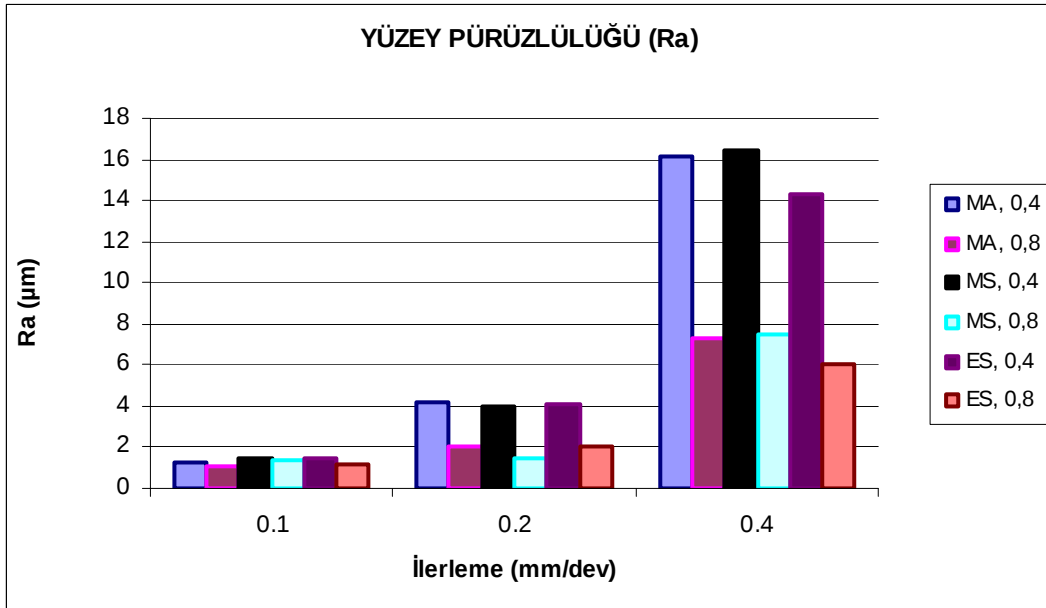
Şekil 9.10-9.12 arasında verilen ilerlemeye bağlı yüzey pürüzlülük grafikleri incelendiğinde, kesici takım burun yarıçapı arttıkça yüzey pürüzlülük değeri azalmaktadır ve ilerleme miktarı arttıkça yüzey pürüzlülük değeri artmıştır. Bu durum tezde verilen eşitlik 4.5’i desteklemektedir. Özellikle ilerleme miktarı 0.2 mm/dev ‘den 0.4 mm/dev ‘e çıkarıldığında yüzey pürüzlülük değerinde (Ra) aşırı artış olmuştur. İlerleme miktarı 0.1 mm/dev’den 0.2 mm/dev’e çıkarıldığında yüzey pürüzlülük değeri 0.4 mm burun yarıçaplı kesici takımlarda ortalama %400 artarken, ilerleme miktarı 0.4 mm/dev’e çıkarıldığında bu artış yaklaşık %1500 artış olmuştur. Görüldüğü gibi yüzey pürüzlülük değerindeki artış oranı, ilerleme miktarındaki artış oranından çok daha fazladır. Tezdeki eşitlik 4.5’de verildiği gibi pürüzlülük değerindeki artış, ilerleme miktarındaki artışın karesi ile doğru orantılıdır.

Grafiklerde (Şekil 9.10-9.12) görüldüğü gibi farklı kesici formlarına (MA, MS, ES) sahip kesici takımlar kıyaslandığında yüzey pürüzlülük değerleri arasında fazla bir fark bulunmamaktadır. 0.4 mm burun yarıçaplı kesici takımlarla işlenen yüzeyler, 0.8

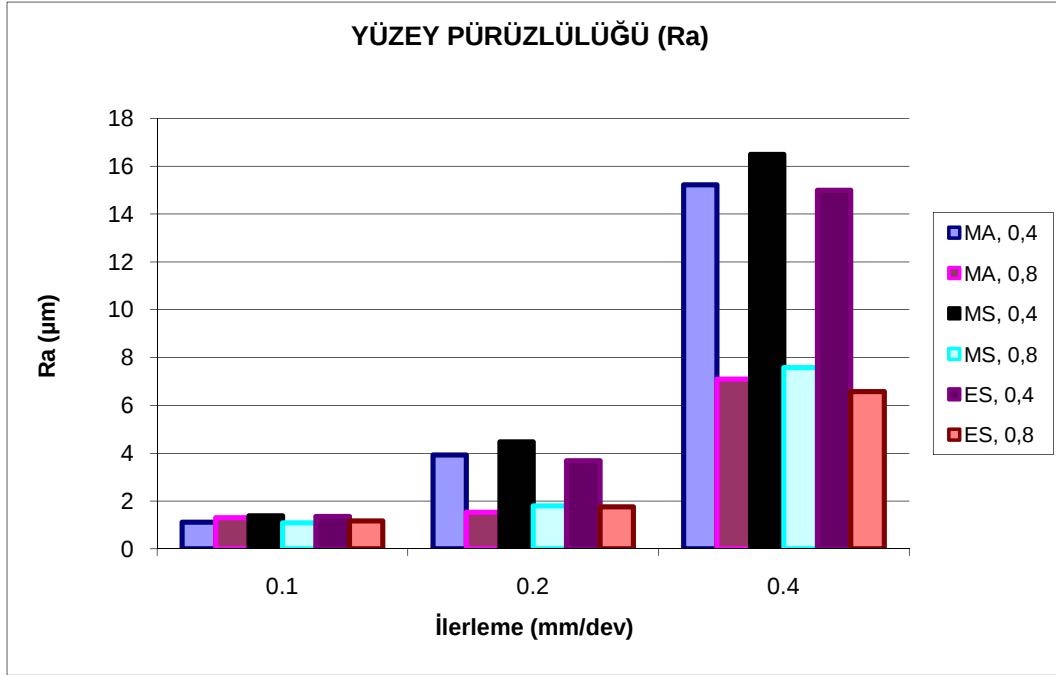
mm burun yarıçaplı takımlarla işlenen yüzeylere göre, yüzey pürüzlülük değerleri yaklaşık %100 artmıştır. Bu sonuç, kesici burun yarıçapının yüzey pürüzlülük değeri üzerindeki etkisinin çok fazla olduğunu göstermektedir. Bu sonuç literatüre uygun bir sonuçtur.



Şekil 9.10. Üniversal torna tezgahında 85 m/dak 'da AISI 316 Ti paslanmaz çeliğinin işlenmesi sırasında ilerlemeye bağlı yüzey pürüzlülüğü grafiği.



Şekil 9.11. Üniversal torna tezgahında 120 m/dak 'da AISI 316 Ti paslanmaz çeliğinin işlenmesi sırasında ilerlemeye bağlı yüzey pürüzlülüğü grafiği.



Şekil 9.12. Üniversal torna tezgahında 165 m/dak ‘da AISI 316 Ti paslanmaz çeliğinin işlenmesi sırasında ilerlemeye bağlı yüzey pürüzlülüğü grafiği.

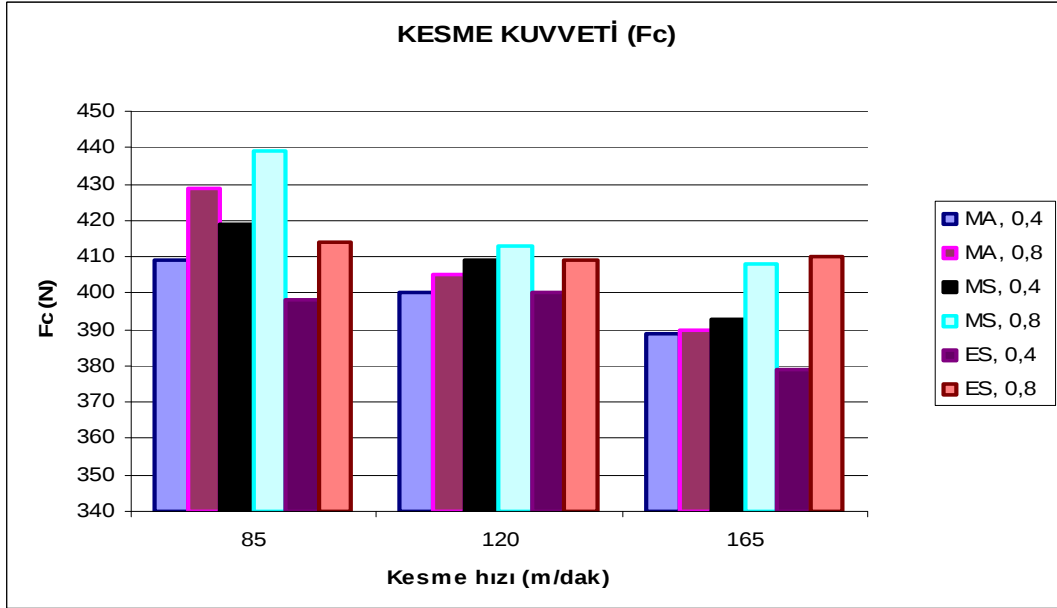
9.2. Kesme Hızına Bağlı Deney Sonuçları

Bu bölümde, deney sonuçları kullanılan kesme hızı değerleri ile ilişkilendirilmeye çalışılmıştır. Deneylerde elde edilen veriler (kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü), kesme hızına bağlı olarak grafiklere dönüştürülmüştür.

