

**ÖSTENİTİK PASLANMAZ ÇELİKLERİN İŞLENEBİLİRLİĞİ
ÜZERİNDE FARKLI KESİCİ KENAR FORMLARININ ETKİSİNİN
KARŞILAŞTIRMALI OLARAK ARAŞTIRILMASI**

Barış BAKIRCIOĞLU

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

EYLÜL 2013

ANKARA

Barış BAKIRCIOĞLU tarafından hazırlanan “ÖSTENİTİK PASLANMAZ ÇELİKLERİN İŞLENEBİLİRLİĞİ ÜZERİNDE FARKLI KESİCİ KENAR FORMLARININ ETKİSİNİN KARŞILAŞTIRMALI OLARAK ARAŞTIRILMASI” adlı bu tezin Yüksek Lisans olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Abdullah DURAN
Tez Danışmanı, Makine Eğitimi Anabilim Dalı

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

Doç.Dr. Ahmet GÜRAL
Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

Yrd. Doç. Dr. Abdullah DURAN
İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

Yrd. Doç. Dr. Yakup TURGUT
İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

Tez Savunma Tarihi: 25/09/2013

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

Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU
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.

Barış BAKIRCIOĞLU

**ÖSTENİTİK PASLANMAZ ÇELİKLERİN İŞLENEBİLİRLİĞİ
ÜZERİNDE FARKLI KESİCİ KENAR FORMLARININ ETKİSİNİN
KARŞILAŞTIRILMALI OLARAK ARAŞTIRILMASI
(Yüksek Lisans Tezi)**

Barış BAKIRCIOĞLU

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Eylül 2013

ÖZET

Bu çalışmada, östenitik paslanmaz çelik malzemelerin farklı kesici kenar formlarına sahip takımlarla tornalanması esnasında kesme parametrelerinin kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğüne olan etkisi incelenmiştir. Deneysel çalışmalarda; AISI 303, AISI 304 ve AISI 316L tipi östenitik paslanmaz çelik malzemeler kullanılmıştır. Bu malzemeler üç farklı kesici kenar formuna (SNMG 12 04 08-MM, SNMG 12 04 08-MR ve SNMG 12 04 08-QM) ve üç farklı takım uç yarıçapına (0,8; 1,2; 1,6 mm) sahip kesici takımlarla tornalanmıştır. Deneyler kuru işleme şartlarında kesme derinliği (2 mm) sabit tutularak, dört farklı kesme hızı (125 m/dk, 150 m/dk, 175 m/dk ve 200 m/dk) ve üç farklı ilerleme miktarı (0,1 mm/dev, 0,2 mm/dev ve 0,3 mm/dev) seçilerek ISO 3685 standardına uygun olarak yapılmıştır. Kesme kuvvetlerinin ölçümleri Kistler 9257 B model dinamometre ile gerçekleştirilirken yüzey pürüzlülüğü değeri ise 9633 seri numaralı Mahr Perthometer M1 yüzey pürüzlülüğü cihazı yardımıyla ölçülmüştür. Deneylerden elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde; ilerleme miktarının artması, kesme kuvvetlerinin ve yüzey pürüzlülüğünün artmasına neden olmuştur. Kesici takım uç yarıçapının arttırılması ise kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğüne olumlu katkılar sağlamıştır. Malzemelerin karşılaştırılması durumunda işlenebilirlik açısından AISI 303 ve AISI 304

malzemelerden birbirine yakın veriler elde edilirken AISI 316L malzemenin ise daha zor işlendiği görülmüştür. Ayrıca esas kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü değerleri QM kesici kenar formunda düşük, MR kesici kenar formunda yüksek çıkmıştır.

Bilim Kodu : 708.3.028

Anahtar Kelimeler : Östenitik paslanmaz çelik, işlenebilirlik, kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü, kesici kenar formu.

Sayfa Adedi : 102

Tez Yöneticisi : Yrd. Doç. Dr. Abdullah DURAN

**A COMPARATIVE STUDY OF THE EFFECT OF DIFFERENT CUTTING
EDGE FORMS ON THE MACHINABILITY OF AUSTENITIC STAINLESS
STEEL**

(M.Sc. Thesis)

Barış BAKIRCIOĞLU

GAZI UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

September 2013

ABSTRACT

In this study, the effect of cutting parameters on cutting forces and surface roughness in the course of machining of austenitic stainless steel materials by the tools having different cutting edge forms were examined. In the experimental studies, AISI 303, AISI 304 and AISI 316L type austenitic stainless steel materials were used. These materials were machined by cutting tools that have three different cutting tool forms (SNMG 12 04 08-MM, SNMG 12 04 08-MR and SNMG 12 04 08-QM) and three different tool edge radiuses (0,8; 1,2; 1,6 mm). Experiments were carried out in accordance with ISO 3685 standard by keeping cutting depth (2 mm) fixed under dry process conditions and by choosing four different cutting speeds (125 m/min, 150 m/ min, 175 m/ min and 200 m/ min) and three different feed rates (0,1 mm/rev, 0,2 mm/rev and 0,3 mm/rev). While measurements of cutting forces were performed through Kistler 9257 B model dynamometer, roughness value was measured with 9633 serial numbered Mahr Perthometer M1 surface roughness device. The results of the experiments showed that as the feed rates increased, cutting forces and surface roughness increased, too. Increasing cutting tool edge radiuses made positive contributions to cutting forces and surface roughness. As to the comparison of machinability of the materials, similar values were obtained

between AISI 303 and AISI 304, whereas AISI 316L proved to be a tougher material to machine. Also on the cutting edge in the form of cutting force and surface roughness values from QM, MR was higher in the form of cutting edge.

Science Code : 708.3.028

Key Words : Austenitic stainless steel, machinability, cutting forces, surface roughness, cutting edge form.

Page Number : 102

Supervisor : Assist. Prof. Dr. Abdullah DURAN

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince öneri ve yardımlarını esirgemeyen, desteğiyle her zaman yanımda olan tez danışmanım, çok değerli büyüğüm, değerli hocam Yrd.Doç. Dr. Abdullah DURAN'a teşekkürlerimi borç bilirim.

Tezimin her aşamasında üstün bilgi birikimini esirgemeyen, her anlamda örnek almaya çalıştığım, çok değerli hocam Prof.Dr. Ulvi ŞEKER'e teşekkür ederim.

Bütün çalışmalarım esnasında yanımda olan ve her aşamada yardımına koşan çok kıymetli abim Öğr.Gör.Şakir YAZMAN'a, yine çok kıymetli arkadaşlarım Uzman Selçuk YAĞMUR'a, Öğr.Gör. Güven MERAL'e ve Okutman Yusuf DEMİR'e teşekkür ederim.

Çalışmalarım sırasında yardımlarından faydalandığım değerli arkadaşlarım Arş.Gör. Selim HARTOMACIOĞLU, Arş.Gör.Gültekin UZUN ve değerli hocalarım Yrd.Doç.Dr. Yakup TURGUT ve Yrd.Doç.Dr. Mustafa GÜNAY'a çok teşekkür ederim.

Öğrenim yaşamım boyunca maddi ve manevi her türlü desteği veren çok değerli aileme teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca 07/2011-18 kodlu proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi Başkanlığı'na da çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	viii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvi
1.GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER	3
2.1. Talaş Kaldırma Prensipleri ve İşlenebilirlik.....	3
2.2. Talaş Oluşumu ve Talaş Geometrisi	4
2.2.1. Talaş tipleri	6
2.2.2. Talaş kaldırmayı etkileyen temel parametreler.....	7
2.3. Kesme Kuvvetleri.....	8
2.4. Yüzey Pürüzlülüğü	11
2.4.1. İdeal yüzey pürüzlülüğü	12
2.4.2. Doğal yüzey pürüzlülüğü.....	13
2.4.3. Yüzey pürüzlülüğüne etki eden faktörler	14
2.5. İşlenebilirlik.....	16
2.5.1. İşlenebilirliği etkileyen faktörler	18
2.6. Kesici Takım Geometrisi.....	26

Sayfa

2.6.1. Kesici takım üzerindeki yüzeyler	27
2.6.2. Kesici takım üzerindeki açılar	28
2.7. Kesici Takımda Olması Gereken Özellikler	30
2.7.1. İyi kesme kabiliyeti	30
2.7.2. Yüksek aşınma mukavemeti	30
2.7.3. Eğilme kırılmasına karşı yüksek mukavemet ve sıklık (dirilik).....	31
2.7.4. Sıcaklık değişikliklerine iyi dayanabilme.....	31
2.8. Talaş Kırma ve Talaş Kırıcılar.....	31
2.9. Paslanmaz Çelikler.....	35
2.9.1. Paslanmaz çeliklerin sınıflandırılması.....	36
2.9.2. Alaşım elementlerinin çelik yapısına etkisi.....	44
2.9.3. Paslanmaz çeliklerin işlenebilirliği.....	48
3. LİTERATÜR ÇALIŞMASI.....	53
4. MATERYAL VE METOT	59
4.1. Deney Numuneleri	59
4.2. Deneylerde Kullanılan Takım Tezgahı	60
4.3. Deneylerde Kullanılan Takım Tutucu, Kesici Takımlar ve Kesme Parametreleri	60
4.3.1. Takım tutucu ve kesici takımlar	60
4.3.2. Kesme parametreleri.....	61
4.4. Kesme Kuvvetlerinin Ölçülmesi	62
4.5. Yüzey Pürüzlülüğünün Ölçülmesi.....	63
4.6. Çalışmada Kullanılan Makina ve Teçhizatlar	64

Sayfa

5. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA	66
5.1. Kesme Kuvvetlerinin Değerlendirilmesi	66
5.1.1. MM kesici kenar formunun kesme kuvvetlerine etkisi	66
5.1.2. MM, MR ve QM kesici kenar formlarının kesme kuvvetlerine etkisi....	73
5.2. Yüzey Pürüzlülüğünün Değerlendirilmesi	81
5.2.1. MM kesici kenar formunun yüzey pürüzlülüğüne etkisi	81
5.2.2. MM, MR ve QM kesici kenar formlarının yüzey pürüzlülüğüne etkisi.....	84
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	88
KAYNAKLAR	90
EKLER.....	95
ÖZGEÇMİŞ	102

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. AISI 303 çeliğinin kimyasal kompozisyonu.....	40
Çizelge 2.2. AISI 303 çeliğinin mekanik özellikleri	40
Çizelge 2.3. AISI 304 çeliğinin kimyasal kompozisyonu	41
Çizelge 2.4. AISI 304 çeliğinin mekanik özellikleri.....	41
Çizelge 2.5. AISI 316L çeliğinin kimyasal kompozisyonu	43
Çizelge 2.6. AISI 316L çeliğinin mekanik özellikleri	43
Çizelge 4.1. Deneyleerde kullanılan malzemelerin kimyasal kompozisyonu	59
Çizelge 4.2. Deneyleerde kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri.....	60
Çizelge 4.3. Deneyleerde kullanılan kesme parametreleri.....	61
Çizelge 4.4. KISTLER 9257B tipi dinamometrenin teknik özellikleri	63
Çizelge 4.5. 9633 seri numaralı Mahr Perthometer M1 yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazının teknik özellikleri	64
Çizelge 4.6. Çalışmada kullanılan makina ve teçhizatlar	65
Çizelge 5.1. AISI 303 malzemeyle elde edilen deney sonuçları.....	96
Çizelge 5.2. AISI 304 malzemeyle elde edilen deney sonuçları	98
Çizelge 5.3. AISI 316L malzemeyle elde edilen deney sonuçları	100

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. a) Talaş oluşumunda kart modeli, b) Talaş kaldırma işleminin şematik gösterimi.....	5
Şekil 2.2. Talaş tipleri (a) Sürekli talaş, (b) Kesikli talaş, (c) Yığıntı talaş	6
Şekil 2.3. Metal kesme işleminin temel mekaniği	8
Şekil 2.4. Talaş kaldırma sürecine etki eden gerilmelerin torna kaleminde şematik gerilmesi	9
Şekil 2.5. a) Dik kesmede dairesel kuvvet diyagramı, b)Tornalamada kesme kuvvetleri.....	10
Şekil 2.6. Kesme kuvvetleri diyagramından çıkarılan hesaplama üçgenleri	10
Şekil 2.7. Yüzey kalitesini tayin eden faktörler	11
Şekil 2.8. Yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi	12
Şekil 2.9. (a)Keskin köşeli kesici kalem ile oluşturulmuş ideal yüzey pürüzlülüğü modeli, (b)Yuvarlak uçlu bir takım için ideal yüzeypürüzlülüğü modeli.....	13
Şekil 2.10. Yüzey pürüzlülüğünü etkileyen faktörler	14
Şekil 2.11. Talaş kaldırma işleminde işlenebilirliği etkileyen faktörler	18
Şekil 2.12. Isıl iletkenlik ile işlenebilirlik değeri arasındaki ilişki	20
Şekil 2.13. Takım kesici ağızlarının kama şekli	27
Şekil 2.14. Kesici takım üzerindeki ağızlar ve yüzeyler	27
Şekil 2.15. Kesici takım üzerindeki açılar	28
Şekil 2.16. Farklı malzemeler için kesici takım üzerindeki açılar	29
Şekil 2.17. Kesici takım üzerindeki sıcaklık farkları	31
Şekil 2.18. Normal şartlarda talaş kırılmasının üç farklı mekanizması; a)Kendi kendine kırılma, b)Talaşın takıma dayanması ile kırılması, c)Talaşın iş parçasına dayanması ile kırılma modeli.....	32

Şekil	Sayfa
Şekil 2.19. 1960'lı yıllarda kullanılan üç adımlı talaş kırıcı kesici takımlar ve uygulamaları metal kesme işleminin temel mekaniği	34
Şekil 2.20. Dalgalı biçime sahip kesici takım ile talaş kaldırma	34
Şekil 2.21. AISI 303'ün oluşumu.....	40
Şekil 2.22. AISI 304'ün oluşumu.....	42
Şekil 2.23. AISI 316L'nin oluşumu	43
Şekil 4.1. Deneilerde kullanılan kesici takımların kesici kenar formları ve kaplama özellikleri	61
Şekil 4.2. Kesme kuvvetlerinin ölçülmesinin şematik diyagramı.....	62
Şekil 4.3. İşleme deneyleri esnasında oluşan kesme kuvvetleri diyagramı	63
Şekil 5.1. AISI 303 malzemenin MM kesici kenar formundaki farklı uç yarıçaplarına sahip takımlarla işlenmesi esnasında ilerlemeye bağlı olarak esas kesme kuvvetindeki değişim	67
Şekil 5.2. AISI 304 malzemenin MM kesici kenar formundaki farklı uç yarıçaplarına sahip takımlarla işlenmesi esnasında ilerlemeye bağlı olarak esas kesme kuvvetindeki değişim	68
Şekil 5.3. AISI 316 malzemenin MM kesici kenar formundaki farklı uç yarıçaplarına sahip takımlarla işlenmesi esnasında ilerlemeye bağlı olarak esas kesme kuvvetindeki değişim	68
Şekil 5.4. f: 0,1 (mm/dev) için; AISI 303, AISI 304 ve AISI 316L malzemenin MM kesici kenar formundaki takımlarla işlenmesi esnasında farklı takım uç yarıçaplarında kesme hızına bağlı olarak esas kesme kuvvetindeki değişim	68
Şekil 5.5. f: 0,2 (mm/dev) için; AISI 303, AISI 304 ve AISI 316L malzemenin MM kesici kenar formundaki takımlarla işlenmesi esnasında farklı takım uç yarıçaplarında kesme hızına bağlı olarak esas kesme kuvvetindeki değişim	71
Şekil 5.6. f: 0,3 (mm/dev) için; AISI 303, AISI 304 ve AISI 316L malzemenin MM kesici kenar formundaki takımlarla işlenmesi esnasında farklı takım uç yarıçaplarının kesme hızına bağlı olarak esas kesme kuvvetindeki değişim	72
Şekil	Sayfa

- Şekil 5.7. AISI 303 malzemenin MM, MR, QM kesici kenar formuna sahip takımın ilerlemeye bağlı olarak esas kesme kuvvetindeki değişim..... 74
- Şekil 5.8. AISI 304 malzemenin MM, MR, QM kesici kenar formuna sahip takımın ilerlemeye bağlı olarak esas kesme kuvvetindeki değişim 75
- Şekil 5.9. AISI 316L malzemenin MM, MR, QM kesici kenar formuna sahip takımın ilerlemeye bağlı olarak esas kesme kuvvetindeki değişim.....76
- Şekil 5.10. $f:0,1$ (mm/dev) için; AISI 303, AISI 304 ve AISI 316L malzemeler için MM, MR ve QM kesici kenar formlarında kesme hızına bağlı olarak kesme kuvvetlerindeki değişim77
- Şekil 5.11. $f:0,2$ (mm/dev) için; AISI 303, AISI 304 ve AISI 316L malzemeler için MM, MR ve QM kesici kenar formlarında kesme hızına bağlı olarak kesme kuvvetlerindeki değişim..... 78
- Şekil 5.12. $f:0,3$ (mm/dev) için; AISI 303, AISI 304 ve AISI 316L malzemeler için MM, MR ve QM kesici kenar formlarında kesme hızına bağlı olarak kesme kuvvetlerindeki değişim..... 79
- Şekil 5.13. AISI 303 malzeme için MM kesici kenar formundaki farklı takım uç yarıçaplarında ilerlemeye bağlı olarak yüzey pürüzlülüğündeki değişim.....81
- Şekil 5.14. AISI 304 malzeme için MM kesici kenar formundaki farklı takım uç yarıçaplarında ilerlemeye bağlı olarak yüzey pürüzlülüğündeki değişim.....82
- Şekil 5.15. AISI 316L malzeme için MM kesici kenar formunda farklı takım uç yarıçaplarında ilerlemeye bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğündeki değişim 83
- Şekil 5.16. AISI 303 malzeme için MM, MR, QM kesici kenar formunda ilerlemeye bağlı olarak yüzey pürüzlülüğündeki değişim 84
- Şekil 5.17. AISI 304 malzeme için MM, MR, QM kesici kenar formunda ilerlemeye bağlı olarak yüzey pürüzlülüğündeki değişim 85
- Şekil 5.18. AISI 316L malzeme için MM, MR, QM kesici kenar formunun ilerlemeye bağlı olarak kesme kuvvetlerindeki değişim 86

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklama
A	Talaş kesit alanı
a	Kesme derinliği (mm)
b	Talaş genişliği (mm)
V	Kesme hızı (m/dak)
t	Talaş kalınlığı (mm)
f	İlerleme (mm/dev)
ϕ	Kayma düzlemi açısı ($^{\circ}$)
γ	Talaş açısı ($^{\circ}$)
α	Boşluk açısı, serbest açı ($^{\circ}$)
β	Kama açısı ($^{\circ}$)
t_c	Deforme edilmiş talaş kalınlığı (mm)
F_a	Eksenel kuvvet (N)
F_r	Radyal kuvvet (N)
F_f	İlerleme kuvveti (N)
F_c	Esas kesme kuvveti (N)
F	Sürtünme kuvveti(N)
R	Bileşke kuvvet
R_a	Ortalama yüzey pürüzlülüğü (μm)
R_t	Maksimum yüzey pürüzlülüğü (μm)
VB	Yanak aşınması

Kısaltmalar	Açıklamalar
AISI	Amerikan demir ve çelik endüstrisi
BHN	Brinell sertlik değeri
BUE	Yığıma kenar oluşumu
CNC	Bilgisayarlı sayısal denetim
CVD	Kimyasal buharlaştırma metodu
ISO	Uluslararası standart teşkilatı

1. GİRİŞ

Paslanmaz çeliklere olan gereksinim teknolojik gelişmelere paralel olarak her geçen gün artmaktadır. Özellikle havacılık, tıp (implant malzemesi olarak), nükleer, elektronik, otomotiv (katalitik konvertörün gövdesi ve turbo besleme gövdesi), gemi endüstrisinde (filtre ızgarası, boru hatları, filtreler) petro-kimya, gıda endüstrisinde kullanılan depolama tankları, basınçlı kaplar, ısı değiştiricileri ve paslanmaz boruların üretiminde çok çeşitli türlerde paslanmaz çelik kullanılmaktadır.