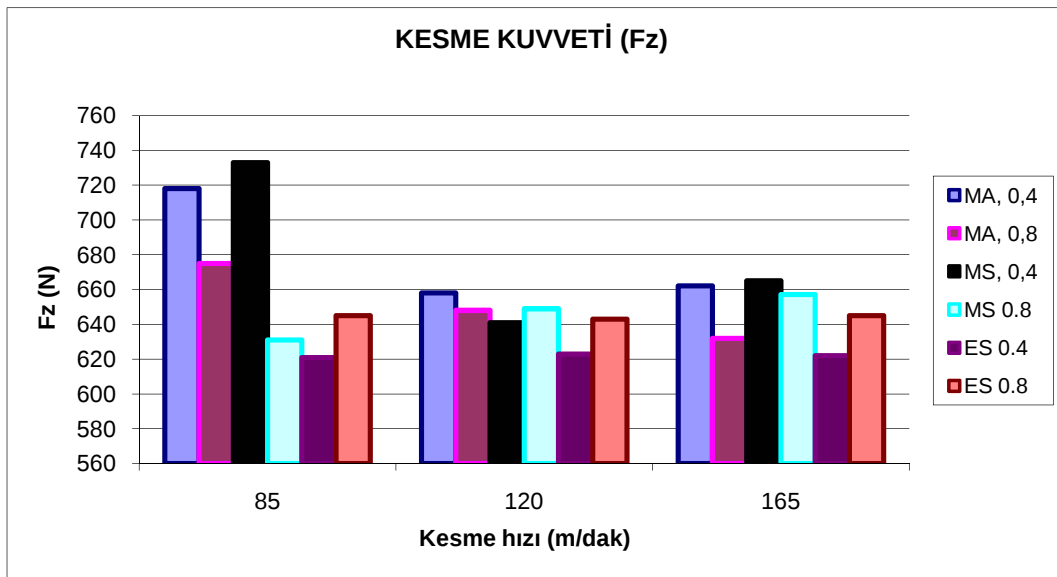
9.2.1. Kesme hızına bağlı kesme kuvvetleri (Fz)

Literatürde kesme hızı arttıkça kesme kuvvetlerinin azalma eğilimi gösterdiği bilinmektedir. Kesme kuvvetindeki azalmayı artan kesme hızı sonucu kesme bölgesindeki sıcaklığın artmasıyla, takım–talaş ara yüzeyindeki akma bölgesindeki malzemenin kayma dayanımının azalması ve kısmen de kesici takım talaş yüzeyinde takım-talaş temas uzunluğunun azalmasıyla açıklanmıştır [45]. Şekil 9.13-9.15’de verilen kesme hızına bağlı elde edilen kesme kuvveti grafiklerine genel olarak bakıldığında, kesme hızı arttıkça kesme kuvvetlerinde literatüre uygun olarak düşüş gözlemlenmektedir.

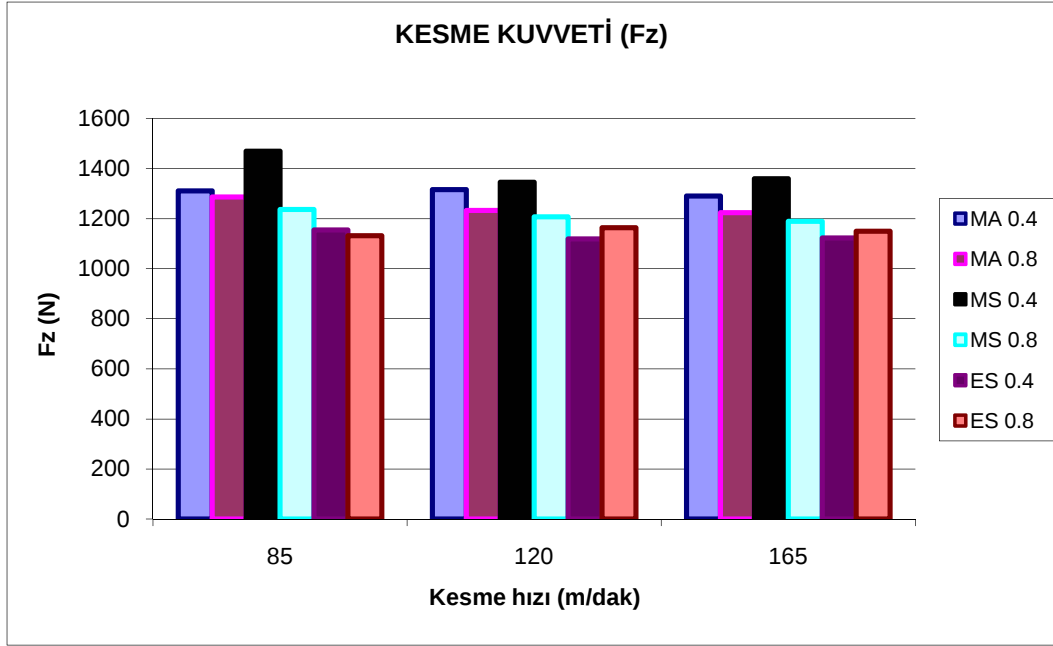
0.4 mm/dev ilerleme miktarında, kesme kuvvetleri diğer ilerleme miktarlarına göre yüksek olmakla beraber, kesme hızlarındaki değişim kuvvetleri çok fazla etkilememiştir (Şekil 9.15). Bu sonuç, yüksek ilerlemenin kesme kuvvetleri üzerinde, kesme hızından daha etkili olduğu olarak ile açıklanabilir.



Şekil 9.13. Üniversal torna tezgahında 0,1 mm/dev 'de AISI 316 Ti paslanmaz çeliğinin işlenmesi sırasında kesme hızına bağlı kesme kuvveti grafiği.



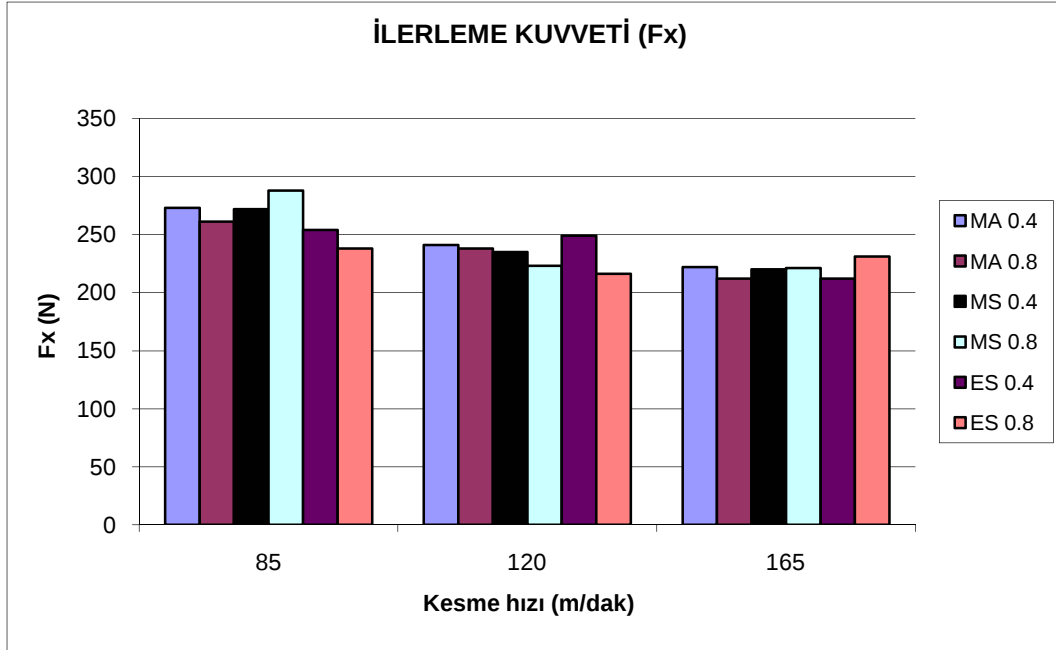
Şekil 9 14. Üniversal torna tezgahında 0,2 mm/dev 'de AISI 316 Ti paslanmaz çeliğinin işlenmesi sırasında kesme hızına bağlı kesme kuvveti grafiği.



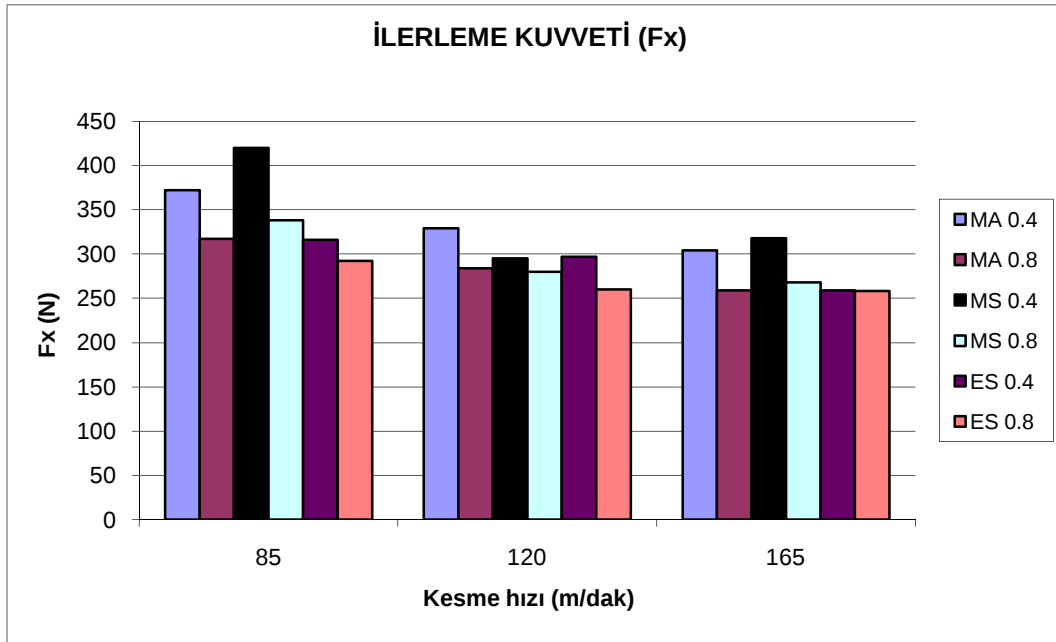
Şekil 9.15. Üniversal torna tezgahında 0,4 mm/dev 'de AISI 316 Ti paslanmaz çeliğinin işlenmesi sırasında kesme hızına bağlı kesme kuvveti grafiği.

9.2.2. Kesme hızına bağlı ilerleme kuvvetleri (F_x)

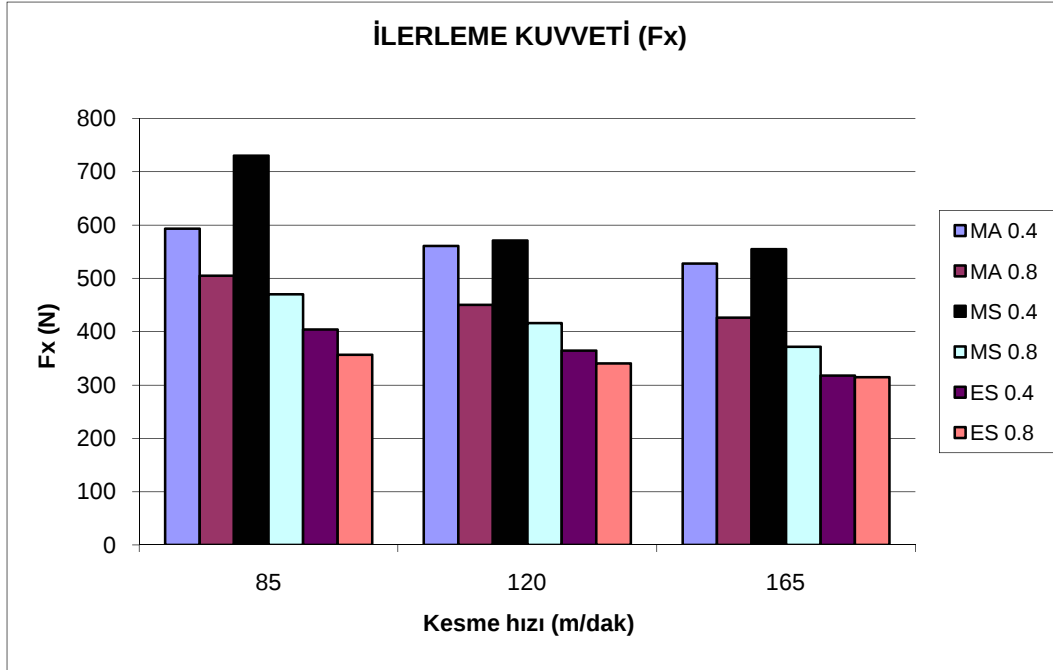
Kesme hızına bağlı farklı ilerleme miktarlarındaki ilerleme kuvvetleri grafiklerine (Şekil 9.16-9.18) bakıldığında, 0.1 mm/dev ve 0.2 mm/dev ilerleme miktarlarında, kesme hızı değişimi ile ilerleme kuvvetleri çok fazla etkilenmemiştir. Bununla beraber kesme hızı arttıkça ilerleme kuvvetlerinde düşüşler görülmektedir.



Şekil 9.16. Üniversal torna tezgahında 0,1 mm/dev 'de AISI 316 Ti paslanmaz çeliğinin işlenmesi sırasında kesme hızına bağlı ilerleme kuvveti grafiği.



Şekil 9.17. Üniversal torna tezgahında 0,2 mm/dev 'de AISI 316 Ti paslanmaz çeliğinin işlenmesi sırasında kesme hızına bağlı ilerleme kuvveti grafiği.



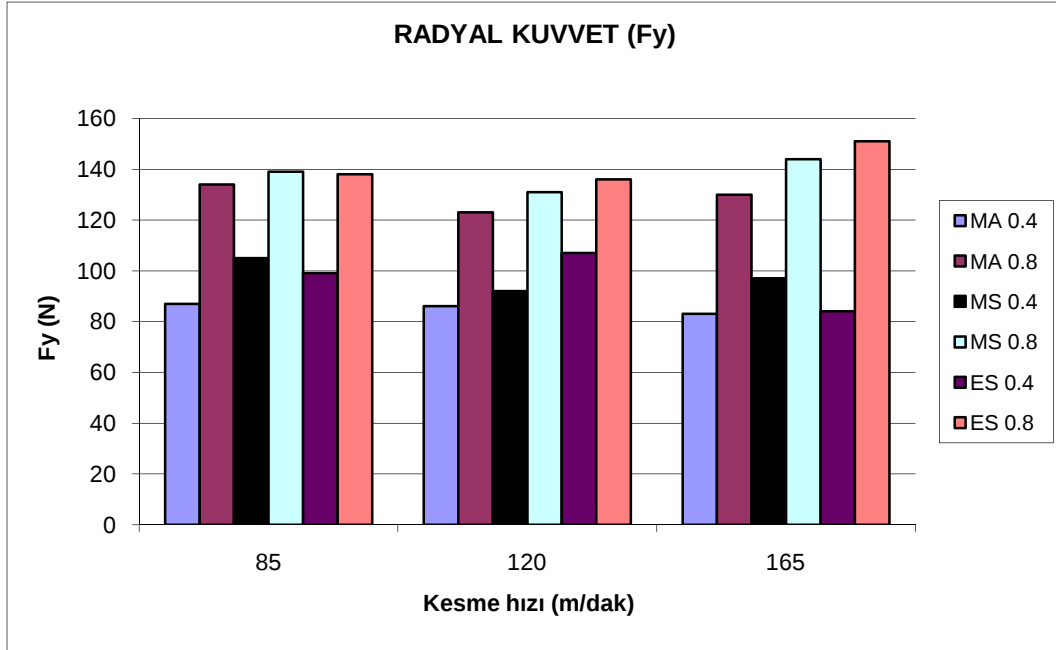
Şekil 9.18. Üniversal torna tezgahında 0,4 mm/dev 'de AISI 316 Ti paslanmaz çeliğinin işlenmesi sırasında kesme hızına bağlı ilerleme kuvveti grafiği

9.2.3. Kesme hızına bağlı radyal kuvvetler (F_x)

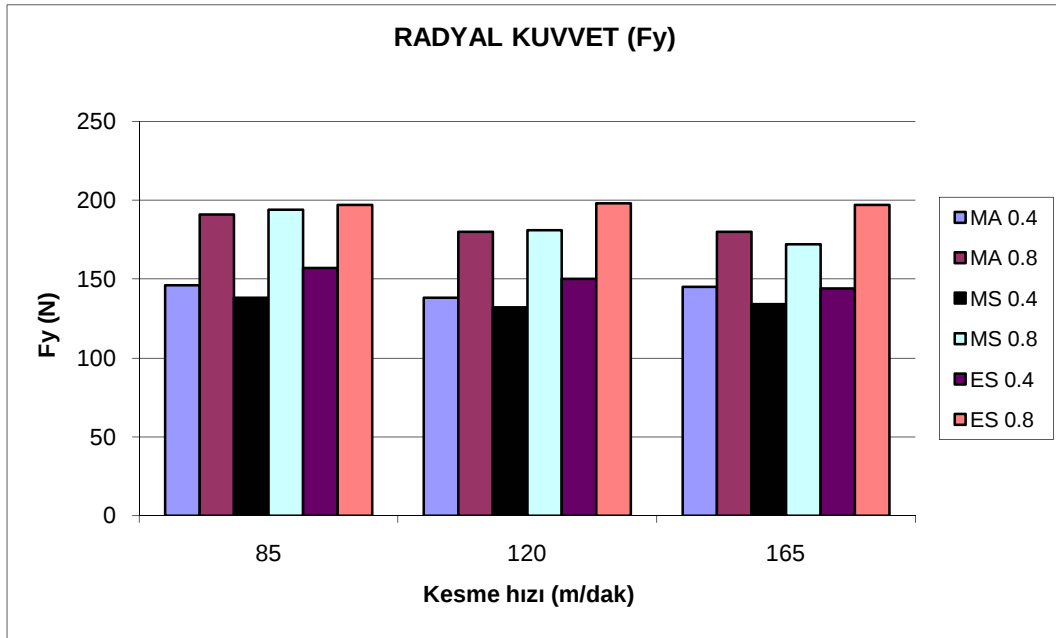
İlerlemeye bağlı farklı kesme hızlarındaki radyal kuvvet grafiklerinde (Şekil 9.19-9.21) görüldüğü gibi 0.8 mm burun yarıçapına sahip kesici takımlar, 0.4 mm burun yarıçapına sahip kesici takımlara göre daha yüksek radyal kuvvet değeri elde edilmiştir.