Günümüzde artan küresel rekabet koşulları altında firmalar, daha kaliteli ve daha ucuz ürün elde etmek zorunda kalmışlardır. Bununla birlikte firmalar imalatını gerçekleştirdikleri ürünlerin maliyetlerini düşürme çalışmalarına girmişlerdir. Ancak firmaların ürünlerin ham malzemelerinde bir değişiklik yapabilme özgürlüğüne sahip olamamaları neticesinde çalışmalarını daha kısa üretim zamanları ve daha yüksek personel verimliliğini gerçekleştirme yolunda sürdürmüşlerdir. Bütün bunların sonucunda da hızlı gelişen teknoloji ile birlikte talaşlı imalat yöntemlerinde büyük bir gelişme gözlemlenmiştir. Talaşlı imalat yöntemlerinde ki bu gelişmeler daha çok takım tezgahları, kesici takımlar ve bağlama elemanlarından olmuştur.

İmalat açısından bakıldığında; imalatın sürekliliği, zaman tasarrufu ve daha fazla üretim için en önemli koşuldur. Talaşlı imalatta sürekliliği etkileyen en etkin faktörlerden biri de talaşın düzenli olarak kırılmasının sağlanmasıdır. Aksi halde, imalat sürecinde zaman zaman aksamalar olacak ve bununda maliyeti tüm imalata yansıyacaktır. Bu bakımdan, talaşın düzenli kırılmasının sağlanması, üzerinde durulması gereken bir olaydır. Talaş oluşumu, talaş oluşumunda etkin faktörler, talaş kırılması ve kesmeyi etkileyen faktörler ile ilgili hem sanayiciler hem de araştırmacılar birçok deneysel, analitik ve nümerik çalışmalar yaparak bu problemlere optimal çözümler getirmeye çalışmışlardır.

Talaş kaldırma işlemlerinde, kesme kuvvetlerine birden çok parametreler etki etmektedir. Kesici takım üzerine etki eden kesme kuvvetleri, talaş kaldırmanın önemli bir safhasını oluşturur. Kesme kuvvetleri; takım tezgahlarının titreşimsiz ve

rijit olması ile birlikte kesme derinliği, talaş açısı, kesme hızı, ilerleme, iş parçasının malzemesi vb. faktörlere bağlı olarak değişkenlik gösterir. Takım tasarımının optimizasyon işleminin yapılabilmesi için de kesme kuvvetlerinin analiz edilmesi gerekmektedir. Kesme kuvvetlerine etki eden talaş açısı takım tasarımının optimize edilmesinde büyük önem taşımaktadır [1].

Bu çalışmada, AISI 303, AISI 304 ve AISI 316L östenitik paslanmaz çeliklerinin farklı kesici kenar formuna sahip kesici takımlar ile tornalanması esnasında kesici kenar formunun kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi incelenmiştir. Deneyler ISO 3685:1993 (E) de belirtilen standartlara uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Deneyler kuru işleme şartlarında talaş derinliği sabit tutularak, üç değişik kesici kenar formu (SNMG 12 04 08-MM, SNMG 12 04 08-MR, SNMG 12 04 08-QM) ve üç değişik takım uç yarıçapı (SNMG 12 04 08-MM, SNMG 12 04 12-MM, SNMG 12 04 16-MM) ile üç farklı ilerleme değerı (0,1; 0,2; 0,3 mm/dev) ve ayrıca dört farklı kesme hızı (125-150-175-200 m/dk) seçilerek yapılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarda, yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvveti tespit edilerek, işleme kolaylığının elde edilebildiği kesme hızı ve ilerleme değerleri belirlenerek imalatçılar için önerilerde bulunulmuştur.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Talaş Kaldırma Prensipleri ve İşlenebilirlik

Metaller ve metal alaşımlarının işlenmesinde kullanılan takımların kesici kenarları yeterince keskin olmasına rağmen, talaş kaldırma sırasında oluşan gerilimler karşısında oldukça zorlanırlar. Bu sebeple takımın dayanabileceği optimum kesit ve kesmeyi kolaylaştıracak ideal takım geometrisi geliştirmek için pek çok araştırma yapılmıştır [1]. İlk çalışma, 1851 yılında “Finne Cocquilhat” tarafından delmedeki işi hesaplamak için yapılmıştır. 1873’de “Horhg”, kesme iş cetvelleri oluşturarak bunları bir kitapta yayınlamıştır. Talaşın biçimlenmesi konusundaki ilk çalışmalar ise 1870’de “Timme” ve 1873’de Fransız bilim adamı “Tresca” tarafından yapılmıştır. 1881’de “Mallock”, malzemenin kesilmesinde kesme metodunun talaşın biçimlenmesinde esas olduğunu ileri sürerek, takım yüzeyindeki sürtünme etkisi üzerinde durmuştur, kısmen biçimlendirilmiş talaş özelliklerinden yola çıkarak talaş çeşitlerini ortaya çıkartmış, kesme metoduna takım ucunun ve kesme sıvısının etkisini araştırmış ve istenmeyen sonuçlara yol açan dengesiz kesme metotlarını incelemiştir. Yaptığı çalışmaların çoğu bugünkü modern teorilerin de temelini ortaya koyacak kadar etkili olmuştur [2].

Ancak, kesme mekaniği üzerindeki en etkili çalışmalar, günümüzde de yaygın olarak kullanılan şekliyle “Taylor” tarafından 1900’lü yıllardan sonra ortaya konulmuştur [2]. Taylor yaklaşık 26 yıllık deney ve inceleme birikimlerini derleyerek talaş kaldırma operasyonları sırasında kesme parametrelerinin ve takım malzemesinin takım ömrüne etkisini incelemiştir. Prensipten olarak en ideal kesme şartlarını uygulamaya izin veren ampirik formüller geliştirmiştir. Taylor’un diğer en önemli keşfi ise takım ve kesme kenarlarında oluşan sıcaklıklarla takım aşınma oranını kontrol edebilmesidir [2].

1941’de “Ernst ve Merchant” tarafından bu teoriler daha da geliştirilmiş ve talaş kaldırma mekaniği olgunlaştırılmıştır. Merchant prensipleri olarak bilinen bu prensiplerde günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Tresca, Harting, Finne, Mallock, Taylor, Merchant gibi bilim adamları metal kesme teknolojisini anlaşılmalarını sağlamışlardır. Bunların ortaya koydukları prensiplerden yola çıkarak kesme olayı açıklanmaktadır.

Kesme teknolojisinde temel noktalar şunlardır:

Kesici takım, talaşın alt yüzeyi ile iş parçasının işlenen yüzeyini birbirinden ayırmaya zorladığında, talaşın gövdeden ayrıldığı yerde yüksek sıcaklıklar meydana gelir ve takım ile iş yüzeyinde aşınma oluşur.

İş parçasından belirli bir tabaka ayırabilmek için kesici kenarın gövde içerisine daldırılması gerekir. İş parçası ve takım yüklenen gerilmelere dayanabilmesi için belirli bir kesitte olmalı ve işlenen yüzeyin takımın yan yüzeyine temas etmemesi için takıma boşluk açısı verilmelidir.

Pratik işlemede takımın kesici kenarını oluşturan uç açısı 55° ~ 90° arasında değişmektedir. Takıma verilen talaş açısının oluşturduğu yüzey boyunca, talaş iş parçasından uzaklaştırılır. Bu şekilde kaldırılan talaşın tamamında bir plastik deformasyon oluşur. Bu yüzden talaşın oluşması ve takımın talaş ara yüzeyi boyunca hareketi için büyük bir enerji gerekir.

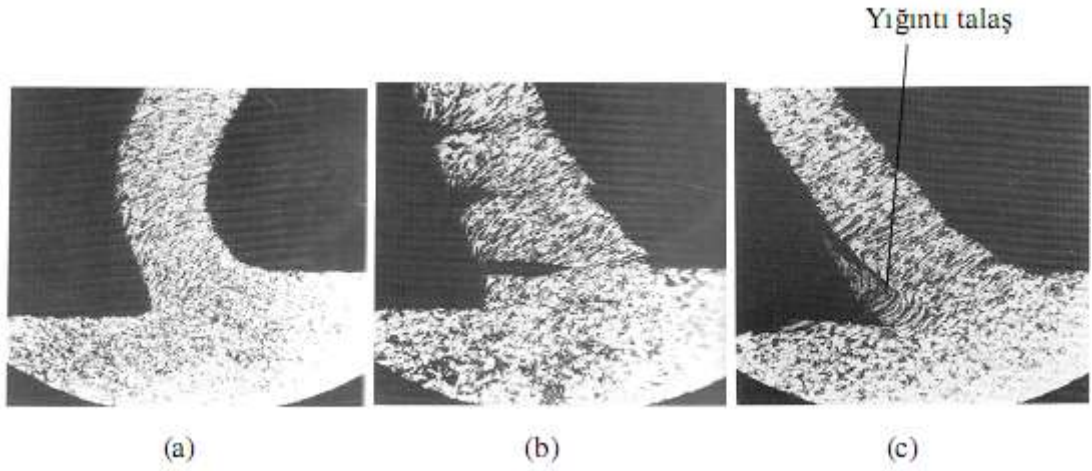
Talaş kaldırarak işlemenin temel amacı yeni iş yüzeyinin (istenen parça geometrisinin) oluşturulmasıdır. Talaşın oluşması ve hareketi, enerji tüketiminin de temelini ortaya koyar. Bu sebeple takım ömrü ve kaldırılan metal oranıyla ilgili pratik denklemler, yalnızca takım-talaş ara yüzeyi boyunca hareket eden talaşın ve işlenen malzemenin davranışları incelenerek ortaya konur [2].

2.2. Talaş Oluşumu ve Talaş Geometrisi

Talaş oluşumu, Şekil 2.1'de gösterilen "Kart modeli" teorisine göre birincil deformasyon bölgesi içinde oluşan belirli bir kayma düzlemi boyunca meydana gelir [4]. Kayma düzlemine kadar malzeme elastiktir. İlk deformasyon, oluşan bu düzlem

2.2.1. Talaş tipleri

Talaşlı imalatta, ham malzeme işlenirken elde edilen talaşın biçimi genellikle, işlenen malzemenin cinsi, kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği, talaş açısı gibi faktörlere bağlı olarak değişir. Talaş biçimleri, kesme şartları ve yüzey kalitesi hakkında bilgi veren bir faktördür. Talaş, oluşum mekanizmasına göre en genel anlamda, sürekli, kesikli ve yığıntı talaş olmak üzere üç tip olarak meydana gelir (Şekil 2.2) [4, 5].



Şekil 2.2. Talaş tipleri (a) Sürekli talaş, (b) Kesikli talaş, (c) Yığıntı talaş [2]

Sürekli talaş, sabit şartlarda genellikle sünek malzemelerin yüksek kesme hızlarında işlenmesi sırasında makro düzeyde çatlaksız olarak meydana gelir. Sürekli talaş, yüksek deformasyon nedeni ile sertleşir ve yüksek sertlik değerine ulaştığında takım aşınmasını artırır.

Kesikli talaş, farklı gerilmelere sahip ve gevrek malzemelerden talaş kaldırılması sırasında talaş sadece kısmen biçimlendirilebileceğinden ilk deformasyon bölgesinde kırılma olacaktır ve bu bölgede talaş parçalara ayrılacaktır.

Yığıntı talaş, yumuşak ve sünek malzemelerin düşük/orta kesme hızlarında işlenmesi sırasında veya takım kesici kenarının aşınma sürecine girdiği durumlarda oluşur. Çıkan talaş, takımın talaş yüzeyine tam anlamıyla sıvanır [3, 5].

2.2.2. Talaş kaldırmayı etkileyen temel parametreler

Talaş kaldırma işlemi, imalatın en önemli süreçlerinden birini teşkil eder. Bu nedenle bu sürecin en ekonomik şartlara bağlı olarak gerçekleştirilmesi gerekir. Bunun temel şartı, talaş kaldırmayı etkileyen faktörlerin üretim planlaması yapan birimlerce iyi bilinmesi ve en etkili bir şekilde uygulanmasıdır. Araştırmaların ortaya koyduğu sonuçlar talaş kaldırmayı etkileyen birçok faktörün varlığından ve bu faktörlerin birbirleri ile olan ilişkilerinden söz eder. Talaş kaldırmayı etkileyen en önemli faktörler; kesici takım ömrü, kesme hızı, kesme derinliği, ilerleme miktarı, kesme açıları, titreşim durumu, soğutma sıvısı, takım-iş parçası malzeme çifti ve takım ucu yarıçapı olarak sıralanabilir [5].

Bunlar arasında en önemlisi ise kesici takım performansı ve maliyet bakımından daha yüksek olduğundan dolayı takım ömrü olup, bu da kesici takımın birbirini takip eden iki bileme esnasında etkili olarak çalıştığı zaman olduğundan, genellikle, takım ömrü-kesme hızı ve kesme hızı-talaş kesiti ilişkileri öncelik arz etmektedir.

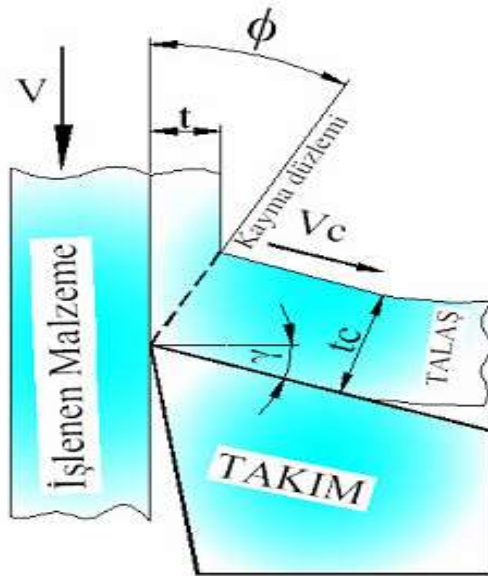
Kesme derinliğindeki değişimler, takım ömrü üzerine en az etkiye sahiptir. İlerleme miktarındaki değişimler takım ömrü üzerine kesme derinliğindeki değişikliklerden daha büyük etkilidir. Herhangi bir malzemede kesme hızındaki değişiklerin takım ömrü üzerine etkisi hem kesme derinliği hem de ilerleme miktarından daha fazladır [2].

En uygun ilerleme miktarı ve kesme derinliği dikkate alındığı zaman, her zaman mümkün olan en derin talaş ve düşük ilerleme miktarı seçilir. Çünkü bunlar takım ömrü üzerine kesme hızından daha az etkiye sahip olduğundan takım ömrünü daha az oranda azaltacaktır. Optimum ilerleme miktarı, kesici takım ömrü ve talaş kaldırma miktarını dengelemelidir.

Özet olarak, maksimum üretim miktarı; kesme hızı, ilerleme miktarı ve talaş derinliğinin optimize edilmesi ile takım değiştirme zamanı minimum ve toplam işleme zamanı içinde maksimum parça üretimi ile sağlanır.

2.3. Kesme Kuvvetleri

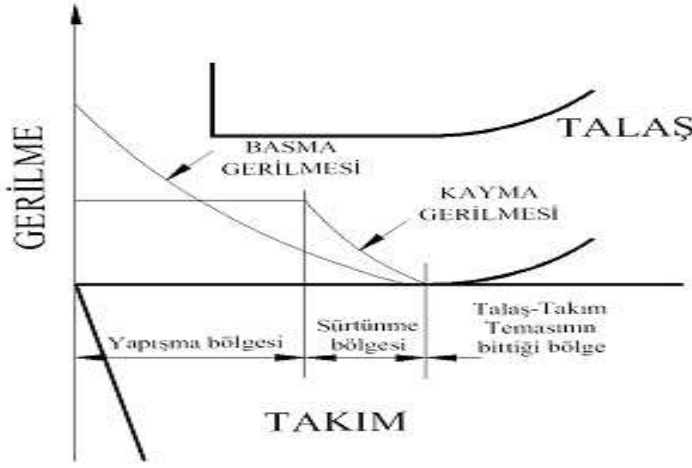
Metallerden talaş kaldırma (metal kesme) işleminin mekanizması, şematik olarak Şekil 2.3'te gösterilmiştir. Pozitif talaş açısı (γ) ve belli bir kesme kenarı açısına sahip kesici takım, t derinliğinde işlenen malzemenin yüzeyi boyunca hareket ettirilmektedir. Kesici takım ile malzeme yüzeyi ile ϕ kadar bir kayma (kesme) düzlemi açısı yaparak, kayma düzlemi boyunca sürekli olarak talaş kaldırmaktadır. Talaş kaldırma işleminde talaşı iş parçasından ayırmak için büyük bir güce gereksinim vardır. Kesme kuvvetleri temelde iş parçası malzemesi içinde akmaya neden olarak talaş oluşumuna yol açar ve oluşan V_c hızı ile uzaklaştırılır [6].



Şekil 2.3. Metal kesme işleminin temel mekanik

Şekil 2.4'te görüldüğü gibi talaş kaldırma esnasında ortaya çıkan basınç ve sürtünme, çeşitli yönlerden kesici uç üzerine etkileyen kuvvetlerin ortaya çıkmasına neden olur. Kesici kenar üzerine kesme işlemi boyunca uygulanan gerilme esas itibarıyla

yapışma bölgesinde meydana gelen basma gerilmesidir, ancak genellikle sürtünme bölgesinde meydana gelen bir miktar kayma gerilmesi de söz konusudur.

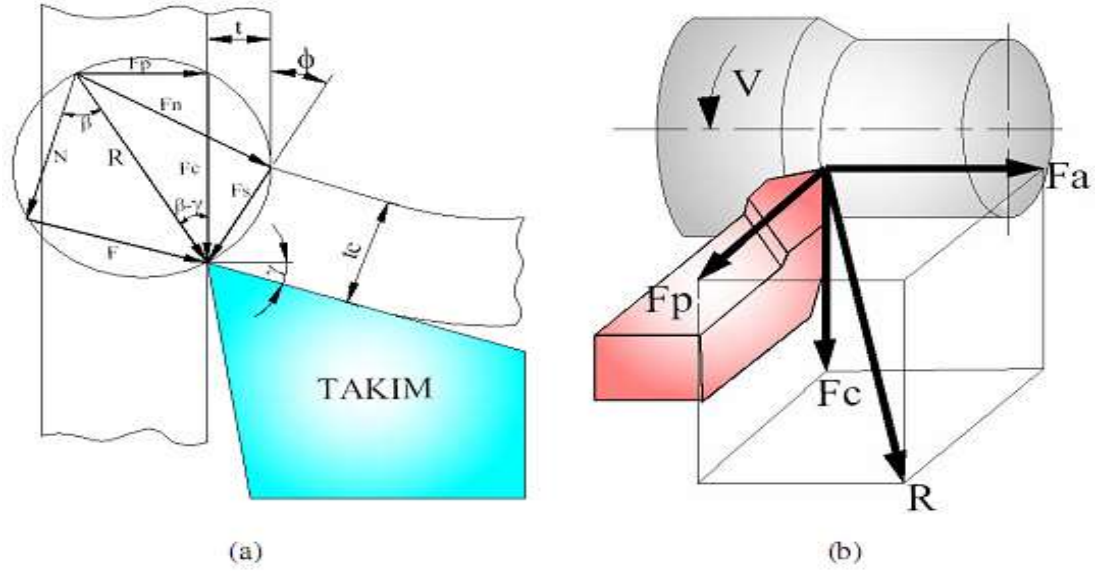


Şekil 2.4. Talaş kaldırma sürecine etki eden gerilmelerin torna kalemінде şematik gerilmesi

Talaş ile talaş yüzeyi arasındaki temas alanı kesme kuvvetlerine bağlıdır ki bu durum geometri optimizasyonunun en önemli nedenlerinden biridir. Geometri optimizasyonu talaş oluşumunun kontrolü, kesme kuvvetleri ve kesici kenarın mukavemeti açısından son derece gereklidir. Temas alanının ve kesici takım geometrisinin genellikle iş parçası malzemesine göre farklılık göstermesi nedeni ile iş parçası malzemesinin de kesme kuvvetleri üzerinde etkisi vardır [7]. Kesme sıvısının kullanılması da kesme kuvvetlerini etkiler, ancak bu kullanım düşük kesme hızlarında sınırlandırılmıştır.