Bu sonuç, 0.8 mm burun yarıçapına sahip kesici uçların malzemeye batmasında, daha fazla kuvvet gerektirdiğini göstermektedir.

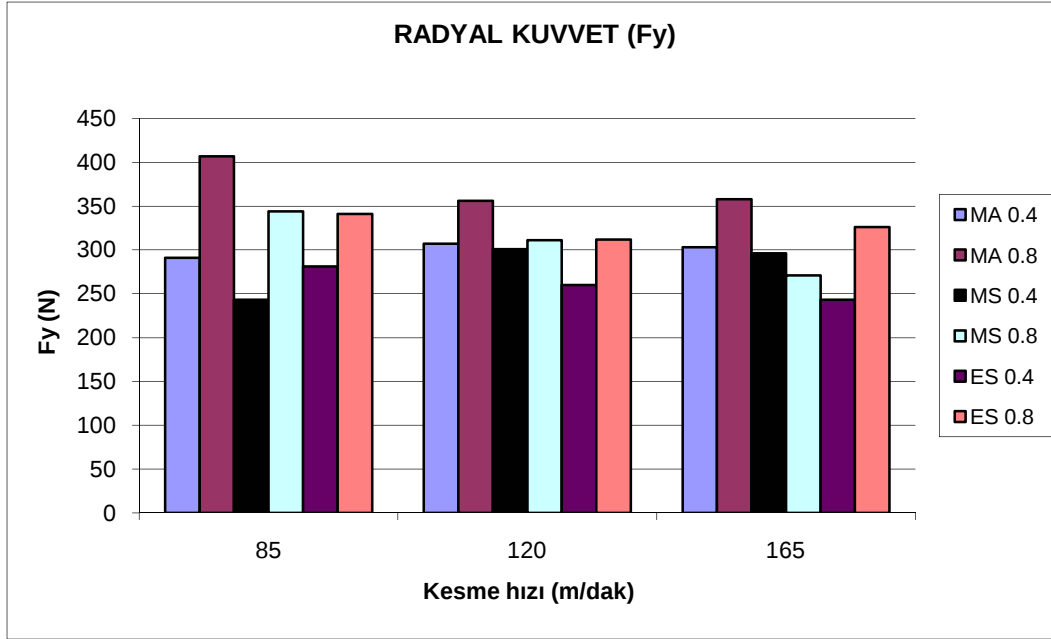
Grafiklerin genelinde (Şekil 9.19-9.21), MS 0.8 ve ES 0.8 serisi kesici takımlarda kesme hızı 120 m/dak'dan 165 m/dak'ya çıkarıldığında radyal kuvvet değerlerinde bir miktar artış gözlemlenmektedir.



Şekil 9.19. Üniversal torna tezgahında 0,1 mm/dev 'de AISI 316 Ti paslanmaz çeliğinin işlenmesi sırasında kesme hızına bağlı radyal kuvvet grafiği.



Şekil 9.20. Üniversal torna tezgahında 0,2 mm/dev 'de AISI 316 Ti paslanmaz çeliğinin işlenmesi sırasında kesme hızına bağlı radyal kuvvet grafiği



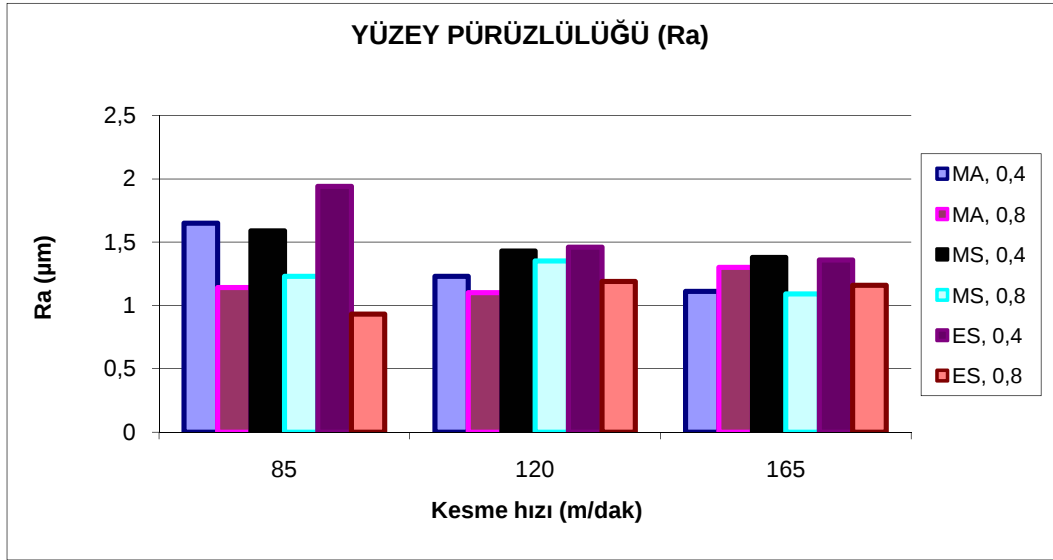
Şekil 9.21. Üniversal torna tezgahında 0,4 mm/dev 'de AISI 316 Ti paslanmaz çeliğinin işlenmesi sırasında kesme hızına bağlı radyal kuvvet grafiği

9.2.4. Kesme hızına bağlı yüzey pürüzlülükleri (Ra)

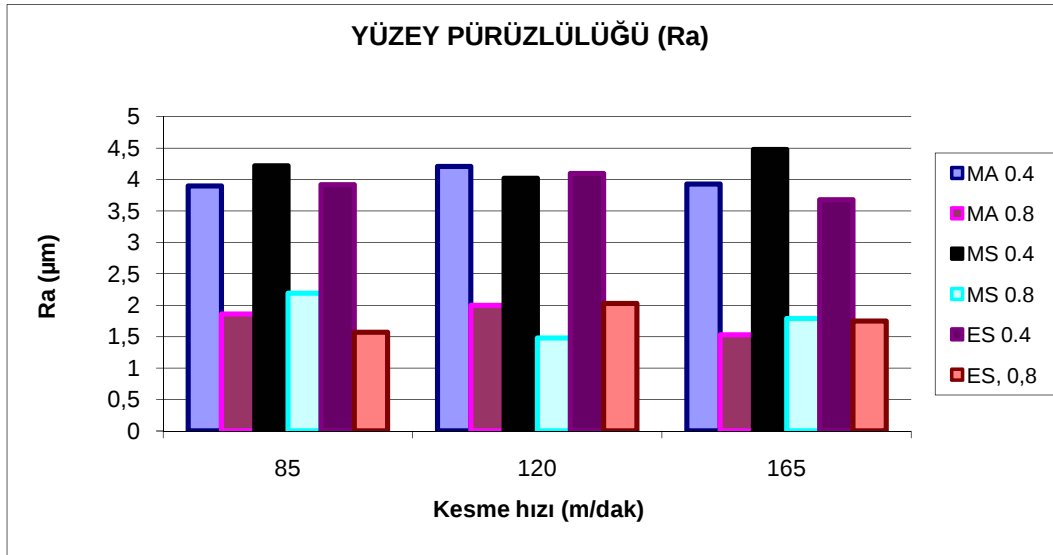
Tezdeki eşitlik 4.5'de verildiği gibi burun yarıçapı yüzey pürüzlülüğünü önemli ölçüde etkileyen bir parametredir. Fakat, Şekil.9.22-9.24 arasında verilen grafiklere bakıldığında, burun yarıçapı arasındaki farklar 0.1 mm/dev ilerlemede az olmakla beraber, 0.2 ve 0.4 mm/dev ilerleme miktarlarında çok daha fazladır. Buda gösteriyor ki düşük ilerlemelerde (0.1 mm/dev) kesici burun yarıçapı (0.4 mm, 0.8 mm) çok fazla etkili değildir (Şekil 9.22).

Literatürde, düşük kesme hızlarında yüzey pürüzlülük değerleri BUE oluşumundan dolayı yüksek olduğu, yüksek kesme hızlarında yüzey pürüzlülük değerinin yüksek çıkması ise takım aşınması ile açıklanmıştır [45]. Kesme hızına bağlı farklı ilerleme miktarlarındaki yüzey pürüzlülük grafiklerini (Şekil.9.22, 9.23, 9.24) incelendiğinde, kesme hızındaki artış ile yüzey pürüzlülük değerleri arasında çok fazla bir fark olmadığı görülmektedir. Bu sonuç, östenitik paslanmaz çeliklerin yüksek sünekliğe sahip olmaları, bileşimindeki işlenebilirliği olumsuz etkileyen elementlerin

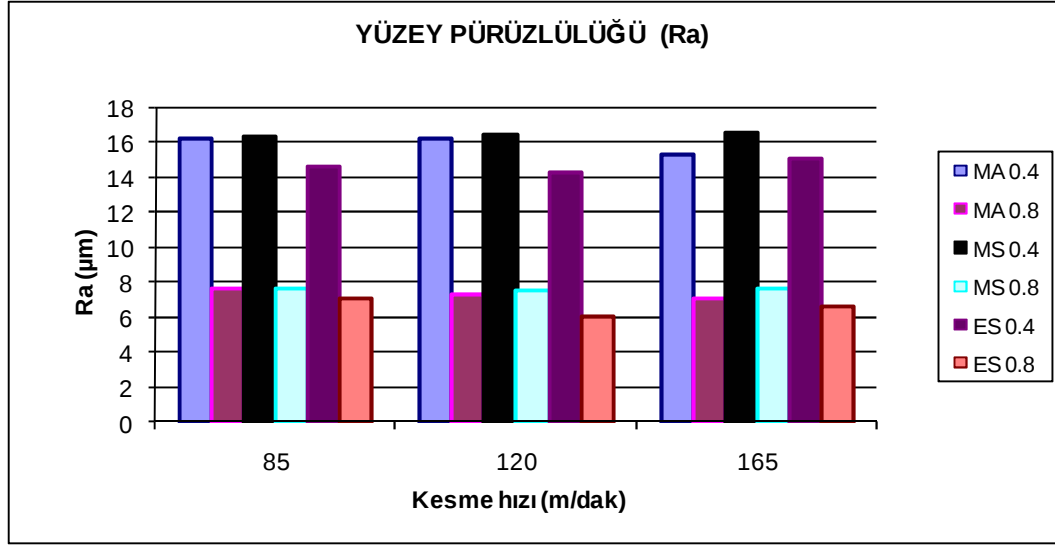
bulunması ve düşük ısı iletkenliğine sahip olmaları, vb. sebepler ile açıklanabilir. Fakat, daha yüksek kesme hızlarında bu sonuç değişebilir.



Şekil 9.22. Üniversal torna tezgahında 0,1 mm/dev 'de AISI 316 Ti paslanmaz çeliğinin işlenmesi sırasında kesme hızına bağlı yüzey pürüzlülüğü grafiği.



Şekil 9.23. Üniversal torna tezgahında 0,2 mm/dev 'de AISI 316 Ti paslanmaz çeliğinin işlenmesi sırasında kesme hızına bağlı yüzey pürüzlülüğü grafiği.



Şekil 9.24. Üniversal torna tezgahında 0,4 mm/dev 'de AISI 316 Ti paslanmaz çeliğinin işlenmesi sırasında kesme hızına bağlı yüzey pürüzlülüğü grafiği.

9.3.Kesici Uç

AISI 316 Ti paslanmaz çelik malzemenin işlenmesinde kullanılan kesici takımda oluşan uç aşınmalarının resimleri Resim 9.1-9.18 arasında verilmiştir. Yapılan deneylerde en fazla aşınma görülen kesiciler, 0.4 mm/dev ilerleme miktarlarında kullanılan uç burun yarıçapı 0.4 mm olan kesici takımlar olmuştur. Genel olarak 0.8 mm burun yarıçapına sahip kesici takımlar, 0.4 mm burun yarıçapına sahip kesicilerden daha az aşınmıştır.



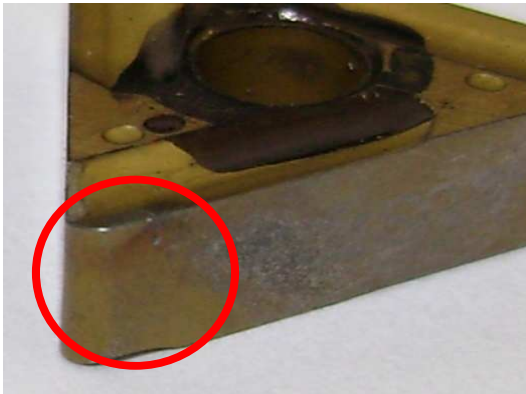
Resim 9.1. 85 m/dak kesme hızı ve 0.4 mm/dev ilerleme miktarında kesme işleminde kullanılan MA formu, 0.4 mm burun yarıçaplı kesici takım



Resim 9.2. 85 m/dak kesme hızı ve 0.8 mm/dev ilerleme miktarında kesme işleminde kullanılan MA formülü, 0.8 mm burun yarıçaplı kesici takım



Resim 9.3. 85 m/dak kesme hızı ve 0.4 mm/dev ilerleme miktarında kesme işleminde kullanılan ES formülü, 0.4 mm burun yarıçaplı kesici takım



Resim 9.4. 85 m/dak kesme hızı ve 0.8 mm/dev ilerleme miktarında kesme işleminde kullanılan ES formülü, 0.8 mm burun yarıçaplı kesici takım



Resim 9.5. 85 m/dak kesme hızı ve 0.4 mm/dev ilerleme miktarında kesme işleminde kullanılan MS formülü, 0.4 mm burun yarıçaplı kesici takım



Resim 9.6. 120 m/dak kesme hızı ve 0.8 mm/dev ilerleme miktarında kesme işleminde kullanılan MS formülü, 0.8 mm burun yarıçaplı kesici takım



Resim 9.7. 120 m/dak kesme hızı ve 0.4 mm/dev ilerleme miktarında kesme işleminde kullanılan MA formülü, 0.4 mm burun yarıçaplı kesici takım



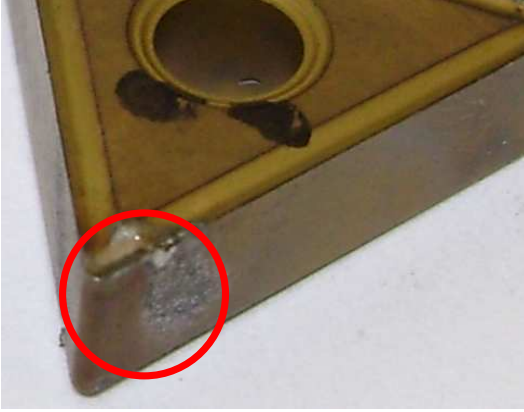
Resim 9.8. 120 m/dak kesme hızı ve 0.4 mm/dev ilerleme miktarında kesme işleminde kullanılan MA formülü, 0.8 mm burun yarıçaplı kesici takım



Resim 9.9. 120 m/dak kesme hızı ve 0.4 mm/dev ilerleme miktarında kesme işleminde kullanılan ES formülü, 0.4 mm burun yarıçaplı kesici takım



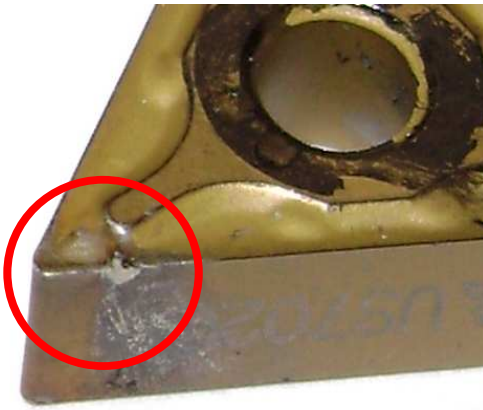
Resim 9.10. 120 m/dak kesme hızı ve 0.4 mm/dev ilerleme miktarında kesme işleminde kullanılan ES formülü, 0.8 mm burun yarıçaplı kesici takım



Resim 9.11. 120 m/dak kesme hızı ve 0.4 mm/dev ilerleme miktarında kesme işleminde kullanılan MS formülü, 0.4 mm burun yarıçaplı kesici takım



Resim 9.12. 120 m/dak kesme hızı ve 0.4 mm/dev ilerleme miktarında kesme işleminde kullanılan MS formülü, 0.8 mm burun yarıçaplı kesici takım



Resim 9.13. 165 m/dak kesme hızı ve 0.4 mm/dev ilerleme miktarında kesme işleminde kullanılan MA formülü, 0.4 mm burun yarıçaplı kesici takım



Resim 9.14. 165 m/dak kesme hızı ve 0.4 mm/dev ilerleme miktarında kesme işleminde kullanılan MA formülü, 0.8 mm burun yarıçaplı kesici takım



Resim 9.15. 165 m/dak kesme hızı ve 0.4 mm/dev ilerleme miktarında kesme işleminde kullanılan ES formülü, 0.4 mm burun yarıçaplı kesici takım



Resim 9.16. 165 m/dak kesme hızı ve 0.4 mm/dev ilerleme miktarında kesme işleminde kullanılan ES formülü, 0.8 mm burun yarıçaplı kesici takım



Resim 9.17. 165 m/dak kesme hızı ve 0.4 mm/dev ilerleme miktarında kesme işleminde kullanılan MS formu, 0.4 mm burun yarıçaplı kesici takım



Resim 9.18. 165 m/dak kesme hızı ve 0.4 mm/dev ilerleme miktarında kesme işleminde kullanılan MS formu, 0.8 mm burun yarıçaplı kesici takım

9.4. Çıkan Talaş

Genel olarak, ilerleme artıkça çıkan talaşların daha fazla kırıldığı, talaş kesitinin arttığı görülmüştür. Kullanılan kesici formu olarak; en kısa talaşın MA, ve en uzun talaşın ise ES formu kesiciler ile çıktığı gözlenmiştir. Bununla birlikte, çıkan talaşlarda en fazla kıvrılmanın (helisel) ES formu kesicilerde olduğu görülmüştür.

Aşağıda Resim 9.19-9.41 arasında AISI 316 Ti malzemesi için oluşan talaş tipi resimleri verilmiştir.