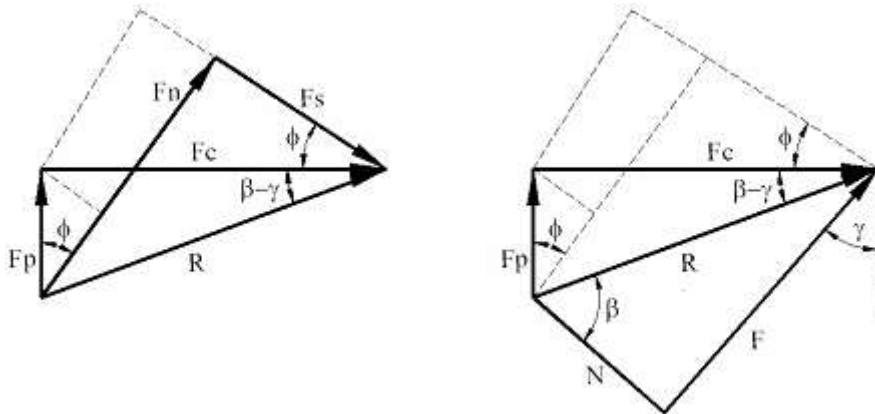
Şekil 2.5 a ve b'de kesici takım üzerinde kuvvet bileşenlerinin etkisi gösterilmiştir. Bileşke kuvvet (R), esas kesme kuvveti (F_c), ilerleme kuvveti (F_a) ve pasif/radyal kuvvet (F_p) olarak üç bileşen kuvvetten meydana gelmektedir. Ayrıca sürtünme kuvveti (F), kayma düzlemi boyunca etki eden metali kesmek için gerekli kuvvet (F_s), kayma düzlemi üzerindeki kuvvet normali (F_n)'dir [4, 8]. Kesici takımın kesme yönündeki esas kesme kuvveti (F_c) yapılan iş miktarını belirler. Esas kesme kuvveti sadece iş parçası ve takım arasındaki temas ve sürtünmeye değil, aynı zamanda talaş ile talaş yüzeyi arasındaki temas koşullarına da bağlıdır. Talaş oluşumunun ve talaş kırmanın niteliği esas kesme kuvvetini önemli ölçüde etkiler. Bunun yanı sıra,

deforme olmamış talaş kalınlığı (t) ile esas kesme kuvvetinin büyüklüğü arasında bir bağlantı olup, deforme olmamış talaş derinliği arttıkça esas kesme kuvveti artar [7].



Şekil 2.5. a) Dik kesmede dairesel kuvvet diyagramı, b) Tornalamada kesme kuvvetleri [5, 8]

Kesme kuvvetleri, kesme kuvvetleri diyagramından çıkarılan Şekil 2.6'da verilen hesaplama üçgenleriyle teorik olarak hesaplanabildiği gibi dinamometre yardımı ile de deneysel olarak ölçülebilir.

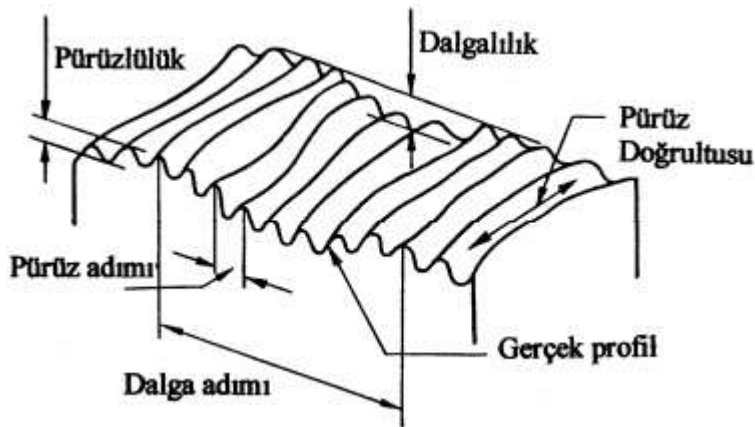


Şekil 2.6. Kesme kuvvetleri diyagramından çıkarılan hesaplama üçgenleri [2]

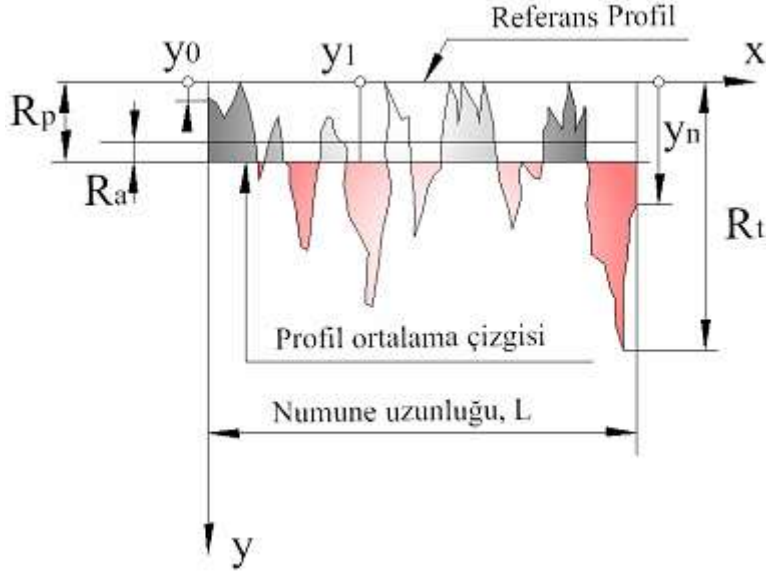
Birçok iş parçası malzemesi için kesme hızı artarsa kesme kuvvetleri düşer. Bunun nedeni, akış bölgesindeki yüksek sıcaklıklar ve azalan temas yüzey alanıdır. Kesme kuvvetlerindeki azalma miktarları işlenen malzeme cinsine, malzeme koşullarına ve kesme hızına göre farklılık gösterir. Esas kesme kuvvetinin büyüklüğü torku, dolayısıyla talaş kaldırma için gerekli gücü etkiler. Prensip olarak esas kesme kuvveti ile kesme hızının çarpımı talaş kaldırmak için gerekli olan gücü verir [5, 7, 8].

2.4. Yüzey Pürüzlülüğü

Talaş kaldırma ile işlenen yüzeylerde, dalgalılık ve pürüzlülük olmak üzere iki türlü düzensizlik meydana gelir (Şekil 2.7). Dalgalılık, geometrik sapmalar grubuna girdiğinden yüzey kalitesini yüzey pürüzlülüğü tayin eder. Standart yüzey pürüzlülüğü değerlendirme kriterleri, yüzeye dik olan bir kesitte belirli bir numune uzunluğu boyunca, belirli bir referans profiline ve profil ortalama çizgisine göre tayin edilir (Şekil 2.8).



Şekil 2.7. Yüzey kalitesini tayin eden faktörler [2]



Şekil 2.8. Yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi [2]

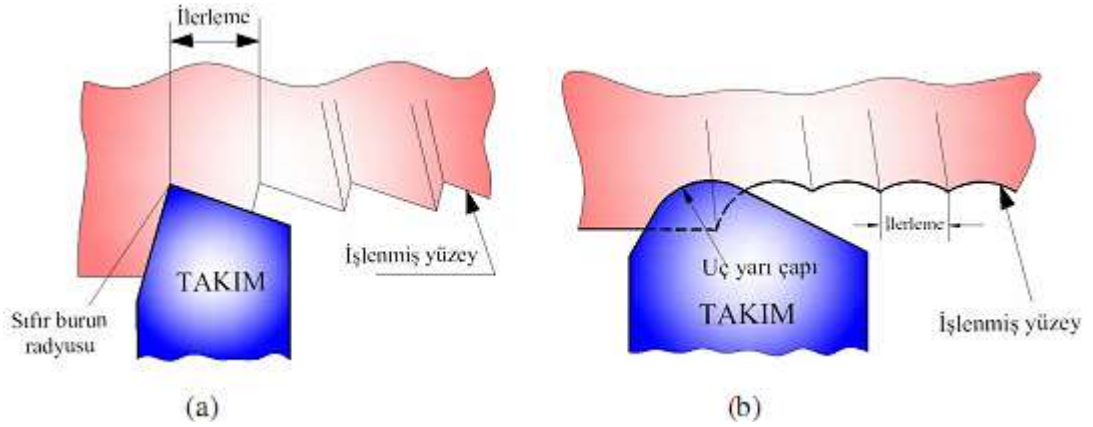
Seçilmiş uzunluk sınırları içerisinde, ortalama çizgisi ve profilin en yüksek noktası arasındaki mesafe maksimum profil tepe yüksekliği (R_p), profil çukurları çizgisi ve profil tepeleri arasındaki mesafe profilin maksimum tepe yüksekliği (R_t), beş en yüksek profil tepe yükseklikleri ve beş en derin profil derinliklerinin mutlak değerinin ortalamasına düzensizliklerin 10 nokta yüksekliği (R_z) ve seçilmiş örnek uzunluktaki profil sapmalarının mutlak değerlerinin aritmetik ortalaması (R_a) olarak tanımlanır [9].

Yüzey pürüzlülüğü talaş kaldırma uygulamalarında pek çok fonksiyona bağlı olduğundan, uygulanan takım geometrisi ve ilerleme hızının sonucunda elde edilen “ideal yüzey pürüzlülüğü” ve kesme uygulamalarındaki düzensizliğin bir sonucu olan “doğal yüzey pürüzlülüğü” olarak iki ayrı tanımlamayla değerlendirilmektedir.

2.4.1. İdeal yüzey pürüzlülüğü

En uygun biçimde verilmiş takım şekli, geometrisi, ilerleme ve kesme hızı ile sağlanabilen en iyi yüzey pürüzlülüğü “ideal yüzey pürüzlülüğünü” vermektedir. Kesici takımda sıvanma, titreşim ve takımın hatalı bağlanması vb etkenler azaltılırsa

ideal yüzey pürüzlülüğü sağlanabilir. Tornalama uygulamalarında keskin köşeli ve yuvarlak köşeli kesici takım kullanılarak yukarıda ifade edilmiş ideal şartlar altında sağlanan ideal yüzey pürüzlülüğü, Şekil 2.9'da gösterilmiştir.



Şekil 2.9. (a) Keskin köşeli kesici kalem ile oluşturulmuş ideal yüzey pürüzlülüğü modeli, (b) Yuvarlak uçlu bir takım için ideal yüzey pürüzlülüğü modeli [2]

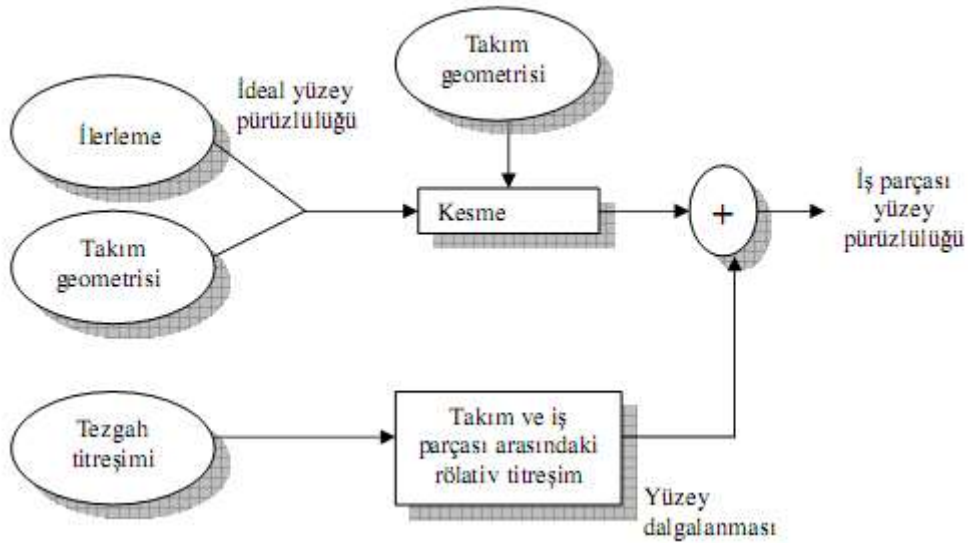
2.4.2. Doğal yüzey pürüzlülüğü

Talaşlı imalat uygulamalarında yukarıda belirtilmiş ideal şartlara uyulması genellikle mümkün değildir. Bu doğal şartlar altında elde edilen yüzey pürüzlülüğü gerçek yüzey pürüzlülüğünün bir ölçüsüdür. Doğal yüzey pürüzlülüğüne neden olan temel etkenlerden biri de yığıntı talaşın oluşmasıdır. Bazı durumlarda yığıntı talaş devamlı olarak oluşur ve kopabilir. Bu şekilde sıvanma oluşan talaş yüzeyinin altında ve talaş kaldırılmış malzemenin yüzeyinde uzaklaştırılan parçalardan dolayı daha pürüzlü bir yüzey meydana gelmektedir.

2.4.3. Yüzey pürüzlülüğüne etki eden faktörler

Bütün talaş kaldırma işlemlerinde temel amaç iş parçasında istenilen geometri ve hassas bir bitirme yüzeyi oluşturmaktır. Talaş kaldırma işlemlerinde; istenilen geometri ve yüzey pürüzlülüğü olmak üzere iki önemli kalite karakteristiği üzerinde durulmaktadır. Talaş kaldırma işlemlerinde talaş akışı ve malzeme transferinin oldukça karmaşık olmasından dolayı matematiksel modellenemesi için çoklu değişkene ihtiyaç vardır. Bu karmaşık yapıya rağmen, kısmen yüzey pürüzlülüğünün kontrolü, öncelikli olarak üç önemli talaş kaldırma değişkeni olan kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği için uygun değerler seçilerek sağlanabilir. Genel olarak, kesme derinliği ve ilerleme miktarının artmasıyla birlikte yüzey pürüzlülüğü miktarı artarken, buna zıt olarak kesme hızının artmasıyla birlikte yüzey pürüzlülük değerleri azalmaktadır [10].

Şekil 2.10'da yüzey pürüzlülüğüne etki eden faktörler ele alınmıştır. İş parçasının bitmiş yüzey pürüzlülüğünü etkileyen bu faktörler; ilerleme, takım geometrisi ve takım-iş parçası arasında kendiliğinden meydana gelen titreşim olmak üzere üç kısma ayrılmıştır.



Şekil 2.10. Yüzey pürüzlülüğünü etkileyen faktörler [11]

Kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliğinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi: Talaş kaldırma işlemlerinde parça üretim maliyetinin minimum değerinin belirlenmesi için kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği gibi faktörlerin optimum değerlerinin bilinmesi gerekir. Bu amaçla yapılan çalışmalarda kesme hızının artmasıyla pürüzlülük değerlerinin azaldığı görülmekte ve düşük kesme hızlarında ise pürüzlülük değerinin arttığı görülmektedir. Bunun başlıca sebeplerinden biri düşük kesme hızlarında kesici kenarda yığıntı talaş oluşmasıdır. Yığıntı talaş kesici kenar geometrisinde olumsuz bir değişikliğe ve sürtünmeye sebep olur [12, 13]. İlerlemenin artmasıyla yüzey pürüzlülüğü artar, talaş derinliğinin artması ile yüzey pürüzlülüğünde artma gözlenir fakat talaş derinliğinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi diğer parametrelerde olduğu gibi fazla değildir.

Takım uç yarıçapının yüzey pürüzlülüğüne etkisi: Talaş kaldırma işlemlerinde takım uç yarıçapı önemli bir faktördür. Uç yarıçapının büyük olması, malzeme üzerinde daha büyük kuvvet uygulayarak metal kesme işleminin gerçekleştirilmesi anlamına gelmektedir. Bu durumda kesici ucun daha fazla sürtünmesine neden olarak takım-iş parçası arasında ısıl gerilimler meydana getirmektedir. Bu ısıl gerilimler iş parçası yüzeyinde çalışma sertleşmesine ve takım ucunda daha çok ısı meydana getirerek takım aşınmasına etki etmektedir. Bu etkilerden dolayı, istenmeyen yüzey kalitesi elde edilmektedir [13].

Titreşimin yüzey pürüzlülüğüne etkisi: Talaş kaldırma işlemleri boyunca titreşim kaçınılmaz bir faktördür. Titreşim, işleme sırasında kesme kuvvetleri sonucu üretilen bir değişken olup, takım tezgahlarında örneğin takım dengesizliği, mil yatak sistemlerindeki salgı vb. olarak meydana gelmektedir. Kesici takım ile iş parçası arasında sürekli olarak meydana gelen bir titreşimin olması nedeniyle, kesici takım ömrü ve işlenen yüzey kalitesinde istenmeyen durumlar ortaya çıkmaktadır [2].

İş parçasına bağlı faktörler: Talaş akışı, iş parçasının kayma dayanımı, iş parçası sertleşmesi, takım ve iş parçası arasında sürtünme, sertlik ve süneklik gibi malzeme özellikleri talaşın yapısının değişmesine etki ederler. Yüksek dayanıma sahip malzemeler düşük dayanımlı malzemelere nazaran kesme anında daha büyük kuvvet

oluşturur. İşlenen malzemenin yapısı ve özellikleri talaş kaldırma işlemine etki eder. Talaş oluşumunda, süneklik de önemli bir faktördür. Sünekliği fazla olan malzemeler sadece kesme esnasında talaşın aşırı plastik deformasyonuna müsaade etmemekte takım ve talaş temas yüzeyinde sıcaklığın artmasına neden olurlar. Takımda oluşan bu sıcaklık artışı aynı zamanda takımın aşınmasına neden olarak işlenen iş parçasının yüzey kalitesini olumsuz etkiler. Ayrıca kesici takımda yığıntı talaş oluşumu sünek malzemelerde daha fazla görülür bu da yüzey kalitesini olumsuz yönde etkiler [13].

2.5. İşlenebilirlik

İşlenebilirlik, muğlak bir terim olup mühendisin isteklerine göre değişik anlamları mevcuttur. İşlenebilirliğin kullanılan iki genel tanımı “kesme işlemine etki eden iş parçası malzemesinin bütün özellikleri” veya “talaş kaldırma metotları ile parçaların tatmin edici ve kolay işlenebilmesi veya üretilebilmesi” olarak ifade edilebilir. Bu tanımlar bile yeteri derecede hassas değil ve işlenebilirlik testleri için anlaşılabilir ölçülebilir niceliği yoktur. İş parçasının kimyasal bileşimi, mikro yapısı, ısıl-ışıl işlem özelliği, saflığı vb. bütün bu değişkenler işlenebilirliği etkiler. Başka bir ifade ile işlenebilirlik; bir malzemenin işlenmesinde karşılaşılan kolaylık veya güçlük olarak tanımlanabilir [2, 6, 12].