Resim 9.19. AISI 316 Ti paslanmaz çelik malzemesini MA formu, 0.4 mm burun yarıçaplı kesici takımla, $V=85$ mm/dak, $f=0.1$ mm/dev ile işlenmesi sırasında çıkan talaşlar



Resim 9.20. AISI 316 Ti paslanmaz çelik malzemesini MA formu, 0.4 mm burun yarıçaplı kesici takımla, $V=85$ mm/dak, $f=0.2$ mm/dev ile işlenmesi sırasında çıkan talaşlar



Resim 9.21. AISI 316 Ti paslanmaz çelik malzemesini MA formulu, 0.4 mm burun yarıçaplı kesici takımla, $V=85$ mm/dak, $f=0.4$ mm/dev ile işlenmesi sırasında çıkan talaşlar



Resim 9.22. AISI 316 Ti paslanmaz çelik malzemesini MA formulu, 0.8 mm burun yarıçaplı kesici takımla, $V=85$ mm/dak, $f=0.1$ mm/dev ile işlenmesi sırasında çıkan talaşlar



Resim 9.23. AISI 316 Ti paslanmaz çelik malzemesini MA formulu, 0.8 mm burun yarıçaplı kesici takımla, $V=85$ mm/dak, $f=0.2$ mm/dev ile işlenmesi sırasında çıkan talaşlar



Resim 9.24. AISI 316 Ti paslanmaz çelik malzemesini MA formulu, 0.8 mm burun yarıçaplı kesici takımla, $V=85$ mm/dak, $f=0.4$ mm/dev ile işlenmesi sırasında çıkan talaşlar



Resim 9.25. AISI 316 Ti paslanmaz çelik malzemesini MS formülü, 0.4 mm burun yarıçaplı kesici takım ile, $V=85$ mm/dak, $f=0.4$ mm/dev ile işlenmesi sırasında çıkan talaşlar



Resim 9.26. AISI 316 Ti paslanmaz çelik malzemesini MS formülü, 0.8 mm burun yarıçaplı kesici takım ile, $V=85$ mm/dak, $f=0.1$ mm/dev ile işlenmesi sırasında çıkan talaşlar



Resim 9.27. AISI 316 Ti paslanmaz çelik malzemesini ES formu, 0.8 mm burun yarıçaplı kesici takımla, $V=120$ mm/dak, $f=0.1$ mm/dev ile işlenmesi sırasında çıkan talaşlar



Resim 9.28. AISI 316 Ti paslanmaz çelik malzemesini ES formu, 0.8 mm burun yarıçaplı kesici takımla, $V=120$ mm/dak, $f=0.4$ mm/dev ile işlenmesi sırasında çıkan talaşlar



Resim 9.29. AISI 316 Ti paslanmaz çelik malzemesini MS formu, 0.4 mm burun yarıçaplı kesici takımla, $V=120$ mm/dak, $f=0.1$ mm/dev ile işlenmesi sırasında çıkan talaşlar



Resim 9.30. AISI 316 Ti paslanmaz çelik malzemesini MS formu, 0.4 mm burun yarıçaplı kesici takımla, $V=120$ mm/dak, $f=0.2$ mm/dev ile işlenmesi sırasında çıkan talaşlar



Resim 9.31. AISI 316 Ti paslanmaz çelik malzemesini MS formulu, 0.8 mm burun yarıçaplı kesici takımla, $V=120$ mm/dak, $f=0.1$ mm/dev ile işlenmesi sırasında çıkan talaşlar



Resim 9.32. AISI 316 Ti paslanmaz çelik malzemesini MS formulu, 0.8 mm burun yarıçaplı kesici takımla, $V=120$ mm/dak, $f=0.2$ mm/dev ile işlenmesi sırasında çıkan talaşlar



Resim 9.33. AISI 316 Ti paslanmaz çelik malzemesini MS formlu, 0.8 mm burun yarıçaplı kesici takımla, $V=120$ mm/dak, $f=0.4$ mm/dev ile işlenmesi sırasında çıkan talaşlar



Resim 9.34. AISI 316 Ti paslanmaz çelik malzemesini MA formlu, 0.4 mm burun yarıçaplı kesici takımla, $V=165$ mm/dak, $f=0.1$ mm/dev ile işlenmesi sırasında çıkan talaşlar



Resim 9.35. AISI 316 Ti paslanmaz çelik malzemesini MA formlu, 0.4 mm burun yarıçaplı kesici takımla, $V=165$ mm/dak, $f=0.2$ mm/dev ile işlenmesi sırasında çıkan talaşlar



Resim 9.36. AISI 316 Ti paslanmaz çelik malzemesini ES formlu, 0.4 mm burun yarıçaplı kesici takımla, $V=165$ mm/dak, $f=0.1$ mm/dev ile işlenmesi sırasında çıkan talaşlar



Resim 9.37. AISI 316 Ti paslanmaz çelik malzemesini ES formu, 0.4 mm burun yarıçaplı kesici takım, $V=165$ mm/dak, $f=0.2$ mm/dev ile işlenmesi sırasında çıkan talaşlar



Resim 9.38. AISI 316 Ti paslanmaz çelik malzemesini ES formu, 0.4 mm burun yarıçaplı kesici takım, $V=165$ mm/dak, $f=0.4$ mm/dev ile işlenmesi sırasında çıkan talaşlar



Resim 9.39. AISI 316 Ti paslanmaz çelik malzemesini ES formu, 0.8 mm burun yarıçaplı kesici takım ile, $V=165$ mm/dak, $f=0.4$ mm/dev ile işlenmesi sırasında çıkan talaşlar



Resim 9.40. AISI 316 Ti paslanmaz çelik malzemesini MS formu, 0.4 mm burun yarıçaplı kesici takım ile, $V=165$ mm/dak, $f=0.4$ mm/dev ile işlenmesi sırasında çıkan talaşlar



Resim 9.41. AISI 316 Ti paslanmaz elik malzemesini MS formlu, 0.8 mm burun yarıçaplı kesici takımla, $V=165$ mm/dak, $f=0.4$ mm/dev ile işlenmesi sırasında çıkan talaşlar

10. SONUÇ ve ÖNERİLER

AISI 316 Ti paslanmaz çelik malzemenin farklı kesme parametreleri ve farklı uç desenlerine sahip kesici uç takımlarla işlenmesine yönelik elde edilen sonuçlar ve öneriler aşağıda verilmiştir.

10.1. Sonuçlar

Deney sonuçlarını genel olarak değerlendirdiğimizde, ilerleme miktarı arttıkça kesme kuvvetlerinin arttığı, kesme hızı arttıkça kuvvetlerin azalma eğilimi gösterdiği gözlemlenmiştir. Tüm kesme parametrelerinde 0.4 mm burun yarıçaplı kesici takımların yüksek ilerleme miktarlarında en yüksek kesme (F_z) ve ilerleme (F_x) kuvveti değerlerini verdiği görülmüştür. 0.8 mm burun yarıçaplı kesiciler en yüksek radyal (F_y) kuvvet değerlerini vermiştir. En iyi yüzey pürüzlülük değerlerinin en büyük burun yarıçapına (0.8 mm) sahip kesicilerle elde edildiği ortaya çıkmıştır.

Bu bilgilere ilave olarak aşağıda iki başlık altında bazı sonuçlar detaylandırılmıştır.

Kesme parametrelerinin kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi:

- En düşük kesme kuvveti (379 N), ilerleme kuvveti (212 N) ve radyal kuvveti (83 N) değerleri 0.1 mm/dev ilerleme miktarı ve 165 m/dak kesme hızında ve en yüksek kesme kuvveti (1469 N), ilerleme kuvveti (730 N) ve radyal kuvvet (407 N) değerleri de 0.4 mm/dev ilerleme miktarı ve 85 m/dak kesme hızında elde edilmiştir. Bu sonuçlarda kesme hızı ve ilerleme miktarının kuvvetler üzerindeki etkisini göstermektedir. Bu sonuçlar literatürle uyumludur.
- Yüzey pürüzlülük değerleri bakımından sonuçları incelediğimizde eşitlik 4.5 ve literatüre uygun olarak en düşük ilerleme miktarında (0,1 mm/dev) en iyi yüzey pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. 85 m/dak kesme hızı, yüzey pürüzlülük değeri (0.93 μ m) bakımından en ideal sonuç elde edilmiştir.

- En yüksek yüzey pürüzlülük değeri ($16.5 \mu\text{m}$) 165 m/dak kesme hızında ve 0.4 mm/dev ilerleme miktarında görülmüştür. Bu sonuçta literatüre uygun bir sonuçtur.