Bir iş parçasının işlenebilirliği, her zaman saat başına üretilen parça sayısı, her parça için işleme maliyeti veya üretilen parçanın son yüzey kalitesi olarak ifade edilebilir. Pratikte çok değişik işlemler yapıldığından farklı işlenebilirlik kriterleri ortaya çıkmaktadır. Herhangi bir malzeme, bir kritere göre iyi işlenebilirlik özelliğine sahip iken, değişik tür işlemler yapıldığında veya kesme şartları ve takım malzemeleri değiştiği zaman kötü işlenebilirlik özelliği gösterebilir [14].

Orta karbonlu çelik, ısıl direnci yüksek (HSTR) bir alaşım ile karşılaştırıldığında daha kolay işlenir. Yine aynı şekilde gri dökme demir, çil (hızlı soğutulmuş) dökme demirden daha kolay işlenir. Bununla beraber yığıntı talaş eğilimi değerlendirildiğinde, düşük karbonlu çelik için ihtiyaçlar, bazı paslanmaz çeliklerden daha yüksektir. Ancak, değişik işleme metotları ve şartlardan dolayı (kesici

takımlardaki gelişmeler gibi), işlenebilirlik kavramı değişebilir ve karşılaştırılabilir değerlerle kolayca ölçülemez [7].

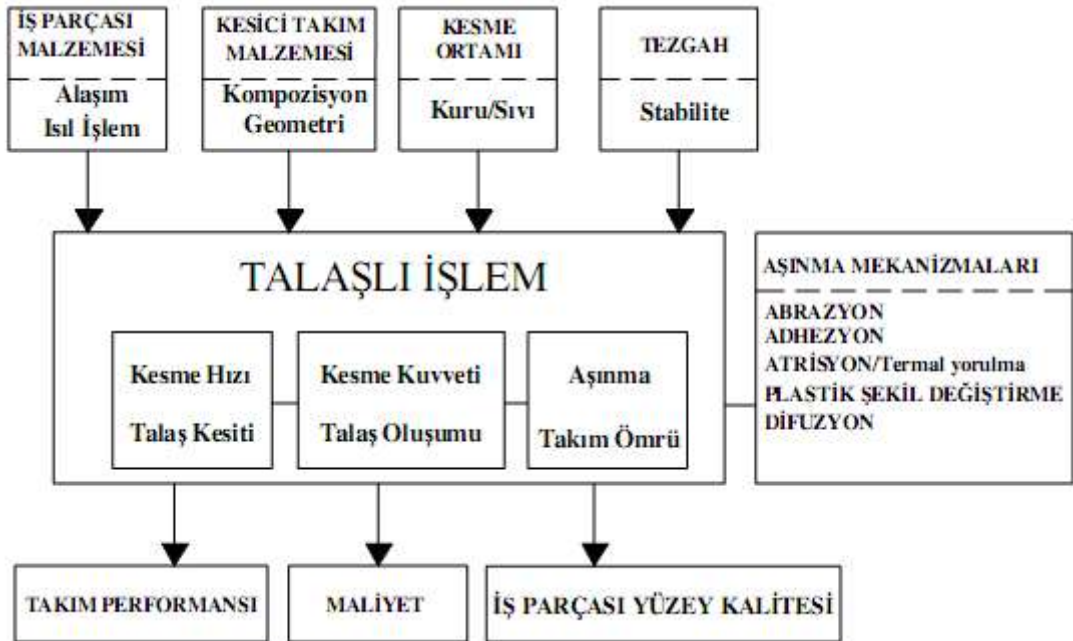
İş parçası malzemesinin işleme yöntemini etkileyen tüm özelliklerinin bir karşılaştırması muhtemelen daha kesin olmakla beraber, ihtiyaç duyulan dokümantasyon, tüm malzeme tedarikçilerinden kolayca elde edilemez. İş parçası malzemesinin metalürjisi, kimyasal yapısı, mekanik özellikleri, ısıl işlemi, katkıları, kalıntıları (inklüzyonları), yüzey tabakası vb. özellikleri, kesici kenar, takım bağlama biçimi, takım tezgahı, işleme biçimi ve işleme şartları gibi faktörler işlenebilirlik üzerinde etkilidir. Malzemeler için işlenebilirlik değerleri, en ideal durumlarda bile, daha ileri düzeyde optimizasyon için başlangıç değerlerine kılavuzluk eder. İş parçası malzemesini tanımak için, başarılı bir işleme operasyonunun gerçekleştirilmesini sağlayan faktörlerin değerlendirilmesinde modern ve esnek bir yaklaşım esastır. Bununla beraber, genellikle, her parçanın maliyeti, verimlilik oranı, belirli bir yüzey kalitesi oluşturmak için kestirilebilir takım ömrü ve işleme emniyeti sağlamak gibi öncelikler bireysel üretimle ilgili işlenebilirlik kavramı için esastır. Sınırlı bir malzeme dizisindeki belli sayıda operasyonun gerçekleştirilmesinde, bir atölye veya işletme, işleme sırasındaki zorluklar veya kolaylıklara göre kendi önceliklerini benimser. İşlenebilirliği geliştirmek için döküm kalitesini iyileştirmek, malzemeyi kolay işlenebilir hale getirmek, takım malzemesini, takım geometrisini, bağlama şartlarını veya kesme sıvısı vb. değiştirmek gerekebilir. En geniş anlamda işlenebilirlik, aşağıdaki kriterlerle tanımlanan “kesici takım-iş parçası” çiftinin işleme karakteristiği gibi görünür. Bu kriterler; takım ömrü, talaş oluşumu ve talaşın uzaklaştırılması, yüzey kalitesi, kaldırılan talaş miktarı veya talaş kaldırma oranı, kesme kuvveti /gücü /özümlü kesme direnci, yığıntı talaş eğilimidir.

İş parçası malzemesinin kullanılabilir verileri ve işleme deneylerinin bir kombinasyonu, işlenebilirlik değerlendirilmesi geniş üretim şartlarındakine uygun olarak gerçekleştirilebilir. Bununla beraber, düzenlemenin birinde iyi olan işlenebilirlik bir diğerinde iyi olmayabilir. Örnek olarak; bir iş parçası malzemesinin sertliği ve dayanımı işlenebilirliği belirten tipik bir örnek olmayabilir. Kalıntılar, kolay işleyebilme katkıları, mikro yapı, sert ve aşındırıcı bileşenler, sıvanma eğilimi

vb. faktörler daha önemli olabilir. Belli bir iş parçası için iyi işlenebilirlik sergileyen bir takım tipi ve malzemesi, diğer bir iş parçası malzemesi için uygun olmayabilir [3, 7].

2.5.1. İşlenebilirliği etkileyen faktörler

İşlenebilirlik terimi talaşlı işlemden yaygın olarak kullanılmasına rağmen, tek boyutlu bir özellik olmayıp karmaşık boyutların oluşturduğu bir sistem özelliğidir. İşlenebilirliğin tanımında gereksinme duyulan tüm faktör ve faktörler arası ilişkiler Şekil 2.11’de gösterilmiştir. Kesici takım ve iş parçası malzemelerinin, işlem ortamı ve tezgah ile oluşturduğu talaşlı işlem sistemi, kesme koşullarıyla birlikte yeni oluşan iş parçası yüzey kalitesini ve maliyet faktörünü göz önünde tutarak işlenebilirliği belirler [6].



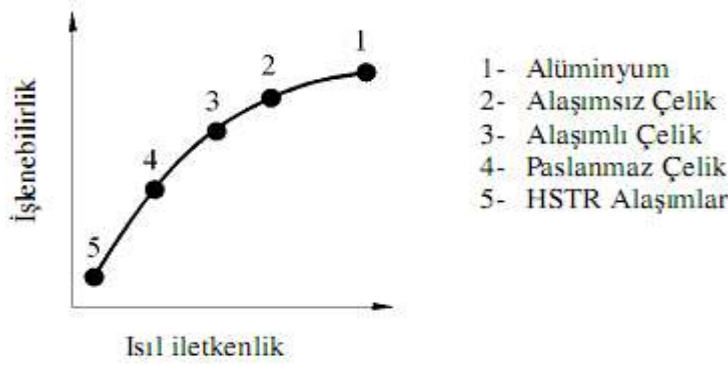
Şekil 2.11. Talaş kaldırma işleminde işlenebilirliği etkileyen faktörler

İş parçası malzeme özelliklerinin etkisi: İşlenebilirliğin değerlendirilmesi ve işleme şartlarının optimizasyonu amacı ile yaygın kullanılan iş parçası malzemeleri gözden geçirildiğinde, öncelikle temel malzeme özellikleri ve bunların işlenebilirliği nasıl etkilediği dikkate alınmalıdır [2]. Genelde malzemelerde sertlik ve dayanım arasında ilişki mevcuttur. Bir malzemenin sertliği ve dayanımı arttıkça o malzemenin işlenebilirliği o derecede azalmaktadır [14, 15].

Sertlik ve dayanım: Genellikle, düşük sertlik ve dayanım değerleri işlenebilirlik için daha uygundur. Düşük yüzey kalitesine, çapak oluşmasına ve kısa takım ömrüne sebep olan yığıntı talaş oluşmasından dolayı problemlere yol açan çok sünek malzemeler, bu durumun dışındadır. Soğuk çekme işlemleri ve benzeri yollarla arttırılmış sertlik ise pozitif bir etkiye sahiptir.

Süneklik: Düşük süneklik değeri genellikle olumludur ve verimli bir talaş kaldırma yöntemi söz konusudur. Genel olarak düşük süneklik yüksek sertlikle oluşur ve bunun tersi yüksek süneklik, düşük sertlik demektir. İyi işlenebilirlik, genellikle sertlik ve süneklik arasındaki bir uzlaşma noktasındadır.

Isıl iletkenlik: Yüksek ısıl iletkenliğin anlamı, talaş kaldırma işleminde oluşan ısının, süratle kesme bölgesinden uzaklaştırılması demektir. İşleme açısından bakıldığında, yukarıdaki sebeple yüksek değerde ısıl iletkenlik genellikle faydalıdır. Isıl iletkenlik işlenebilirlik açısından önemli bir rol oynamakla beraber bazı alaşım grupları için daha fazla iyileştirilmesi mümkün değildir. Şekil 2.12’de, bazı malzemelerin termal iletkenliklerinin, yaklaşık işlenebilirlik değerleri ile ilişkisini göstermektedir [3, 12].



Şekil 2.12. Isıl iletkenlik ile işlenebilirlik değeri arasındaki ilişki [2]

Pekleşme: Plastik deformasyon sırasında, metallerin dayanımı, değişen değerlerde artar. Dayanımdaki artış, deformasyon yüzdesine ve malzemenin pekleşme kabiliyetine bağlıdır. Yüksek pekleşme oranının anlamı, deformasyon oranındaki artışa bağlı olarak hızlı bir dayanım artışıdır.

Çelikler işlenirken, deformasyon miktarı oldukça bölgeseldir ve kesici kenara yakındır. Yüksek pekleşme (deformasyon sertleşmesi) oranına sahip malzemelere örnek olarak östenitik paslanmaz çelikler ve çeşitli yüksek sıcaklık alaşımları verilebilir.

Karbonlu çelikler, oldukça düşük pekleşme oranına sahip malzemelere örnek olarak gösterilebilir. Yüksek pekleşme oranı, talaş oluşumu için çok daha fazla enerji ihtiyacı demektir. Sertlikteki ciddi bir artış, daha sonra işlenmiş yüzeyde ince bir katman oluşmasına sebep olur. Pekleşmeyle sertleşen tabakanın kalınlığı, ilerleme değeri ile aynı olursa, kesici kenar şiddetli gerilimlere maruz kalacaktır. Pekleşme ile oluşan tabakanın kalınlığı ve sertlik düzeyi kesici kenardaki deformasyon miktarıyla orantılıdır. Büyük bir talaş açısına sahip keskin bir kesici kenar, deformasyon miktarını azaltır. Bu sebeple, pozitif bir geometri deformasyon katmanının azaltılmasına yardımcı olacak ve bunun sonucu olarak da kesici kenardaki gerilmeler azalacaktır. Bununla beraber pekleşme, yıgıntı talaş oluşumunu engellemek için bir avantaj olabilir [7].

Kalıntılar: Malzemenin yapısı içerisinde makro ve mikro düzeyde iki tip kalıntıdan söz etmek mümkündür. Makro inklüzyonlar, boyutu 150 µm'den büyük olan inklüzyonlardır. Bunlar genellikle çok sert ve aşındırıcı olup, inklüzyonlardan bağımsız bir malzemeyi kuşatma eğilimlerinden dolayı önemlidir. Düşük kaliteli çeliklerde bulunan inklüzyonlar, üst cüruf veya uygun olmayan cüruf alma vb. gibi fırınlama sırasındaki üretimden kaynaklanır. Pek çok ani takım kırılma problemleri muhtemelen bu tip inklüzyonlarla açıklanabilir. Mikro inklüzyonlar, çelik içinde değişik miktarlarda daima mevcuttur. Bunların işlenebilirlik üzerindeki etkisi istenmeyen inklüzyonlar, nispeten istenmeyen inklüzyonlar ve istenen inklüzyonlar olmak üzere üçe ayrılır.

Alüminatlar ve spineller gibi inklüzyonlar istenmeyen inklüzyonlardır. Bunlar sert ve aşındırıcı özelliktedir. Nispeten istenmeyen inklüzyonlar, demir ve mangan oksitlerdir. Bunların deforme edilebilme kabiliyeti bir önceki gruptan daha yüksektir ve talaş akışına katılabilir. İstenen inklüzyonlar, yüksek kesme hızlarında silikatlardır. Bunun sebebi, silikatlar yeterince yüksek kesme sıcaklıklarında yumuşarlar ve bu sayede kesme bölgesinde olumlu etki yapan bir katman oluştururlar. Bu katman, takım aşınmasını geciktirir.

Kolay işleme katkıları: Çeliğin işlenebilirliğini geliştirmek için en yaygın metot, kükürt ilavesidir. Kolay işlenebilen çeliklerdeki kükürt miktarı işlenebilirliği iyileştirilmiş çeliklerdekini on katıdır. Yeterli miktarda mangan ihtiva eden çelik sağlandığında, kükürt ve mangan; mangan sülfata dönüşecektir. Talaş oluşumu sırasında bu sülfat inklüzyonları, düşük dayanımlı düzlemler oluşturacak şekilde plastik deformasyona uğrar ve böylece çatlak oluşumu ve yayılımı için gerekli enerji azalır. Bu, birinci kayma, kesme bölgesindeki deformasyonu kolaylaştırır, kayma açısının ve talaş yarıçapının artmasına sebep olurken talaş kalınlığının, takım-talaş temas uzunluğu ve işleme sıcaklığında azalmaya sebep olur. İlâveten; sülfat, takım-talaş arayüzeyinde bir yağlayıcı gibi görev yapar. Bununla beraber, tamamen aynı sülfür muhtevasına sahip aynı tip iki çelik için işlenebilirlik önemli ölçüde farklı olabilir. İşlenebilirlik, çelikte alaşım elemanı olarak bulunan kükürttan ayrı kükürt ve kurşun inklüzyonları ile iyileştirilebilir. Aynı zamanda, sülfatların boyutu, biçimi ve

dağıtımını da işlenebilirliği tayin eden faktörler arasındadır.

Diğer yaygın kullanılan katık elemanlarından kurşun da, mangan sülfata benzer davranışlar sergiler. Kurşun ve kükürdün beraber ilave edilmesi de yaygındır. Oldukça yeni bir katkı elemanı olan “selenyum” da genellikle kükürtle beraber kullanılır. Sülfür ve selenyum katkısı kolay işlenebilir çelikler, karbonlu çelikler ile ve ferritik-martenzitik ve östenitik paslanmaz çeliklerde yaygındır. Kurşunlu veya yeniden sülfürize edilmiş kurşunlu çelikler sadece karbonlu çeliklerde mevcuttur [7].

İşlenebilirliği etkileyen diğer malzeme özellikleri: Malzemelerin, işlenebilirlik üzerinde önemli etkisi olan temel özellikleri bir önceki bölümde anlatılmıştı. Bunlara ilaveten malzemelerin bazı diğer özellikleri de işlenebilirlik üzerinde söz sahibidir. Bu özellikler:

- Malzemenin yapısı / morfolojisi
- İş parçası malzeme özellikleri (Isıl işlemler)
- Alaşım elementleri
- Yüzey tamlığı-düzgünlüğü

Malzemenin yapısı: Malzemenin yapısı işlenebilirliği etkiler. Bazı yapılar, aşındırıcı özelliktedir ve malzemenin dayanımı yapı tipiyle değişir. Çeliklerdeki aşındırıcı bileşen karbürlerdir. Bunların miktarı ve biçimi, malzeme özelliklerini doğrudan etkiler. Karbon ve diğer alaşım elementlerinin miktarı, yapıyı doğrudan etkiler.

Karbon, karbonlu çeliklerdeki en önemli element olup, muhtevasına bağlı olarak çok farklı yapılar elde edilebilir. Oda sıcaklığında ve sertleştirme işlemi uygulanmamış şartlarda, çelikte östenit işlemine ilave olarak üç tip yapıdan söz etmek mümkündür ve bunlar işlenebilirliği doğrudan etkiler. Bu fazlar: ferrit, perlit ve sementit'tir.

Ferrit, yumuşak ve sünek özelliklere sahipken, bir demir-karbon bileşiği olan sementit, elde edilebilecek en sert yapıdır ve su verme ile elde edilebilecek martenzitten bile serttir. Perlit ise, ferrit ve sementitin lameller şeklinde bir karışımıdır. Lameller, ferrit ve sementit şeklinde sıralanmış olup, sertlik açısından orta değerlerde yer alır. Perlitin sertliği aynı zamanda, lamellerin kalınlığına bağlıdır. İnce lamel tipli perlit, kaba olana göre daha serttir, çünkü bünyesinde daha fazla sementit barındırır. Çeliğin yapısındaki ferrit, perlit ve sementit miktarı, temelde doğrudan çeliğin muhtevasına bağlıdır. Sementitin yüksek aşındırıcı özelliğinden dolayı, küçük bir miktar sementit bile takım ömrü ve işlenebilirliği dikkate değer ölçüde etkiler.

Bunlara ilaveten, ferritik çelikler genellikle martenzitik çeliklere göre daha iyi işlenebilirlik özellikleri sergilerler [3, 7].

Ferrit içerisinde çok az miktardaki perlit ve tane sınırlarında fosfid çökelti ferrit gibi çift fazlı mikro yapı, kesme kuvvetlerini azaltırken yüzey pürüzlülüğünü artırır. Buna karşın, tek fazlı ferritik mikro yapı, yüzey pürüzlülüğünü iyileştirip kesme kuvvetlerini artırır [2]. Ferrit matris içinde az miktarda martenzit fazı ihtiva eden çift fazlı çelikler işlenebilirlik açısından iki önemli rol oynar:

- Düşük sıcaklıklarda birincil deformasyon bölgesinde talaş kırılabilirliğini artırır.
- Yüksek sıcaklıklarda ikincil deformasyon bölgesinde kesme kuvvetlerini düşürür [15].

Malzeme özellikleri: Çelik malzemeye ait imalat durumları şöyle sıralanabilir: Sıcak haddelenmiş, normalize edilmiş, tavllanmış (yumuşatma tavlama, gerilim giderme tavlama), sertleştirilmiş ve temperlenmiş.