Kesici uç formu ve burun yarıçapının kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi:

- Yapılan deneyler; kesici burun yarıçapının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisinin büyük olduğunu kanıtlamıştır. Burun yarıçapının büyümesi ile yüzey pürüzlülük değeri düşmüştür. Bu doğrultuda 0.8 mm burun yarıçapına sahip kesici uç, 0.4 mm burun yarıçapına sahip kesici uçlardan daha iyi sonuç vermiştir. 0.4 mm ve 0.8 mm burun yarıçaplarının arasındaki fark özellikle 0.2 ve 0.4 mm/dev ilerleme miktarlarında daha net gözlemlenebilmektedir. Bu farkın 0.1 mm/dev ilerleme miktarında bu kadar net görülmemesi ilerleme miktarının düşük olmasıdır. Çünkü ilerleme miktarının yüzey pürüzlülüğüne etkisi burun yarıçapından daha fazladır.
- İlerleme ve kesme kuvvetleri değerlerini incelediğimizde, 0.2 mm/dev ve 0.4 mm/dev ilerleme miktarlarında, 0.4 mm burun yarıçaplı kesici takımlar, 0.8 mm burun yarıçaplı kesici takımlara göre daha yüksek kuvvet değerleri vermiştir. Bu sonuç, “DENEYLER VE SONUÇLAR” bölümünde bahsedildiği gibi 0.4 mm burun yarıçaplı kesici takımlarda meydana gelen aşınma olarak açıklanmaya çalışılmıştır.
- Radyal kuvvetlerde en yüksek değeri 0.8 mm burun yarıçaplı kesici takımlar vermiştir. Bu literatüre uygun bir sonuçtur. Radyal kuvvetlerde en düşük kuvvet değerini MA serisi 0.4 mm burun yarıçaplı kesici takım ile elde edilmiştir.
- Kesici formlarda en iyi kesme ve ilerleme kuvveti değerlerini ES formuna sahip kesici uçlar ile elde edilmiştir. MS serisi kesici formlar ise en yüksek ilerleme ve kesme kuvveti değerlerini vermiştir.

- Yüzey pürüzlülüğü değerlerinde en yüksek değeri MS formuna sahip kesici takım verirken en iyi sonucu ES formu kesici takım vermiştir.

10.2. Öneriler

316 Ti malzemesine sahip iş parçalarının talaş kaldırılan çaplarda dairesellik ölçümleri yapılabilir. Böylelikle de kesici burun yarıçapı ve formunun iş parçasının çap daireselliği üzerindeki etkileri belirlenebilir.

316 Ti malzemesinin işlenmesinde sıcaklık ölçümü de yapılabilir. Elde edilen sıcaklık değerleri ile kesici burun yarıçapı ve formu arasında ilişkilendirilebilir.

KAYNAKLAR

1. İnternet : "Paslanmaz Çeliklerin İç Yapıları ve Temel Türleri" <http://www.santast.com.tr>.
2. Sandvik Coromant Inc ''Modern Metal Cutting-A Practical Handbook'', **Sweden** (1997).
3. Outeiro, J.C., Dias, A.M., Lebrun, J.L., Astakhov, V.P., "Machining residual stresses in AISI 316L steel and their correlation with the cutting parameters", **Machining Science and Technology**, 6 (2): 251–270 (2002).
4. İnternet : "Paslanmaz Çelik Nedir?" <http://www.ozmetalozykanoz.com.tr>.
5. Paldey, S.and Devi, S.C., "Single layer and multilayer wear resistant coatings of(Ti,Al)N a review", **Materyal science and engineering**, 342:58-79 (2003).
6. Jindal, P.C., Santhanam, A.T., Schleinkofer, U., Shuster, AF., "Performance of PVD Tin, TiCNi and TiAlN coated cemented carbide tools in turning", **Internacional Journal of Refractory Metals & Hard Materials**, 17:163-170 (1999).
7. Çakır, M.C., and Işık, Y., "Detecting tool breakage in turning AISI 1050 steel using coated and uncoated cutting tools", **Journal of Materials Processing Technology**, 159:191-198(2005).
8. Sarwar, M., Zhang, X., Gillibrand, D, "Performance of Titanium Nitride-Coated Carbide Tipped Circular Saws When Cutting Stainless Steel and Mild Steel" **Surface and Coatings Technology**, 94-95: 617-627, (1997).
9. Habalı, K., "Kesici Takım Kaplama Malzemesinin Takım-Talaş Ara Yüzey Sıcaklığı Üzerindeki Etkisinin Deneysel Olarak Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Makine Eğitim Bölümü**, Ankara, 1-32(2003).
10. DeGarmo, E.P., Black, J.T. ve Kohser, R.A., **Materials and Processes in Manufacturing**, Prentice- Hall Inc., New Jersey, A.B.D.(1997).
11. Çiftçi, İ., "Östenitik Paslanmaz Çeliklerin İşlenmesinde Kesici Takım Kaplamasının ve Kesme Hızının Kesme Kuvvetleri ve Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi", **Gazi Üni. Müh. Mim. Fak. Der.**, 20(2): 205-209, (2005).

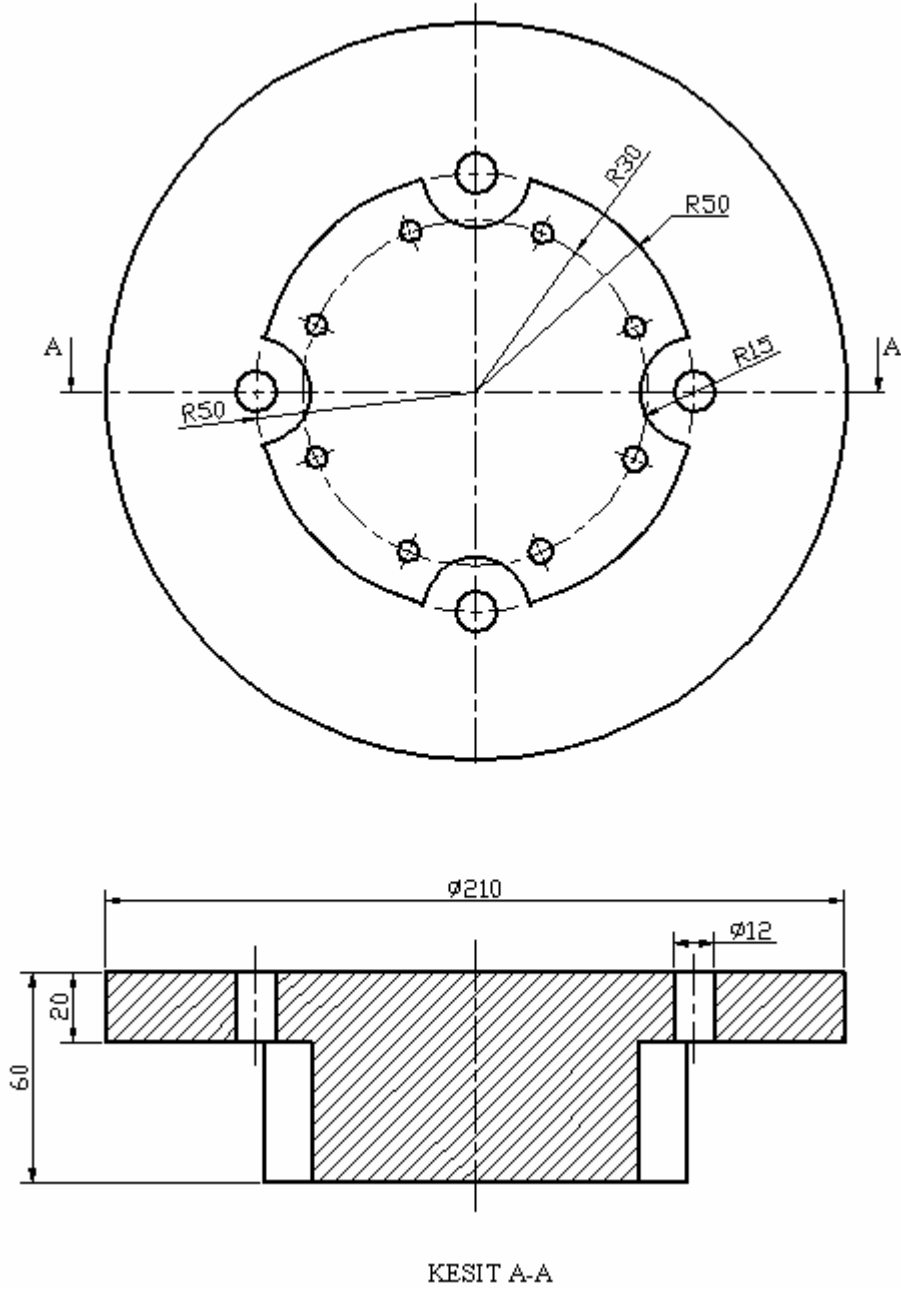
12. Sandvik Coromand, “*Modern Metal Cutting-A Pratical Handbook*”, **ISBN**, 94-99(1994).
13. Paro, J., Hannien, H. And Veijo, “Tool Wear and Machinability of X5 CrMnN 18 Stainless Steels”, ***Kauppinen Journal of Materials Processing Technology***, 14-20 (2001).
14. Taşlıyan, A., Acerer, M., Şeker, U., Gökkaya, H., Demir, B., “Inconel 718 Süper Alaşımının İşlenmesinde Kesme Parametrelerinin Kesme Kuvveti üzerindeki Etkisi”, ***Gazi Üni. Müh. Mim. Fak. Der.***, 22(1): 1-5 (2007).
15. Paro, J., Hanninen, H. ve Kauppinen, V., “Tool Wear and Machinability of HIPed P/M and conventional cast duplex Stainless Steels”, ***Journal of Materials Processing Technology***, 249: 279-284(2001).
16. Mills, B. And Redford, A. H., 1983 ***Machinability Of Engineering Materials***, University of Salford, UK, pp. 107-108.
17. Özses B.,’’Bilgisayar Sayısal Denetimli Takım Tezgahlarında Değişik İşleme Koşullarının Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi ’’, Yüksek Lisans Tezi, ***Gazi Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü***, Ankara, 1-35(2202).
18. Zeyveli, M. ve Demir, H., “AISI 01 Soğuk İş Takım Çeliğinin İşlenebilirliğinin Kesme Kuvvetleri Ve Yüzey Pürüzlülüğü Açısından Araştırılması”, ***e-Journal of New World Sciences Academy*** , 4,2: 323-331(2009).
19. Özek, C.,Taşdemir, V., “AISI 304 Östenitik Paslanmaz Çeliğin Tornalanmasında Yüzey Pürüzlülüğünün Varyans Analizi İle Modellenmesi”, ***e-Journal of New World Sciences Academy*** , 4, 3: 305-313(2009).
20. Korkut, I., Kasap, M., Ciftci, I. and Seker, U., “Determination of Optimum Cutting Parameters during Machining of AISI 304 Austenitic Stainless Steel”, ***Materials & Design***, 25(4): 303-305(2004).
21. Tekaslan, Ö.,Gerger, N. Ve Şeker, U., “AISI 304 Östenitik Paslanmaz Çeliklerde Kesme Parametrelerine Bağlı Olarak Yüzey Pürüzlülüklerinin Araştırılması”, ***BAÜ FBE Der.***, 10(2): 3-12(2008).
22. Kasap M., “AISI 304 Östentik Paslanmaz çeliklerin İşlenebilirliğinde En Uygun Kesme Parametrelerinin Belirlenmesi ve İşele Şartlarının Deneyisel Olarak Araştırılması”, Yüksek Lisans, ***Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*** Ankara, 34-35(2201).