Sıcak haddelenmiş iş parçası genellikle homojen olmayan kaba bir yapıya sahiptir. Bunun sebebi, sıcak haddeleme sonrasında malzeme uzun süre yüksek sıcaklıklara maruz kalır ve bu da nispeten kaba bir yapının oluşmasına sebep olur. İşlenebilirlik

açısından bakıldığında, homojen olmayan bu yapı, malzemenin düzgün olmayan dağılım miktarına bağlı olarak sapmalara/boşluklara sebep olur. Bu da işlenebilirlik açısından olumlu bir özellik değildir. Normalizasyon işlemi sırasında malzeme östenitik bölgesindeki sıcaklığa çıkarılır. Malzeme yapısı tamamen östenite dönüştükten sonra hızla oda sıcaklığına geri soğutulur. Bu işlem, sıcak haddeleme şartlarından daha ince ve homojen bir yapı elde etmek için uygulanır. Normalizasyonun en temel amacı, malzemenin tokluk davranışını iyileştirmektir. Daha düzgün yapıdan dolayı, işlenebilirlik düzeyinde de bir iyileşme sağlanır.

Yumuşatma tavlaması, gerçekte malzemeyi yumuşatmak için uygulanan bir işlemdir. İşlem sırasında, perlitteki sementit lamelleri küresel (yuvarlatılmış) sementite dönüştürülür. Sonuç olarak ferrit matris içinde düzgün dağılmış küresel sementitler oluşur ve sertlik önemli ölçüde düşer. Küresel yapıdaki sementit, işleme sırasında kesici takımın sementit aşındırıcı taneciklerle çok daha kısa mesafede teması anlamı taşır. Normalde, yumuşatma tavlaması karbon miktarı % 0,5'den fazla olan çeliklerde uygulanır. Yüksek karbon muhtevası söz konusu olduğunda, optimum işlenebilirlik elde etmek için yapılması gereken işlem küreselleştirmez. Düşük karbon muhtevasında daha yüksek perlit miktarı optimum işlenebilirlik şartları sergiler.

Yumuşatma tavlaması gerilim giderme tavlaması ile karıştırılmaktadır. Gerilim giderme tavlamasının amacı, isminden de anlaşılacağı gibi, malzemede su verme veya soğuk şekillendirme şartlarında oluşan gerilmelerin giderilmesidir. Eğer bu gerilmeler giderilmeden bırakılacak olursa, talaş kaldırma sırasında serbest kalacak ve iş parçasının doğrusallığını ve toleranslarını etkileyecektir. Gerilim giderme tavlaması düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilen bir işlem olup yapıyı etkilemez ve dolayısı ile işlenebilirlik üzerinde de etkisi yoktur.

Soğuk şekillendirilmiş bir malzeme genellikle, normalizasyon veya yumuşatma tavlamasına maruz bırakılır. Nispeten küçük boyutlu kütükler veya iş parçalarına uygulanır. Küçük iş parçalarında üniform bir yapı elde etmek daha kolaydır. Soğuk şekillendirme, deformasyon miktarına bağlı olarak dayanımı arttırır. Soğuk

şekillendirme daha iyi yüzey kalitesi, yığıntı talaş oluşumunu azaltma ve çapak oluşmasını azaltma kriterleri açısından işleme şartları için uygun durumlar sergiler.

İş parçasının sertliği, takım aşınmasının değerini etkiler yaklaşık 200 BHN'ye sahip malzemelerin sinterlenmiş karbür takımlarla işlenmesinde orta düzeyde bir aşınma meydana gelirken sertlikteki artma bunun üzerinde önemli rol oynar. Bununla beraber, nispeten yumuşak malzemeler yığıntı talaş oluşturma eğilimi sergiler ve dolayısıyla, nispeten daha sert malzemelerde olduğu gibi, işlenebilirliği negatif olarak etkiler [7].

Yüzey düzgünlüğü veya düzensizliği: İşleme sırasında makro inklüzyonların sergilediği durumu sergiler ve düşük yüzey kalitesine, ani takım kırılmalarına veya hızlı takım aşınmasına sebep olur. Ön işlemeye tabi tutulmuş bir malzemenin tercih edilmesi, çoğu zaman daha iyi sonuçlar verir. Ham malzeme üzerindeki büyük toleranslar fazladan işleme operasyonları ve istenen boyutun ve yüzey kalitesinin elde edilmesi için daha fazla gayret sarf etmek anlamına gelebilir. Modern üretimde en önemli faktörlerden biri de yüzey düzgünlüğü ve kalite gibi özelliklerdir.

Alaşım elementlerinin etkisi: Malzemedeki alaşım elementleri özellikler üzerinde çok önemli bir etkiye sahiptir. Karbon, çelikteki mekanik ve işlenebilirlik özelliklerini belirleyen en önemli elementtir. Örneğin, karbon miktarı azaldıkça işlenebilirlik özelliği düşer. Çünkü süneklik artacak ve sünek malzeme takım ucuna yapışarak körlenmeyi hızlandıracaktır. Diğer taraftan da karbon oranı arttıkça malzemenin sertliği de arttığından, sertlikte takım aşınmasını hızlandırır. Bu nedenle, çelikler için maksimum işleme kabiliyeti % 0,2 C içerikli çelik olmaktadır.

Diğer alaşım elemanları, nikel, kobalt, mangan, vanadyum, molibden, niobyum, tungsten, bakır vb'dir. Bazı alaşım elemanları ise işlenebilirlik üzerinde önemli pozitif etkiye sahiptir. Kükürt, fosfor, kurşun bunlara örnek olup kolay işlenebilir çeliklere ilave edilirler. Talaş oluşumu, genellikle sünekliği azaltan alaşım elementleri ile iyileştirilebilir. İş parçası malzemesinin kimyasal analizi,

işlenebilirliği konusunda bize çok şey söyler. Aşağıda, işlenebilirlik açısından negatif ve pozitif etkiye sahip elementler gösterilmiştir.

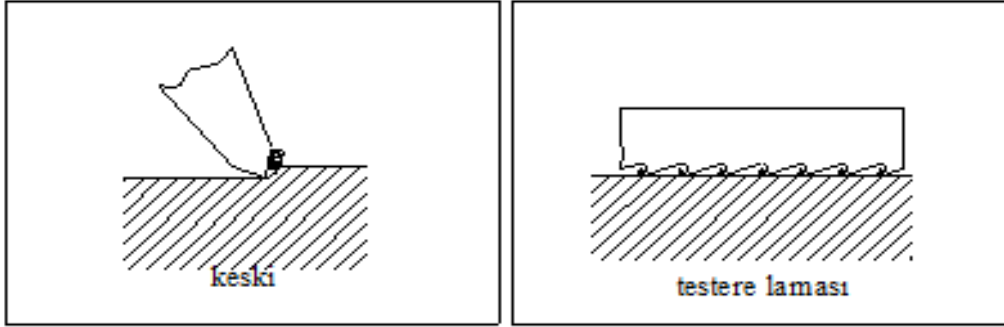
Negatif Etkileyenler: Mn, Ni, Co, Cr, V, Mo, Nb, W, % 0,3'den küçük ve % 0,6'dan büyük oranlarda C.

Pozitif Etkileyenler: Pb, S, P ve % 0,3–% 0,6 oranları arasında C.

2.6. Kesici Takım Geometrisi

Talaşlı imalat genel olarak; takım tezgahları vasıtasıyla, bir veya birkaç takım kullanarak metal, ağaç veya taş gibi maddelerin önceden bilinen şekil ve ölçülerde işlenmesi olarak adlandırılabilir. Talaşlı imalatın esas malzemelerin birbirlerinden farklı sertlikte olmaları ve birbirlerini aşındırabilmeleridir. Örneğin, ağaç malzemeler bir bıçak kullanılarak yontulabilirken çelik bir malzeme sadece çizilebilir. Buna göre bütün talaş kaldırma işlemlerinde; talaşın kesici takım ağzında oluşumu, kullanılan kesici takımın malzemesi ve bu malzemelerin aşınmaya karşı direnci önem arz etmektedir [16].

Şekil 2.13'te görüldüğü gibi genel olarak bütün kesici takımlar kama şeklinde yapılmışlardır. Kesme esnasında kesici takım ucuna gelen kuvvetler takımın aşınmasına neden olurlar. Bundan dolayı kesici takım malzemesinin aşınmaya karşı dayanıklı ve kesme esnasında gelen kuvvetleri karşılayacak şekilde mukavemetli (tokluğu yüksek) olması gerekmektedir. Kesici takımın bu niteliklerini talaş kaldırma esnasında oluşan ve 800 °C'ye varan sıcaklıklarda muhafaza etmesi gerekmektedir.

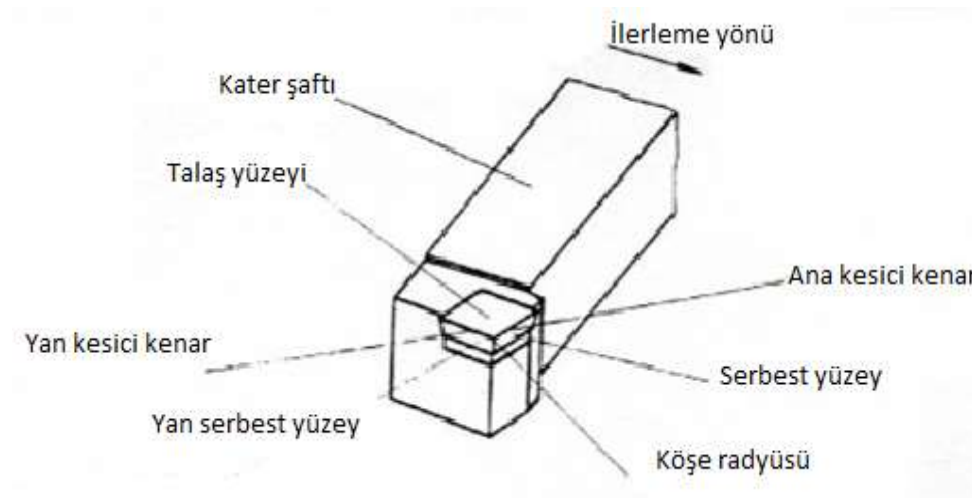


Şekil 2.13. Takım kesici ağızlarının kama şekli [17]

2.6.1. Kesici takım üzerindeki yüzeyler

Kesici takımlarda yukarıda bahsedilen kama şekli (belirli bir talaş açısının olması) Şekil 2.14'te görüldüğü gibi talaş yüzeyi ve serbest yüzeyin birbirlerine göre konumlandırılması ile oluşur. Kesici ağızlar kesici takım ilerleme yönünü gösterir ve asıl talaş kaldırma görevini yerine getirirler. İlerleme yönünde olmayan yüzeyler ise yardımcı kesme ağızlarıdır. Kesme ağızlarına doğru açı veya kavis verilebilir. Esas ve yardımcı ağızlar arasındaki köşelere genellikle pah kırılır [18].

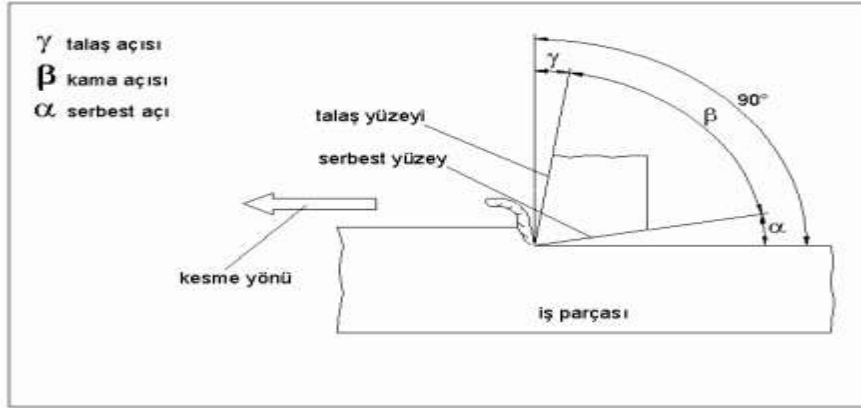
Talaş yüzeyi, talaşın üzerinde aktığı ve kesici takım üst kısmında kalan yüzeydir. Kesici takım üzerinde ve iş parçası yüzeyinin karşısında kalan yüzey serbest yüzey adını alır.



Şekil 2.14. Kesici takım üzerindeki ağızlar ve yüzeyler [3]

2.6.2. Kesici takım üzerindeki açılar

Bir kesici takım üzerinde genel olarak Şekil 2.15'te görüldüğü gibi serbest açı (α) boşluk açısı, kama açısı (β) ve talaş açısı (γ) olmak üzere üç açı vardır.



Şekil 2.15. Kesici takım üzerindeki açılar [17]

Serbest açı (α):

Kesici kalem üzerindeki serbest yüzey ile işlenen yüzey arasındaki açıdır. Boşluk açısı olarak da ifade edilir. Freze ve planya tezgahlarında kullanılan kesici takımlarda bu açı 0 derece olamaz. Aksi takdirde kesici takım iş parçasına değer. Günümüzde tornalama işleminde kullanılan kesici takımlarda genellikle bu açı artık 0 derece olarak alınmaktadır. Bunun en büyük nedeni kullanılan kesici takımın iki yüzünü kullanarak işleme maliyetlerini minimize etmektir. Kesici takım üzerindeki serbest açının artması genel olarak serbest yüzey aşınmasını azaltır. Ancak işleme esnasında kesici takım kenarlarının kırılma riskini artırır.

Kama açısı (β):

Kama açısı kesici takım ucundaki açıdır. Bir kesici takım üzerinde yer alan kama açısı ne kadar küçükse kesici takım iş parçasına o kadar kolay batar. Yani kesme kabiliyeti artar. Ancak kesme işlemi esnasında gelecek darbelere karşı mukavemeti azalır.

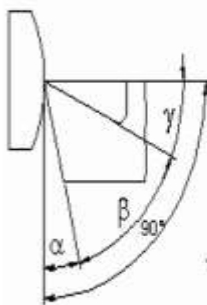
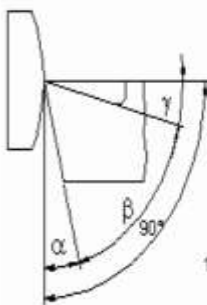
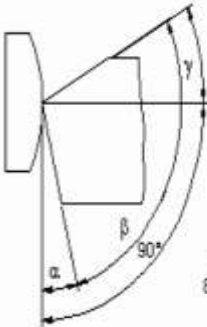
Genel olarak işlenmesi gereken malzeme sertliği ne kadar düşükse, kama açısı (β) o

kadar küçük seçilebilir.

Talaş açısı (γ):

Kesici takım üzerindeki talaş yüzeyi ile işlenen yüzeye dik olan yüzey arasındaki açıdır. Bu açı genel olarak talaş oluşumuna tesir eder.

Genel olarak büyük talaş açıları yumuşak malzemelerde seçilir. Yüksek kesme hızlarında, boşluklu kesmede yani talaş kaldıran yüzeyde sürekliliği önleyen boşlukların (örneğin kanal) olması durumunda ve sert ve gevrek malzemelerden talaş kaldırmada küçük talaş açıları kullanılır. Bu sayede kesici köşelerde kırılma riski azaltılabilir. Bundan dolayı seramik gibi gevrek kesici takımlarda genelde negatif talaş açısı kullanılır. Şekil 2.16'da farklı malzemeler için bazı kesici takım açıları görülmektedir.

Örneğin Al ve Al- alaşımları yumuşak malzemeler için	Örneğin çelik gibi orta sert ve sert malzemeler için	Sert döküm gibi sert ve gevrek malzemeler için
Daha büyük serbest açı Daha küçük kama açısı Daha büyük talaş açısı	Orta serbest açı Daha büyük kama açısı Orta talaş açısı	Daha küçük serbest açı Çok daha büyük kama açısı Negatif talaş açısı
 <p>Örnek : $\alpha = 12^\circ$ $\beta = 53^\circ$ $\gamma = 25^\circ$ $\alpha + \beta + \gamma = 12^\circ + 53^\circ + 25^\circ = 90^\circ$</p>	 <p>Örnek : $\alpha = 10^\circ$ $\beta = 70^\circ$ $\gamma = 10^\circ$ $\alpha + \beta + \gamma = 10^\circ + 70^\circ + 10^\circ = 90^\circ$</p>	 <p>Örnek : $\alpha = 8^\circ$ $\beta = 97^\circ$ $\gamma = -15^\circ$ $\alpha + \beta + \gamma = 8^\circ + 97^\circ + (-15^\circ) = 90^\circ$</p>

Şekil 2.16. Farklı malzemeler için kesici takım üzerindeki açılar [17]

2.7. Kesici Takımda Olması Gereken Özellikler

Talaş kaldırma esnasında kesici takımlardan birtakım özellikleri sağlanması istenir. Bunun nedeni kesme işlemi sırasında birtakım zorlanmalara maruz kalmalarıdır.

Bunlar;

- Devamlı ve darbeli kesme kuvvetleri
- Yüksek sıcaklık ve sıcaklık değişimleri
- Sürtünme ve aşınma

Bu nedenle kesici takımların yukarıdaki yüklenmeleri karşılayabilmesi gibi bir takım özellikleri bünyelerinde bulundurması gerekmektedir.

2.7.1. İyi kesme kabiliyeti

Bir kesici takımdan beklenen özelliklerin başında iyi kesme kabiliyeti gelir. Çünkü iyi bir kesme özelliğine sahip olmayan kesici takımda, kesme ucunda daha yüksek bir sürtünmenin oluşmasına dolayısıyla daha büyük kesme kuvvetlerinin ve daha yüksek sıcaklıkların oluşmasına, bu da aşınmaya veya kırılmaya neden olmaktadır. Kesici takımda iyi bir kesme kabiliyetinin olmamasının imalatta sıkça karşılaşılan bir sonucu da tırlama problemidir.

2.7.2. Yüksek aşınma mukavemeti

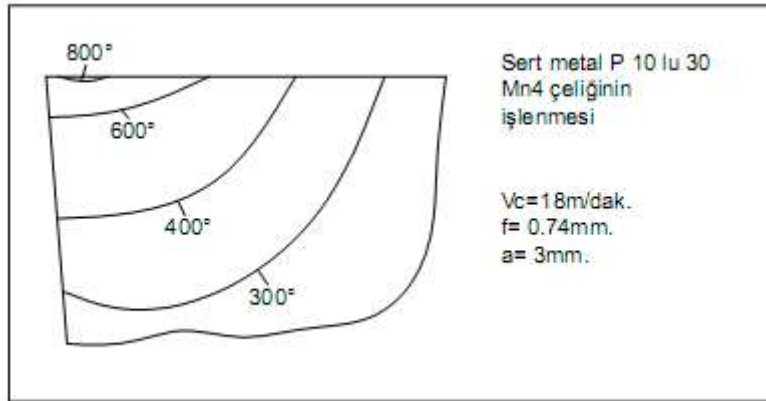
Yüksek aşınma mukavemetinden kesici takım malzeme parçacıklarının aşınmaya karşı direnci anlaşılır. Talaş kaldırma esnasında kesici takımdan aşınmaya karşı mukavemetli olması istenir. Bir kesici takımın aşınmaya karşı dirençli yani uzun ömürlü olması, birim maliyetlerin düşürülmesini ve işleme esnasında her parçada aynı ölçünün elde edilmesini sağlar. Bir kesici takımdan beklenen aşınma mukavemetine en büyük etkiyi aşınma yerindeki sıcaklık göstermektedir [19].

2.7.3. Eğilme kırılmasına karşı yüksek mukavemet ve sıklık (Dirilik)

Kesme işlemi esnasında kesici takım ağzına değişken eğilme kuvvetleri gelir. Bu kuvvetler kesici kenarların hatta bazen de kesici takımın tamamının kırılmasına yol açabilir. Bu nedenle kesici takım malzemesi bu eğilme kuvvetleri karşılayabilecek tokluğa sahip olmalıdır.

2.7.4. Sıcaklık değişikliklerine iyi dayanabilme

Şekil 2.17'de görüldüğü gibi kesme esnasında kesici takım üzerinde çok yüksek sıcaklık farkları oluşmaktadır. Kesici takımın üzerindeki bu ısı farklılıkları neticesinde farklı genleşmeler meydana gelecektir. Bu da kesici takımda kılcal çatlak oluşumuna neden olacaktır. Bu yüzden kesici takım malzemesinin bu sıcaklık değişimlerine karşı mukavemetli olması gerekmektedir.