23. Özek, C.,Hasçalık, A.,Çaydaş, U. ve Karaca, F.,”AISI 304 Östenitik Paslanmaz Çeliğin Tornalanması ”, **Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi**, 117-121 (2006).
24. Zafer Tekiner, Z. And Yeşilyurt, S., “Investigattion of the cutting parameters depending on process sound during turning of AISI 304 austenitic stainless Steel”, **Journal of Materials Processing Technology**, 25:507-513(2004).
25. Yeyen H.E, “AISI 303 Östenitik Paslanmaz Çeliklerin İşlenebilirliğinin Deneyisel Olarak Araştırılması”, **Yüksek Lisans, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, (2006).
26. Yeyen, H:E., Korkut, İ., Turgut, Y.ve Çiftçi, İ.,”AISI 303 Östenitik Paslanmaz Çeliklerin İşlenmesinde Kesme Hızı ve İlerlemenin Kesme Kuvvetleri ve Yüzey Pürüzlülüğü Üzerindeki Etkileri”, **5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu**, (2009).
27. Altunkaya E.,”AISI 316 Östenitik :Çeliğin İşlenmesinde Kesme Değerlerinin ve Takım Kaplamasının Yüzey Pürüzlülüğüne ve Takım Aşınmasına Etkilerinin İncelenmesi”, **Yüksek Lisans, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, (2006).
28. İnternet : "Paslanmaz Çeliklerin İç Yapıları ve Temel Türleri", <http://www.sarintas.com.tr>.
29. İnternet : "Paslanmaz Çelik", <http://www.gerpaas.com.tr>.
30. Odabaş, C., “Paslanmaz Çelikler”, Kaynak **Tekniği Sanayi ve Ticaret A.Ş, İstatabul**, (2004).
31. İnternet : "Paslanmaz Çelik Hakkında Teknik Bilgiler", <http://www.kromaks.com>.
32. Çelik, Ö., Kayalı E. Ve Çimenoglu, H., “Ortopedik Uygulamalar İçin Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Nitratasyonu”, **5. Uluslar arası İleri Teknolojiler Sempozyumu**, (2009).
33. Kayır, Y.Z., “Dünyada ve Türkiye’de Paslanmaz Çelik”, **KOSGEB**, (2007).
34. T. Çamlıdere, “ Kromit, Ferrokrom, İnsan Kaynakları ve Paslanmaz Çelik, ETİ **KROM A.S. Darboğaz Raporu” Eti Holding A.S.** , (1999).

35. İnternet : “Uluslararası Paslanmaz Çelik Forumu”, www.wordstainless.org.
36. Mendi, F., ‘‘Takım Tezgahları Teori ve Hesapları’, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Tasarım ve konstrüksiyon, Ankara ,(1996).
37. Akkurt, M., “Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları” , **Birsen Yayınevi**, İstanbul, (1991).
38. Çakır, C., “Modern talaşlı imalat yöntemleri”(Çeviri), **Vipaş A.Ş.**, Bursa ,(2000).
39. Şahin, Y., “Talaş kaldırma prensipleri” Cilt-1, **Nobel Basın Yayın Dağıtım**, Ankara , (2000).
40. Işık, Y., ‘‘Kesici Takım Teknolojisi’’, **Uludağ Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu**,(2009).
41. Şeker U., 2003, “Takım Tasarımı Ders Notları”, Gazi Üniversitesi, Ankara.
42. Usta, Muharrem, ‘‘ Tornalama Takım Tezgahlarında Delik Delme Operasyonları Sırasında Ortaya Çıkan Kesme Kuvvetleri ve Isı Etkisinin Araştırılması’’, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara (2010).
43. Şahin, Y., “Talaş Kaldırma Prensipleri” Cilt-2, **Nobel Basın Yayın Dağıtım**, Ankara , (2001).
44. Korucu, S., “Hidrolik Kopya Aparatı Yardımı İle Elde Edilen Parçalarda Yüzey Pürüzlülüğünün Deneysel İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara (1996).
45. Trent E.M., “**Metal Cutting**”, Butterworths Pres, London, (1989).

EKLER

EK – 1 Ünlversal torna tezgahı için bağlama aparatı



Şekil 1.1. Dinamometrenin torna tezgahına bağlanabilmesi için bağlama aparatının yapım resmi

EK – 2 Deney kartı

Çizelge 1.1. Deney kartı

Kesici Formu	Uç Radyüsü (mm)	İlerleme Miktarı (mm/dev)	Kesme Hızı (m/dak)	Yüzey Pürüzlülük Değeri (μm)	Kesme Kuvveti (N)	İşleme Zamanı	Parça no	Deney Sonucu	Deney No:	Deney Veri Dosyası Adı
☐ MA ☐ MS ☐ ES	☐ 0.1 ☐ 0.4 ☐ 0.8	☐ 0.1 ☐ 0.2 ☐ 0.4	☐ 500 ☐ 710 ☐ 1000		Fy..... Fx..... Fz.....			☐ İşleme Uygun ☐ Uç körelidi ☐ Uç kırıldı		
☐ MA ☐ MS ☐ ES	☐ 0.1 ☐ 0.4 ☐ 0.8	☐ 0.1 ☐ 0.2 ☐ 0.4	☐ 500 ☐ 710 ☐ 1000		Fy..... Fx..... Fz.....			☐ İşleme Uygun ☐ Uç körelidi ☐ Uç kırıldı		
☐ MA ☐ MS ☐ ES	☐ 0.1 ☐ 0.4 ☐ 0.8	☐ 0.1 ☐ 0.2 ☐ 0.4	☐ 500 ☐ 710 ☐ 1000		Fy..... Fx..... Fz.....			☐ İşleme Uygun ☐ Uç körelidi ☐ Uç kırıldı		
☐ MA ☐ MS ☐ ES	☐ 0.1 ☐ 0.4 ☐ 0.8	☐ 0.1 ☐ 0.2 ☐ 0.4	☐ 500 ☐ 710 ☐ 1000		Fy..... Fx..... Fz.....			☐ İşleme Uygun ☐ Uç körelidi ☐ Uç kırıldı		

EK – 3 Kistler dinamometre seçim tablosu

Çizelge 3.1. Kistler dinamometre seçim tablosu

Dynamometer				Process									
				Turning			Milling		Drilling		Grinding		
				outside	outside	inside							
				Cut	heavy	light	Cut	heavy	light	Cut	heavy	light	Cut
Type	Components	stationary	rotating	heavy	light	light	heavy	light	heavy	light	heavy	light	heavy
9121	F_x, F_y, F_z	x			9153A...	9151A...							
9123C...	F_x, F_y, F_z, M_x		x										
9124B...	F_x, F_y, F_z, M_x		x										
9125A...	F_x, M_x		x										
9253B...	F_x, F_y, F_z	x											
9254	F_x, F_y, F_z	x											
9255B	F_x, F_y, F_z	x								M_x			
9256C...	F_x, F_y, F_z	x			9402						M_x		
9257B	F_x, F_y, F_z	x			9403						M_x		
9257BA	F_x, F_y, F_z	x			9403								
9265B	F_x, F_y, F_z	x		9441B	9441B		9443B	9443B			9443B	9443B	
9272	F_x, F_y, F_z, M_x	x			9404								

 Dynamometer suitable

 Measurement possible with restrictions

 9443B Accessories required

 M_x Spindle torque calculated

heavy/light Do not exceed maximum dynamometer load

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı : AYTÜRK, Ahmet
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 11.05.1979 Ankara
 Medeni hali : Bekar
 Telefon : 0 544 621 08 67
 e-mail : ahmetayturk@hotmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü	2005
Lise	Ankara Y.Mah.Anadolu Meslek Lisesi	1997

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2005-2010	AYTÜRK MAKİNE	Tasarım ve İmalat

Hobiler

Müzik, doğa yürüyüşleri, kamp yapmak, balık tutmak.