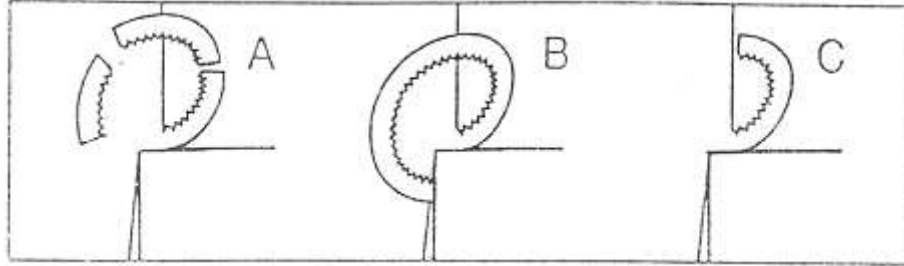


Şekil 2.17. Kesici Takım Üzerindeki Sıcaklık Farkları [18]

2.8. Talaş Kırma ve Talaş Kırıcılar

Talaşın şekillenmesi, ilk bükülme ile başlar ve kesme parametrelerinin kombinasyonundan (özellikle kesme hızı, ilerleme, talaş açısı, malzemenin cinsi ve şartları ile takımın uç yarıçapı kombinasyonu) etkilenir. İlk bükülme, helislenme ve talaş biçimi kesici ucun yeteneğine göre tasarlanır. Talaş oluşumu sırasında normal

şartlarda talaşın kırılması için üç farklı mekanizma söz konusudur (Şekil 2.18).



Şekil 2.18. Normal şartlarda talaş kırılmasının üç farklı mekanizması [3]

- a)Kendi kendine kırılma, b)Talaşın takıma dayanması ile kırılması,
c)Talaşın iş parçasına dayanması ile kırılma

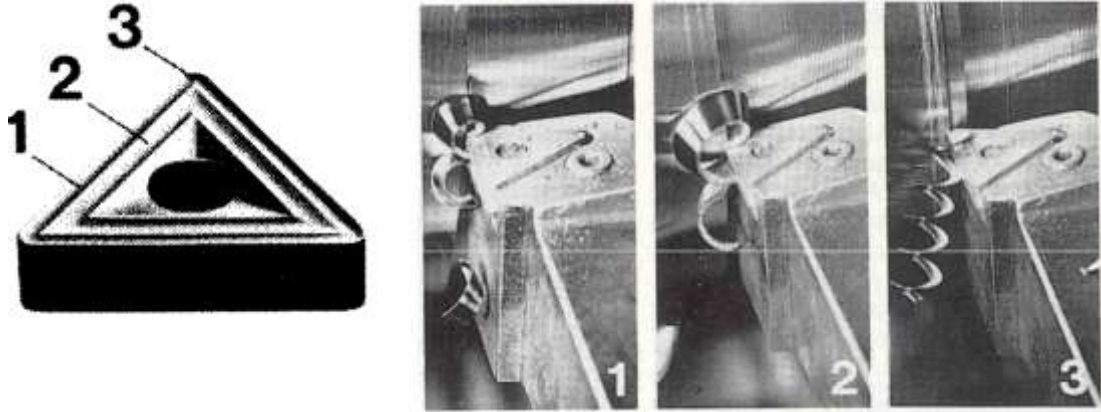
Talaşın kendi kendine kırılması için uygun talaş yönünün seçilmesi en önemli faktördür. Takıma temasla talaş kırılması, eğer talaş çarpma etkisi keskin köşelerde olursa olumsuz olacaktır. İş parçasına temasla talaşın kırılması, talaş iş parçası yüzey kalitesini bozuyorsa veya tekrar kesme bölgesine geri dönüyorsa olumsuzdur. Oldukça çabuk takım kırılmasına sebep olacağından, işleme zamanını ve operatörün yaralanması gibi istenmeyen sonuçlarından dolayı kontrol edilemeyen talaşlardan her zaman kaçınmak gerekir. Kısa talaşlı malzemelerde talaş biçimlemesi ya çok azdır ya da hiç yokken, akma (uzun) talaş oluşturan malzemelerde talaşın, daha evvel ve yukarıda bahsedilen sebeplerle, kırılması istenir. Bu tip talaşlarda talaşın ilk (temel) bükülmesi talaşın istenilen boylarda kırılması için yeterli olmaz. Talaşın akmasını engelleyecek şekilde oluşturulmuş bir “talaş kırıcı” en kolay yoldur. Talaş açısının, talaş ve kesme açılarıyla kontrolünden farklıdır [3].

Metal işleme esnasında, malzeme talaş şeklinde ayrılır. Bu talaşlar değişik şekilde kesme şartlarına bağlı olarak oluşurlar. Aynı zamanda, iş parçası ve takım malzemelerine ve kesici takım geometrisine de bağlıdır. Günümüzdeki imalat işlemlerinde kesici takım malzemelerinin uygunluğunun yüksek kesme hızlarına müsaade etmesi artan bir eğilimdir. Yeni geometrilerin geliştirilmesi ile değişik kesme parametrelerinde talaş oluşumunun kontrol altında tutulması sağlanmaktadır.

Talaşlar iki ana kategoride sınıflandırılır. Kabul edilebilir talaşlar, kısa kopuk talaşlardır. Bu talaşların geometrik formları c, g ve e harfi formuna benzer formundadır ve bunlar en uygun talaş tipleridir ve bunlar işleme operasyonunu etkilememektedir. Kabul edilemez talaşlar (akma uzun talaşlar) ise, iş parçası ve takım etrafına yığılmakta ve operatör için tehlike oluşturmaktadır. Ayrıca bitmiş yüzeyi kaba göstererek ani takım kırılmasına ve kesme yüzeyinden daha fazla hacimde talaş kaldırılmasına sebebiyet verir. Sürekli talaşın kırılması için yeterli miktarda yüksek gerilmenin oluşturulması gerekir, bu gerilme talaş üzerinde bir eğilme momenti oluşturularak talaş kırıcı tarafından kolaylıkla üretilebilir. Talaş kırıcılar talaş formunun kontrol edilmesinde en etkili yöntemdir. Buna ilaveten talaş kontrolünde düşük kesme kuvvetlerinin oluşturulması, yüzey kalitesinin iyileştirilmesi ve daha uzun takım ömrünün sağlanması yeni kesici takım geometrileri ile sağlanabilir [20, 21].

Hem talaşın kırılmasının hem de talaş kıvrılmasının kontrolü demek talaş formunun kontrolü demektir. Karbür takımların kullanılmaya başlamasından bu yana talaş oluşumunu kontrol altına tutmak için birçok teknik geliştirilmiştir. En yaygın yöntem talaş kırıcı ve talaş kıvrıcıların kullanılmasıyla sağlanmaktadır. İki tip talaş kırıcı vardır. Birincisi takım yüzeyinde oluşturulmuş bir basamak veya kanal, ikincisi ise takım veya takım tutucuya bağlanmış ayrı bir parçadır. Talaş kırıcı, talaş uç radyüsünün kontrol edilmesinde (doğal talaş kıvrımının artması şeklinde) ve uygun bir yolda talaşı yönlendirerek kısa uzunluklarda talaşın kopmasında rol oynar [22, 23]. Karmaşık geometrili talaş kırıcılar talaş oluşum şeklinin kontrolünde daha uygundur [24].

Talaş kaldırmada, değiştirilebilir kesici takımların kullanılmaya başlanmasından bu yana, bu tip kesici takımlarda da temel talaş kırıcı uygulamaları söz konusu olmuştur. Şekil 2.19; 1960'lı yıllarda kullanılan, üç adımlı talaş kırıcılı ucu ve uygulamalarını göstermektedir.



Şekil 2.19. 1960'lı yıllarda kullanılan üç adımlı talaş kırıcı kesici takımlar ve uygulamaları [3]

Malzeme deformasyonu, temas bölgeleri, kesme kuvvetleri, gerilim, sıcaklık, aşınma direnci gibi bir dizi takım geometrisini ilgilendiren olan talaş kırıcılarla birlikte kullanılan yeni bir talaş yüzeyi tipinin gelişmesine (1970'li yıllarda) öncülük etmiştir. Dalgalı kesici kenar ve talaş yüzeyi gelişen takım malzemeleri ile birlikte; değiştirilebilir kesici takımların performansını, uygulama imkânlarını ve güvenilirliği önemli ölçüde geliştirmiştir. Şekil 2.20'de, 1970'li yıllarda kullanılan dalgalı biçimdeki kesici takımların talaş kaldırma uygulaması görülmektedir [3].



Şekil 2.20. Dalgalı biçime sahip kesici takımla talaş kaldırma [3]

2.9. Paslanmaz Çelikler

Çağımız endüstrisinin vazgeçilmez malzemeleri arasına giren paslanmaz çelikler esas itibari ile demir, karbon ve çoğu zamanda nikel içeren alaşımlar olup başlıca özelliklerini kroma borçludurlar. Demir alaşımlarının korozyon dayanımlarını arttırmak için geliştirilmiş bir türü olan paslanmaz çeliklerin, uygulama alanlarının her geçen gün artarak devam etmesinin temel nedeni korozif ortamlarda, mekanik özelliklerini yitirmeden gösterdikleri yüksek korozyon dirençleridir. Paslanmaz çeliğin paslanmazlık özelliğine sahip olabilmesi için en az %12 Cr içermesi gerekir.

Aslında çelikler diğer demir alaşımlarının büyük bir kısmı gibi atmosferde oksitlenirler ve yüzeylerinde pas olarak adlandırdığımız bir oksit tabakası oluşur. Alüminyum ve çinkonun tabakasının tersine çeliğin yüzeyini kaplayan yüzeyinde oluşan koruyucu oksit pas, oksitlenmenin iç kısımlara ilerlemesine engel olmaz. Paslanmaz çeliklerde ise korozyon direnci artan krom miktarına bağlı olarak yükselmektedir. Bu olay üzerine yani çeliğin paslanmazlığı konusunda birçok spekülasyon görüşleri olmuştur. Bunlarda en kabul göreni, sıkı ve ince bir krom oksit tabakasının paslanmaz çelik üzerinde oluştuğu ve bu tabakanın oksidasyonun ve korozyonun ilerlemesine engel olduğudur. Gerçekten, elektro kimyasal gerilim serisine bakıldığında krom, demirden daha az asal olan bir metaldir. Çeliğin içeriğindeki kromun koruyucu etkisi, krom ile oksijen arasındaki affiniteden ileri gelmektedir. Krom içeren çelikler yüzeyleri bir krom oksit tabakası ile örtülü olmadıkları sürece korozyona ve özellikle oksidasyona karşı çok hassastırlar; bu hale “aktif” denir. Buna karşın bu oksit tabakası oluşma olanağı bulunduğu metali korozif ortamlara karşı korur, dolayısıyla da çelikler “pasifleşmiş” olur. Pasivitenin sınırları ile derecesi ortamın aktivitesi ile paslanmaz çeliğin tür bileşimine bağlıdır. Koşulların uygun olduğu hallerde pasivite kalıcıdır ve paslanmaz çelik çok yavaş bir korozyon hızına sahiptir.

Bu pasif film yok olduğunda ve yeniden oluşması için gerekli koşullar bulunmaması halinde paslanmaz çelik de normal karbonlu ve az alaşımlı çelikler gibi korozyona uğrayabilir. İşte bu bakımdan paslanmaz çeliğin korozyon direncinin oluşması için

en az %12 Cr içermesi ve ortamda da oksijen bulunmasına gerek vardır [12, 25, 26, 27].

Kromun diğer bir tesiri de çeliklerin ısı altındaki dayanımını büyük çapta arttırmasıdır. Bu tesir, bilhassa çekme ve sürünme mukavemetlerinde kendini gösterir.

2.9.1. Paslanmaz çeliklerin sınıflandırılması

Bütün paslanmaz çelikler esas olarak demir alaşımlarıdır ve pasifleşme özelliği gösterirler. Bunu ifade etmek üzere İngilizce de lekesiz anlamına gelen “stainless” kelimesi kullanılmıştır. Bu çeliklerde pasifleşmeyi sağlayan asıl metal “krom”dur. Alaşımı oluşturan diğer bileşenler paslanmaz çeliğin diğer yapısal özelliklerini geliştirmek içindir. Eğer yüzeyde pasif film oluşmaz ise paslanmaz çeliklerde aynen diğer demir alaşımları gibi korozyona uğrayabilir. Kristal yapısına ve mukavemetlenme mekanizmasına bağlı olarak 4 çeşit paslanmaz çelik vardır [28].

Martensitik paslanmaz çelikler:

Bu yapıdaki alaşımlar %0,1-1 oranlarında C ve %12-17 oranlarında ise Cr içermektedir. Martensitik paslanmaz çelikleri diğer paslanmaz çeliklerden ayıran en önemli özellikleri; karbon yüzdesinin düşük olması ve ısı işlemler ile sertleşebilmelerinin mümkün olmasıdır. Bu çelikler aynen karbon çelikleri gibi su verme sonucu faz dönüşümü yaparak çok sert bir yapı oluştururlar. Bu çeliklerin korozyon dirençleri, yumuşak çeliklere oranla çok yüksek olmasına rağmen, östenitik paslanmaz çeliklere göre daha azdır. % 1 C ihtiva ediyorsa ve uygun şartlarda ısı işlem uygulandığı takdirde çok yüksek derecede sertlikler elde edilebilmektedir. Diğer alaşım maddelerinin az miktarda eklenmesi tokluğu, dayanımı ve korozyon direncini artırır [12, 28, 29, 30].

Martensitik çelikler magnetik olup daha çok; ısıtım işlem mukavemet gerektiren daha ziyade korozyona maruz yerlerde özellikle (pompa mili ve valf imalatında) kullanılır. En çok kullanılan tipleri, 410 ve 420'dir [26].

Ferritik paslanmaz çelikler:

Demir ve krom alaşımından oluşan çeliklerdir. % 0,12 civarında karbon, %11-30 civarında Cr ihtiva eder. Bu çeliklere işlenebilirlik ve korozyon dirençlerini arttırmak için diğer alaşım elementleri az miktarlarda katılır. Bu çelikler az miktarlarda karbona sahip oldukları için, normal olarak östenit yapıdan ferritik yapıya dönüşmez. Bu sebeple ısıtım işlemin uygulanamadığı malzemeler olarak bilinmektedir. Buna karşın bu çelikler yüksek sıcaklıklardan hızla soğutulursa küçük karbon miktarları biraz sertleşme sağlamaktadır. Karbon ve azot miktarlarının mümkün olduğunca az tutulması, süneklik, korozyon direnci ve kaynaklanabilirlik özelliklerini artırır [12, 26, 29].

Antimagnetik olan östenitik grup AISI normunda 300 serisi olarak yer alır. Pek çok tip ihtiva eden bu grup içinden hemen her tatbikat için uygun vasıflı malzeme seçilebilir.

Uygulama alanı en geniş olan tipler; 303, 304, 309, 310 ve 316 dır [26].

Dubleks (çift fazlı) paslanmaz çelikler:

Çift fazlı bir iç yapıya sahip, ferrit taneleri içinde östenit veya östenit taneleri içinde ferrit içeren bu tür paslanmaz çeliklerin östenitik paslanmaz çeliklere nazaran en önemli üstünlükleri akma mukavemetlerinin iki kat daha büyük olmaları ve çok daha iyi korozyon dirençleri göstermeleridir.

Endüstriyel uygulamalarda klor içeren sıvıların kullanılması, kullanılacak malzemelerin bilinen paslanmaz çeliklere göre (316L) arttırılmış mukavemet ve geliştirilmiş korozyon dirençlerine sahip olmalarını gerektirir. Bu tür çelikler, tane

büyüklüğü 3-10 μm 'ye kadar küçültülebildiğinde, 950 $^{\circ}\text{C}$ civarında % 500 gibi bir çekme uzaması göstererek süper plastik haline gelirler.

Dubleks paslanmaz çelikler basit anlamda iki ayrı fazı (ferrit ve östenit)bünyelerinde bulundurur. Dolayısıyla ferritik-östenitik veya östenitik-ferritik paslanmaz çelikler olarak tanımlanırlar. Daha öncede belirtildiği gibi ferritik ve östenitik paslanmaz çeliklerin en iyi ortak özelliklerini taşırlar. Ferritik yapıyla mukavemet ve gerilmenin korozyon çatlamasına direnç, östenitik yapı ile tokluk ve genel korozyon direnci sağlanır. Böylece iki fazlı, ince taneli, yüksek mukavemetli ve iyi korozyon dirençli bir çelik ortaya çıkmaktadır [27].

Modern dubleks paslanmaz çelikler ısıtıl işlem görmüş hallerinde -50 $^{\circ}\text{C}$ 'nin altında tokluk kaybına uğrarlar. Zira bu çeliklerde ferrit fazının bulunması sonucunda çentik darbe eğrisinde düşen sıcaklıkla sünek-gevrek geçiş sıcaklığı da düşer. 475 $^{\circ}\text{C}$ gevrekliği ile birlikte bu faktör dubleks paslanmaz çeliklerin kullanım sıcaklıklarına da sınırlayıcı etkide bulunur. Dolayısıyla da bu tür çelikler -50 $^{\circ}\text{C}$ ile 280 $^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkları arasında mekanik özelliklerini çok iyi korurlar. Kaynak edilebilirlikleri ve karşılaştırılabilir fiyatları da buna eklenirse günümüzün vazgeçilmez bir paslanmaz çelik türü ortaya çıkmaktadır [31].

Östenitik paslanmaz çelikler:

Östenitik paslanmaz çelikler, bileşiminde % 12-25 Cr ve % 8-25 Ni içeren ve paslanmaz çelik ailesinin en yaygın kullanım alanına sahip olan çeliklerdir. Yüksek korozyon dirençlerinden ve şekillendirilme özelliğinden dolayı üstün bir pozisyona ve bu nedenle pek çok mühendislik uygulamaları için arzu edilen özelliklere sahiptir [32].

Bilindiği üzere, östenitik yapıda demir alaşımları elde etmek bu asrın başından beri metalurjistlerin en önemli uğraşlarından birisi olmuştur. Günümüzde AISI 300 serisi olarak adlandırılan östenitik paslanmaz çelikler, işte bu çalışmaların ürünüdür. Bugünün östenitik paslanmaz çelikleri % 16-26 Cr, % 10-24 Ni, % 0,40'a kadar

karbon ve diğer bazı özellikleri geliştirmek için katılmış Mo, Ti, Nb, Ta ve N gibi elementler içerir.

Östenitik paslanmaz çelikler soğuma sırasında soğuma sırasında östenit ferrit dönüşümü olmadığından su verme yolu ile sertleştirilemez. TS 2535, östenitik paslanmaz çelikleri “bileşiminde korozyona karşı krom ve östenitik bir yapı sağlamak amacı ile de nikel bulunan, oda sıcaklığında manyetik olmayan, ısı işlemi ile sertleştirilemeyen soğuk biçimlendirilmeye elverişli paslanmaz çeliktir” diye tanımlar. Östenitik paslanmaz çeliklerin, şekillendirilebilirlik ve korozyon dirençleri mükemmeldir. Mukavemet, yoğun katı eriyik mukavemetlenmesi ile elde edilir ve östenitik paslanmaz çeliklerin soğuk deformasyon sonucu pekleşmesi ferritik paslanmaz çeliklerden fazla olabilir. Östenitik paslanmaz çelikler geçiş sıcaklıklarına sahip olmadıkları için, düşük sıcaklıktaki darbe özellikleri mükemmeldir. Bu çelikler ferromanyetik değildirler. Yüksek nikel ve krom miktarı bu çeliklerin maliyetinin artmasına neden olur [28].

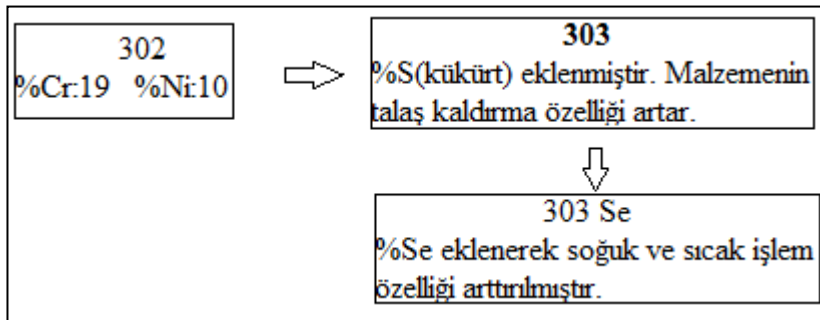
Östenitik paslanmaz çelikler genellikle nemli ortamlarda kullanılırlar. Artan krom ve molibden içerikleri agresif çözeltilere karşı korozyon dirençlerini arttırıcı rol oynar. Yüksek nikel içeriği gerilmeli korozyon çatlamasına karşı riski azaltır. Östenitik paslanmaz çelikler katılan alaşım elementlerinin miktarına bağlı olarak genel korozyona, çukurcuk ve aralık korozyonuna dirençleri yükselir. Bu olay çeliğin klor içeren ortamlarda kullanılması durumunda daha da önemlidir. Çukurcuk ve aralık korozyonuna dirençleri artan molibden ve krom ile artar [27].

Östenitik paslanmaz çelikler iç yapılarına göre kararlı veya yarı kararlı östenitik paslanmaz çelikler olarak iki grupta incelenir. Yarı kararlı östenitik paslanmaz çelikler soğuk şekillendirme sonucu iğnemsiz veya martensitik türde bir iç yapı gösterirler. Kararlı östenitik paslanmaz çelikler ise oldukça yüksek derecede soğuk şekil değiştirme sonucunda bile östenitik iç yapılarını korurlar. Bu iki tür arasındaki belirgin fark, gayet açık bir biçimde bunların çekme diyagramlarından görülebilir.

Kararlı östenitik paslanmaz çeliklere örnek olarak AISI 304 çeliği normal gerilme-genleşme diyagramında bir östenitik davranış gösterir. Çekme eğrisinin parabolik

değişimi gerilme uygulandıkça şekil değiştirme sertleştirmesinin devam ettiğinin işaretidir. Buna karşın AISI 301 östenitik paslanmaz çeliği yarı kararlı östenitik paslanmaz çeliklere güzel bir örnek olmaktadır. Yaklaşık olarak % 10-15'lik bir uzamadan sonra şekil değiştirme sertleşmesi hazırlanan bir şekilde kendini belli eder. Yarı kararlı östenitik paslanmaz çeliklerde şekil değiştirme sertleşmesinde görülen bu artış doğrudan östenitin dengesizliğinin bir göstergesidir [7, 12, 27].

AISI 303 tipi östenitik paslanmaz çelik: AISI 303 çeliği civata, somun, rakor, şaft mili, uçak bağlantı elemanları, elektrik dişli elemanları, dişliler, işleme payı fazla olan makina parçalarının imalatında kullanılır. Östenitik paslanmaz çelikler içerisinde en iyi işlenebilirlik özelliğine sahip kalitedir. İşlenebilirlik kabiliyeti % 78 dolayındadır. AISI 303 östenitik paslanmaz çeliğin oluşumu Şekil 2.21'de, kimyasal kompozisyonu Çizelge 2.1'de, mekanik özellikleri ise Çizelge 2.2'de verilmiştir.



Şekil 2.21. AISI 303'ün oluşumu [35]

Çizelge 2.1. AISI 303 çeliğinin kimyasal kompozisyonu [34]

C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S	Diğer
0.15	2.00	1.00	17.0-19.0	8.0-10.0	0.20	Min0.15	0.06 Mo

Çizelge 2.2. AISI 303 çeliğinin mekanik özellikleri [34]

Isıl İşlem Şartı	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Akma Dayanımı (N/mm ²)	Uzama (%)	Kesit Daralması (%)	Sertlik (Rockwell)
Tavlı	620	241	50	55	B 84

Paslanmaz çeliğin otomati olarak adlandırılır. Sülfür (S) eklentisi işlenebilirliğini arttırsa da korozyon dayanımını düşürür (304'e göre düşüktür) ve şekillendirme kabiliyetini zayıflatır. Özellikle dik bükümlere uygun değildir. Sülfüre rağmen tokluk derecesi 304 ile aynıdır. 60 °C'nin üstüne çıkan sıcak sulu ortamlarda 304'ün gösterdiği oranlarda tepkime gösterir. 303 aralıklı 760 °C'ye çıkan, sürekli olarak 870°C ısı olan ortamlarda iyi oksidasyon dayanımına sahiptir. Ancak 425-860°C sıcaklık ortamında karbür çökmesi oluşur. Tavlama işlemi 1010 – 1120°C arasında ısıtıldıktan sonra, hızlıca soğutulur. Isıl işlemle sertleştirilemez. Kaynak kabiliyeti zayıftır, dolayısıyla kaynak işlemi genel olarak tavsiye edilmez. Ancak uygulanması gerekiyorsa 308L veya 309 kalite elektrot kullanılması tavsiye edilir. Kaynak sonrasında korozyon için mutlaka tavlanmalıdır [34].

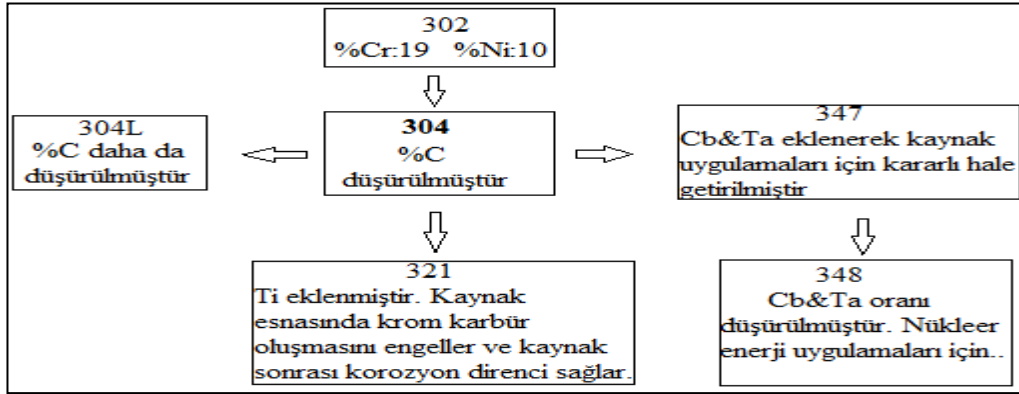
AISI 304 tipi östenitik paslanmaz çelik: İmalat sanayisinde çok yaygın olarak kullanılan AISI 304 paslanmaz çeliği de özellikleri itibarıyla işlenebilirliği düşük bir malzemedir. Bu çeliklerin özellikle tıp, havacılık, nükleer, gıda, savunma sanayi gibi bir çok alanda kullanımı gün geçtikçe daha da yaygın hale gelmektedir [7]. AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin oluşumu Şekil 2.22'de, kimyasal kompozisyonu Çizelge 2.3'te, mekanik özellikleri ise Çizelge 2.4'te, oluşumu verilmiştir.

Çizelge 2.3. Çalışmada kullanılan AISI 304 çeliğinin kimyasal kompozisyonu [34]

C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S
0.08	2.00	1.00	18.0-20.0	8.0-10.5	0.045	0.03

Çizelge 2.4. Deneilerde kullanılan AISI 304 çeliğinin mekanik özellikleri [34]

Isıl İşlem Şartı	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Akma Dayanımı (N/mm ²)	Uzama (%)	Kesit Daralması (%)	Sertlik (Rockwell)
Tavlı	586	241	55	65	B80



Şekil 2.22. AISI 304'ün oluşumu [35]

Östenitik paslanmaz çelik olarak Krom-Nikel çeliği sınıfında olan AISI 304'ün korozyon direnci AISI 301 ve 302'den daha iyidir. Mükemmel soğuk çekme, yüksek süneklik ve sıvama özellikleri mevcuttur. Tavlama sonrası manyetik değildir. Soğuk işlem sonrası hafif manyetik özellik gösterir. Düşük karbon oranı kaynak işlemleri sırasında malzemenin ısıdan etkilenen bölgesinde daha az karbür çökmesine neden olur ve tane arası korozyon olasılığı düşer. AISI 302 çeliğine göre karbon oranı düşürülmüştür.

AISI 304 yüksek karbonlu (0,08) ve düşük karbonlu (L) (0,03) olmak üzere iki şekilde üretilir. Düşük karbonlu olan kaynak uygulamaları için tercih edilir. 302 çeliğiyle aynı özelliklere sahiptir. Korozyon direnci 302'den daha iyidir. Yalnızca soğuk işlem uygulayarak sertleştirilir. Tavlanmış durumda manyetik değildir. Talaş kaldırabilme özelliği düşüktür. Şekil verme özelliği iyidir. Bütün kaynak çeşitleri en yüksek korozyon direnci için malzeme tavllanmış durumda yapılmalıdır [35].

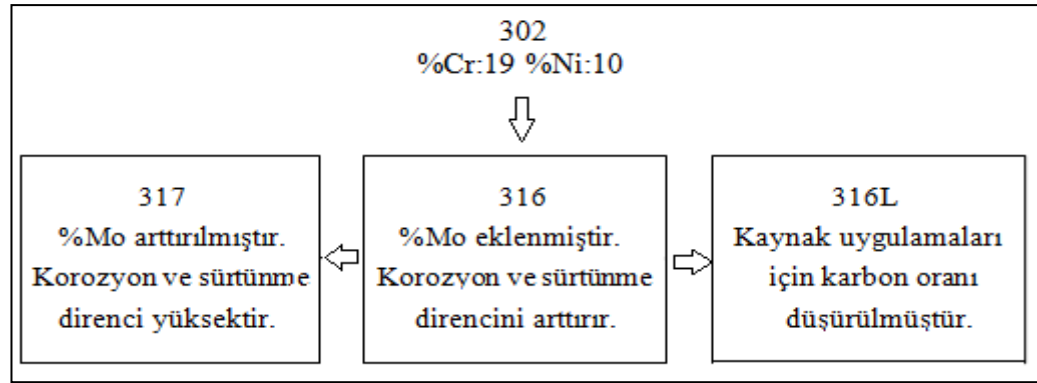
AISI 316L tipi östenitik paslanmaz çelik: AISI 316L çeliği, kombi ve şofben gibi Doğalgaz-LPG ile çalışan cihazların atık gaz bacalarında, şömine havalandırmalarında, baca bağlantılarında, baca kılıfı olarak bina içinde ve dışında kullanılabilir. Kimyasal yapı değerleri Çizelge 2.5'te ve Mekanik özellikleri Çizelge 2.6'da verilen AISI 316L çeliğinin tuzlu suya dayanıklı olduğu için gemi sanayisinde de geniş kullanıma sahip olduğu bilinmektedir [35].

Çizelge 2.5. Çalışmada kullanılan AISI 316L çeliğinin kimyasal kompozisyonu [34]

C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S	Diğer
0,03	2,00	1,00	16,0- 18,0	10,0- 14,0	0,045	0,03	2,0- 3,0Mo

Çizelge 2.6. Deneylerde kullanılan AISI 316L çeliğinin mekanik özellikleri [34]

Isıl İşlem Şartı	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Akma Dayanımı (N/mm ²)	Uzama (%)	Kesit Daralması (%)	Sertlik (Rockwell)
Tavlı	538	207	55	65	B76



Şekil 2.23. AISI 316L'nin oluşumu [35]

Molibden katılması, özellikle denizcilik uygulamaları için korozyon direncini arttırmaktadır. AISI 316L, AISI 316 çeliğine göre düşük olan karbon oranından dolayı, kaynak uygulamalarında da kullanımı mevcuttur. Korozyon direncinin AISI 316 çeliğiyle aynı olduğu bilinmektedir. Kaynak ve gerilim giderme sonrası tanecik arası korozyon direnci 400 °C'ye kadar çıkabilmektedir. Oksitlenme direnci 860 °C'ye kadar iyi bir performans gösterdiği belirtilmektedir. İyi şekil verilme, iyi tokluk özelliğini ve kaynaklanma özelliğini -196 °C'ye kadar sağlayabilmektedir [35].

2.9.2. Alaşım elementlerinin çelik yapısına etkisi

Karbonlu çeliklerin normal olarak sağlanamayan kendine has özellikleri kazanmak için, bir veya birden fazla alaşım elementi katmak suretiyle yapılan çelikler alaşımlı çeliklerdir. Mn, Si gibi alaşım elementlerinin bir veya birden fazlasının, çeliğin içindeki değerleri Mn % 1,65, Si % 0,60'dan fazla olan ve bunlara öteki elementlerden Al, B, Cr, Co, Mo, Ni, Ti, W, V ve Zr elementlerinin birinin veya birkaçının bulunması istenen çelikler, alaşımlı çelikler sınıfına girer.

Alaşımlı çeliğin, alaşım elementlerinin alt ve üst limit değerleri arasındaki fark çok az olup, alaşım elementi sayısı arttıkça, alınacak dökümlerde uygun olmayanların sayısı fazlasıyla artar. Alaşımlı çelik ingot ve kütüklerin gerek yüzünde gerekse içinde meydana gelmesi muhtemel çatlamalara neden olmaması için, özel kuyu ocaklarında ağır ağır soğutulur. Ayrıca haddeleme ve dövme işlemlerinden önce son olarak hatalar giderilir. Bu nedenlerden ötürü alaşımlı çelik yapımı, karbonlu çeliklere kıyasla daha zordur [12, 26, 30, 33].

Karbon (C):

Çelikte başlıca sertleştirici etkisi olan element, karbondur. Karbon miktarındaki her artış, çeliğin sıcak hadde mamulü veya normalize edilmiş halindeki sertlik ve çekme direncini artırır. Fakat esnekliğini, dövülme, kaynak edilme ve kesilme özelliğini zayıflatır.

Mangan (Mn):

Mangan, çeliğin direncini geliştirir, esnekliğini az miktarda zayıflatır. Dövme ve kaynak edilme özelliğine olumlu etkide bulunur. Manganın, sertlik ve direnci artıran özelliği, karbon miktarına bağlıdır. Manganın yüksek karbonlu çeliklerdeki etkisi, düşük karbonlu çeliklere oranla daha fazladır. Mangan su verme derinliğini artırır, paslanmaya (korozyona) olan direncini geliştirir.

Silisyum (Si):

Silisyum, mangan gibi bütün çeliklerde bulunan bir elementtir. Çelik yapımında demir cevherinden, veya ocak astan olan tuğlalardan da bir miktar silis, çeliğin bünyesine kendiliğinden girer. Silisyumlu çelikler deyimi, bileşiminde % 0,40 dan fazla silisyum olan çelikler için kullanılır. Silisyum, çelik dökümlerde mekanik direnci ve özgül ağırlığı artırır. Çelikte silisyumun bulunması, esnekliği eksi yönden etkilerse de her % 1 artış için çekme dayanımını 10 kg/mm, akma sınırını da benzer bir oranda artırır. % 14 arasında silisyum bulunan çelikler, kimyasal reaksiyonlara karşı dayanıklı olduklarından, bu durumdaki çelikler dövülemezler.

Fosfor (P):

Genel olarak çelikteki fosfor zararlı olarak bilinir. Yüksek kaliteli çeliklerde fosfor % si en çok 0,030-0,050 olarak tutulur.

Kükürt (S):

Çeliğin işlenebilme özelliğinin artırılması söz konusu olmadığı hallerde, fosfor gibi istenmeyen yabancı maddeler olarak kabul edilen bir elementtir. Normal olarak müsaade edilen miktar en çok % 0,025-0,030 arasında sınırlandırılır. Sonuç olarak kükürt, çeliği kırılgan yapar ve haddelenmesini güçleştirir.

Krom (Cr):

Krom, bir çeliğin dayanma özelliğini artıran fakat buna karşılık, esnekliğini çok az bir dereceye kadar eksi yönden etkileyen bir alaşım elementidir. Krom, çeliğin sığağa direncini artırır. Tufal yapmayı önler, içinde yüksek oranda krom bulunması; çeliğin paslanmaya ve aşınmaya karşı dayanmasını artırır.

Kromlu paslanmaz çeliklerde krom oranı arttıkça, kaynak edilebilme yeteneği azalır. Krom, en stabil karbürü meydana getirir. Çelikte her % 1 oranındaki krom yüzdesi

artışına karşılık, çekme direncinde yaklaşık olarak 8-10 kg/mm²'lik artış görülür. Aynı oran içinde olmamakla beraber, akma sınırı yükselirse de çentik direnci düşer.

Nikel(Ni):

Nikel, çeliğin direncini silisyum ve mangana kıyasla daha az artırır. Çelikte, nikel, özellikle kromla birlikte bulunduğu zaman, sertliğin derinliklere inmesini sağlar. Krom nikelli çelikler paslanmaz, tufallanmaya ve ısıya dayanıklıdır. Özellikle düşük sıcaklıklarda, makina yapı çeliklerinin çentik direncini artırır. Nikel, ıslah ve sementasyon çeliklerinin direncini artırdığı gibi, östenitik çelikler, paslanmaya ve tufallanmaya dayanıklı çelikler için, uygun bir alaşım elementidir.

Molibden (Mo):

Molibden, çeliğin çekme dayanımını özellikle ısıya dayanıklılığı ile kaynak edilme özelliğini artırır. Yüksek miktarda molibdenli çeliklerin dövülmesi güçleşir. Molibden, kromla birlikte daha çok kullanılır. Molibdenin etkisi volframa benzer.

Vanadyum (V):

Çok düşük miktarda kullanıldığında çeliğin sıcağa dayanımını artırır. Vanadyum, alaşımli makina yapı çelikleri tane yapısının ince olmasını ve fiziksel özelliklerinin gelişmesini sağlar.

Aynı zamanda çelik kesici uçlarının, daha uzun zaman keskin kalmasını sağlar. Genellikle alaşımli makina yapım çeliklerinde bulunan vanadyum miktarı % 0,03-0,25 arasında değişir. Karbür yapmaya karşı kuvvetli bir eğilimi vardır. Çeliğin çekme ve akma dayanımını artırır. Makina yapım ve sıcak iş çeliklerinde özellikle vanadyum ve krom, hava ve makina yapım çeliklerinde volframla birlikte kullanılır.

Wolfram (W):

Çeliğin dayanımını arttıran bir alaşım elementidir. Takım çeliklerinde, kesici kenarlar sertliğin artmasını kullanılma ömrünün uzamasını ve yüksek ısıya dayanımını sağlar. Bu yönden hava çeliklerinde, takım çeliklerinde ve ıslah çeliklerinde, alaşım elementi olarak yaygın bir şekilde kullanılır. Çelikte wolframın bulunması belirli yüzdelere kadar kaynak edilebilme özelliğine geliştirici etkiler yapar. Çeliğe ilave edilecek her wolfram yüzdesi, akma ve çekme dayanımını 4 kg/mm² ye kadar artırır. Wolframın karbür meydana getirmeye karşı kuvvetli bir eğilimi olup, yüksek çalışma sıcaklığında, çeliğin menevişlenip sertliğini kaybetmemesini sağladığından, sıcağa dayanımlı çeliklerin yapımında tercih edilir.

Kurşun (Pb):

Yalnızca otomat çeliklerine (% 0,2-0,5) oranında katılır, işlemede kolaylık ve temiz bir yüzey elde edilmesini sağlar, mekanik özelliklere pek etki etmez [26].

Bor (B):

Çok düşük oranda (% 0,001 gibi) ilave edilse bile su vermede sertliğin derinlere erişmesine bilhassa sementasyon çeliklerinde merkez dayanımının artmasını sağlar.

Alüminyum (Al):

Alüminyum Nitür veya dayanıklı çeliklerde, mıknatıs çeliklerinde az kullanılan faydalı bir elementtir.

Bakır (Cu):

Genelde özellikleri iyileştirir. Ancak özel olarak pek katılmaz. Dövmeyi zorlaştırdığı için istenmez.

2.9.3. Paslanmaz çeliklerin işlenebilirliği

Krom, paslanmaz çeliğin bir temel ögesi olup malzemenin yüzeyinde krom-oksit filmi oluşturarak paslanmaz çeliği korozyondan korur. Karbon muhtevası yeterince yüksek olduğu zaman paslanmaz-krom çelikleri karbon çelikleri gibi sertleştirilebilir. Paslanmaz çelikler kroma ek olarak molibden, bakır, titanyum, silikon, manganez, alüminyum, nitrojen ve sülfür gibi diğer alaşım elementlerini ihtiva eder. Bu elementler malzeme yapısını değiştirmek, korozyon direncini ve diğer özelliklerini iyileştirmek için kullanılır. Başlıca mukavemet olmak üzere bazı özellikler doğrudan malzeme yapısına bağlıdır [7, 36].

Yüksek alaşımlı paslanmaz çelikler yapısında aşındırıcı karbür taneleri ihtiva eder. Bu taneler takım aşınmasının daha hızlı meydana gelmesine neden olur. Sertleştirilmiş ve temperlenmiş haldeki martensitik çeliklerin hassas işlenmesinde yüksek kesme hızlarından kaçınılmaması durumunda, malzemenin ikinci defa temperlenmesini gerekli kılar [4].

Paslanmaz çeliklerin yüksek çekme mukavemetine sahip olması da işlenebilirliği olumsuz yönde etkilemektedir. Akma ve kopma noktaları arasındaki uzaklık normal karbonlu çeliklere göre daha fazladır. Dolayısıyla paslanmaz çelikler işlenirken, normal karbon çeliklere göre daha fazla kesme kuvvetine ihtiyaç duyulmaktadır.

Östenitik paslanmaz çeliklerin, düşük ısı iletkenliğine ve pekleşme özelliğine sahip olması da işlenebilirliği olumsuz yönde etkileyen faktörlerden biridir. Paslanmaz çeliğin işlenme esnasındaki pekleşme özelliği, normal karbonlu çeliklere göre daha yüksek miktarda kesme kuvvetine ihtiyacın doğmasına yol açar. Isıl iletkenliğin düşük olması kesme bölgesinde sıcaklığın artmasına yol açar. Meydana gelen yüksek sıcaklık ikinci deformasyon bölgesinde difüzyon aşınmasının oluşmasını sağlar [4].

Östenitik paslanmaz çelikler diğer paslanmaz çeliklere nazaran en çok kullanılan gruptur ve korozyon direnci bakımından diğerlerine göre en iyisidir. En yaygın paslanmaz östenitik çelikler 18/8 (% 18 Cr- % 8 Ni) tipidir. Bu çelik östenitik

grubunda temel düzeyde korozyon direncini temsil eder. Eğer daha iyi korozyon direnci gerekirse çeliğe molibden eklenir. Bu yolla aside karşı dirençli paslanmaz elik elde edilir. 18/8 ve 18/8+2 Mo elikleri östenitik paslanmaz çeliklerin en geniş kısmını oluşturur. Bunun yanı sıra aynı zamanda daha yüksek alaşımlı örneklerde mevcuttur. Paslanmaz eliğin korozyon direncini arttırmak için % 22 oranında nikel, % 65 oranında krom ve biraz da bakır katılır.

18/8 paslanmaz çelikler e ayrılır:

- Düşük karbonlu (0,08)
- Çok düşük karbonlu (0,003)
- Stabilize edilmiş (Ti en yaygın stabilizasyon elementidir)

18/8 paslanmaz çeliğin aynı zamanda kolay işlenebilen alternatifleri de vardır. En yaygın olarak kullanılan bu çelikler tekrar slfürize edilebilirler. Bazen işlenebilirliğin arttırılabilmesi için selenyum eklenir. Bu katkı maddeleri korozyon direncini zayıflatır. Bundan dolayı bu çelikler korozyon direnci gerekmediği durumlarda tercih edilir [7].

Paslanmaz eliklerin İşlenebilirlik Problemleri:

Yüksek ekme mukavemeti ve korozyon direncini elde etmek için paslanmaz çeliklere çeşitli malzemeler ilave edilmektedir. Bu eklenen malzemeler paslanmaz çeliklerin işlenebilirliğini zorlaştırmaktadır. Malzeme işlenirken pekleşen kalın bölgeler, spiral biçimdeki talaşlar, şiddetli harmonikler ve oluşan ısı talaş kaldırma işlemine zorlaştırmakta ve takım ömrünü azaltmaktadır. Bununla birlikte paslanmaz çeliklerin soğuk şekillendirilmeleri, karbon çeliklerinde oluşan deformasyon sertleşmesi tabakasından daha kalın bir sertleşmiş tabaka oluşmasına sebep olmaktadır. Yani kesici takım ile temasta olan yüzeyin, malzemenin normal haline göre daha fazla sertlikte olmasına neden olabilir. Paslanmaz eliklerin işlenmesi için

gerekli olan yüksek kesme kuvvetleri, kesme esnasında oluşan “ısıyı” ve “takım aşınmasını” artırır.

“Yanak aşınması” iş parçası malzemesi içindeki aşındırıcı taneciklerin takım ile iş parçası arasında yüksek basınç altında sıkışarak takım kesici ağzını aşındırması sonucu meydana gelir. Yanak aşınması ile kesme hızı doğrudan ilişkilidir.

Kesme hızının artması bu aşınma mekanizmalarını hızlandırır. Yanak aşınması sayısal olarak VB değeri ile ifade edilir [37, 38].

Takım talaş yüzeyi ile temas uzunluğu boyunca talaşın hareket karakteristiği metallerin işlenmesindeki önemli bir faktördür. Talaş oluşumunda yüksek sıcaklık ve büyük basınç altında metal zorlandığı, kuvvete maruz kaldığı için yüzeyi, metalin kaymasını engelleyecek şekilde birleşir. İki yüzey birbirine yapışır ve ara yüzeyde bir akma bölgesi oluşur. Bu teori pek çok metal işlemine uygulanmasına rağmen bazı örneklerde kayma etkisi de söz konusu olabilir. Akma bölgesi, yüzeyler yapıştığında takım ile talaş arasındaki hareket devam ettiğinde oluşur. Oluşan talaşın hızı ara yüzeyde sifıra yakın bir değerden takımdan ayrıldıkça daha yüksek seviyelere doğru artar. Bu sebeple talaş, kesilmeden dolayı kayma düzlemi (takım yüzeyi) boyunca hareket eder. Bu durağan bölgede yüksek ısı oluşur ve metal akar. Takım talaş arasındaki temas boyunca temastaki boy, işlemede farklı reaksiyonlara sebep olur [37].

Belirli koşullarda ve malzemelerde akış bölgesindeki malzeme tabakalar halinde birbiri üzerine birikir, takım yüzeyinde katılaşır ve böylelikle yığma kenar (BUE) oluşur. Metal yüksek basınç etkisiyle sürekli olarak takım yüzeyine kaynak olur. Böyle bir yapı takımın talaş açısını değiştirir, yığma kenar belli bir zaman sonra kararsız bir hal alarak belirli bir noktadan kırılır. Bu durum işlemin çeşitli safhalarında, farklı şekillerde ortaya çıkabilen işleme, negatif etkisi olan bir durumdur. Bu durum işleme koşullarının değiştirilmesi ile giderilebilir [12].

Sıvanmayı önlemek için akma bölgesinin oluşturulması gerekir. Bu nedenle kesme hızını arttırmak o bölgelerdeki ısıyı arttırarak akma bölgesindeki akışın sürekli

olmasını sağlar. Aynı zamanda takımın talaş açısını arttırmak, takım iş parçası temasını küçültmek ve takımın talaş yüzeyinin pürüzsüz olmasını sağlamak takımın sıvanma oluşumunu azaltır [37].

İşleme esnasında kaynak olmuş dilimli talaşlar uzun süreli tiz seslerin çıkmasına, bununla birlikte kesici uçların çatlamasına ve kırılmasına sebep olur.

İşlenebilirliğin İyileştirilmesi:

Östenitik paslanmaz çeliklerin işlenebilirliğinin iyileştirilmesiyle ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Paro ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, TiN kaplı sementit kaplı karbür takımlar ile X5CrMn1818 östenitik paslanmaz çeliklerin aktif aşınma ve hata mekanizmaları incelenmiştir. Malzemeye ayrı ayrı olarak % 0,91 ve % 0,57 oranında azot emdirilmiştir. Yüksek azotlu östenitik paslanmaz çelikler çok yüksek mukavemetlidir. Yüksek sünekliliğe sahiptir. Gerilmeli korozyon çatlamasına dayanıklıdır. Azot, mevcut yapı içerisindeki dislokasyon hareketine karşı bir engel olarak görev yapar. Tane boyunun sertliği, malzemede yüksek mukavemet sağlar. Azotlu paslanmaz çelikler yüksek soğuk çalışma kapasitesine sahiptirler. Azot oranı arttıkça çalışma sertliği oranı yükselir. Normal X5CrMn1818 östenitik paslanmaz çeliğin tane ölçüsü 30µm ve kopma gerilimi 660 MPa iken yüksek azotlu östenitik paslanmaz çeliğin kopma mukavemeti 3000 MPa olarak ölçülmüştür.

İlk olarak % 0,91 azot alaşımli X5CrMn1818 malzemesi tornalama testine tabi tutulmuştur. 60 m/min kesme hızında ve 0,24 mm/rev ilerlemede takım ömrü 30 min olarak ölçülmüştür. İlerleme sabit tutulup kesme hızının 65 m/min'e çıkartıldığında takım ömrünün 25 min'e gerilediği görülmüştür. Kesme kuvveti değeri 2,4 kN ile 3,5 kN arasında ölçülmüştür.

İkinci olarak % 0,57 azot alaşımli X5CrMn1818 malzemesi tornalama testine tabi tutulmuştur. 60 m/min kesme hızında ve 0,24 mm/rev ilerlemede takım ömrü 22 min olarak ölçülmüştür. İlerleme sabit tutulup kesme hızının 65 m/min'e çıkartıldığında takım ömrünün 10 min'e gerilediği görülmüştür. Kesme hızı 70 m/min'e çıkartılıp

yine ilerleme sabit tutulduğunda ise takım ömrünün 5 min'e indiği tespit edilmiştir. Kesme kuvveti değeri 1,8 kN ile 2,2 kN arasında ölçülmüştür.

Kesme hızı artışı, talaş formasyonunun bozulmasına ve kesici takım kenarından fazla miktarda parça kopmasına neden olmuştur.

Her iki örneğin mikro sertlik ölçümlerinin analizinde yanak aşınmasının meydana geldiği tespit edilmiştir. Tornalanan yüzeyler çok pürüzlü çıkmıştır. Malzeme yüzeyinde mikro çatlaklara rastlanmıştır. İş parçası yüzeyi mikro sertliği video kamera sistemi ile ölçülmüştür. % 0,57 azot içerikli X5CrMn1818 malzemesinin mikro sertliği 600 HV olarak tespit edilmiştir. Yüzeyden 200 µm derinliğe kadar çalışma sertliği meydana gelmiştir. % 0,91 azot içerikli X5CrMn1818 malzemesinin mikro sertliği ise yaklaşık 400 HV olarak ölçülmüştür. Yüzeyden 100 µm derinliğe kadar çalışma sertliği meydana gelmiştir. Malzeme yüzeyinden içeriye doğru girildikçe sertliğin azaldığı görülmüştür [39].

Bir metalin işlenebilirliği, onun mikro-yapısı ile ilgili olup yapıda sert parçacıkların mevcut olması, kesici takım ömrünü düşürürken yapıdaki kristaller irileştikçe takım ömrü artar [14].

Alaşım elementlerinin takım ömrüne etkisi farklıdır. Örneğin karbon miktarı azaldıkça işlenebilme özelliği düşer. Çünkü süneklik artmakta ve malzeme takım ucuna yapışarak körlenmeyi hızlandırmaktadır. Diğer taraftan da karbon oranı arttırıldıkça malzemenin sertliği arttığından, takım aşınması hızlanmış olur. Bu nedenle, çelikler için maksimum işleme kabiliyeti % 0,2 C içerikli çelik olmaktadır. Buna ilaveten; otomat çeliklerin işlenebilirliği genellikle Sülfür, Kurşun, Sodyum, Mangan ilave edilerek ve soğuk çekmeyle değiştirilebilmektedir. Bu değişiklik sonucunda; takım ömrünün arttırılması, daha iyi yüzey kalitesi ve kesme işlemi için daha düşük güç sarfiyatı gibi avantajlar elde edilir [14].

3. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Paslanmaz çelikler; içerisinde en az % 10,5 oranında (ağırlıkça) krom içeren demir esaslı alaşım olarak tanımlanırlar. İçerdikleri diğer katkı elementlerine göre değişen ve tamamen östenitik ile tamamen ferritik özellikler aralığında sıralanan beş farklı çeşit paslanmaz çelik türü vardır. Bunlar sırası ile östenitik paslanmaz çelikler, ferritik paslanmaz çelikler, martenzitik paslanmaz çelikler, çift bazlı paslanmaz çelikler ve çökelme yoluyla sertleşebilen paslanmaz çeliklerdir. Östenitik paslanmaz çelikler 200 ve 300 serilerini içerirler ve 304 bunların içinde en yoğun olarak kullanılanıdır. Temel alaşım elemanı krom ve nikeldir. Bu alaşımlar, geniş bir sıcaklık aralığında sahip oldukları yüksek tokluk ve yüksek dayanım değerleri ile ön plana çıkarlar ve 540 °C'a kadar ki sıcaklıklarda oksidasyona karşı dayanım gösterirler. Bu grupta yer alan malzemelerin başında 302, 304, 310, 316, 321 ve 347 gelmektedir [34].

Tekiner ve Yeşilyurt, AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğinin tormalama esnasındaki ses oluşumuna bağlı olarak kesme parametrelerine etkisini araştırmışlardır. Çalışmalarında en iyi kesme parametrelerini belirlemek için 200 mm boyunda ve 30 mm çapında hazırlanan numuneleri CNC torna tezgahında işlemişler ve karşılaştırmışlardır. Tormalama işleminde üç farklı ilerleme miktarı (0,2, 0,25 ve 0,3 mm/rev) ve (120, 135, 150, 165, 180 m/min) kesme hızlarını kullanmışlardır. Deneyle sırasında sesleri bir mikrofon yardımıyla bilgisayara kayıt etmişler. İdeal kesme parametreleri ve kesme işlemi sonucunda elde edilen sesler karşılaştırılmak suretiyle en iyi kesme parametrelerini sese bağlı olarak bulmuşlardır. Sonuçta en iyi sonuçların 165 m/dk kesme hızında ve 0,25 mm/dev ilerleme hızında elde edildiği ortaya çıkmıştır [40].

Korkut ve arkadaşları, AISI 304 paslanmaz çeliğinin işlenmesi esnasında optimum kesme parametrelerinin belirlenmesi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında optimum kesme hızını belirlemek için sementit karbür kesici takımı kullanmışlar ve kesme hızının takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğüne olan etkisini araştırmışlardır. Araştırmalarında üç farklı kesme hızı 120, 150 ve 180

m/dk kullanmışlardır. Sonuç olarak 180 m/min'in üzerindeki kesme hızlarında takım aşınmasının azaldığını ve yüzey pürüzlülük değerinin de kesme hızının artmasıyla azaldığını bulmuşlardır [41].

Çiftçi, çalışmasında iki farklı kalite östenitik paslanmaz çeliğin (AISI 304 ve AISI 316) işlenmesinde, kesici takım kaplamasının, kesme hızının ve iş parçası malzemesinin, kesme hızı ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini incelemek amacıyla soğutma sıvısı kullanmadan işlenebilirlik deneyleri yapmıştır. TiC/TiCN/TiN ve TiC/TiCN/Al₂O₃ katmanlarıyla çok katlı kaplanmış sementit karbür kesici takımlar kullanmıştır. Deneylerini dört farklı kesme hızı (120, 150, 180, 210 m/min), 0,16 mm/rev sabit ilerleme hızı ve 1,6 mm sabit kesme derinliği şartlarında yapmıştır. Deney sonucunda, TiC/TiCN/TiN kaplanmış kesici takımın TiC/TiCN/Al₂O₃ kaplanmış kesici takımdan daha düşük kesme kuvvetlerine sahip olduğunu, kesme hızının kesme kuvvetlerinde önemli derecede bir değişikliğe neden olmadığını ancak kesme hızının yüzey pürüzlülüğünü önemli derecede etkilediğini görmüştür. Kesme hızının artması ile yüzey pürüzlülüğü değerinin belirli bir kesme hızı değerine kadar azaldığını ancak bu değerden sonra kesme hızının artışı ile tekrar arttığını görmüştür [42].

Akasawa ve arkadaşları, tarafından östenitik paslanmaz çeliklerin işlenebilirliğindeki serbest kesme etkilerini belirlemek için deneyler yapılmıştır. Alaşım içerisindeki malzemelerin etkileri deneysel olarak belirlenmeye çalışılmıştır. Özellikler yüzey bütünlüğü şartlarında işlenebilirliğin düzeltilmesi için etkili veriler önerilmiştir.

Yapılan testlerin sonucunda aşağıdaki veriler elde edilmiştir.

- Yüzey sertliği, özellikle kuru kesmede, düşük kesme hızlarında kötüleşmektedir.
- Malzemeye bakır ilave etmek kesme kuvvetinin azalmasına yol açıyor.
- Bizmut'un eklenmesi yüzey kalitesini kötü yönde etkilememiş, fakat talaş kalınlığının azalmasına sebep olmuştur. Takım aşınması meydana gelmemiştir [43].

Hagiwara ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, düşük ilerleme ile iyi yüzey kalitesi elde etmelerine rağmen, talaş kırılabilirlik istenildiği gibi olmamış ve yüksek ilerleme oranında ise talaş kırılabilirlik iyi olmasına rağmen yüzey kalitesi kötüleşmiştir. Bu durumda, kesme derinliğindeki küçük bir değişim ile talaş kırılabilirliğini önemli ölçüde etkilemiştir. Bu durumda, optimal kesme koşulları ile değişik geometrideki iş parçasının her noktasında iyi talaş kırılabilirliği ve yüzey kalitesi elde etmişlerdir [44].

Kim ve Kweun ise, talaş kırılmasını etkileyen en önemli faktörün, talaş akış yönü olduğunu belirtmişlerdir. Yüksek kesme hızlarında ve düşük ilerleme oranlarında; kesme hızının ve kesme derinliğinin talaş kırılmasına etkisinin önemli olduğu belirtilmiştir. Düşük ve orta kesme hızlarında, talaş kırılması istenilen ölçülerdedir. Yapılan çalışmada yanal kıvrımlı talaş kırıcının talaş kırılmasına etkisi kayda değer olmuştur [45].

Lee ve arkadaşları, analitik ve deneysel metotları kullanarak yaptıkları çalışmada talaş kırıcı indekslerinin performansını kuru tornalama prosesinde değerlendirmişlerdir. KA, KC ve MG talaş kırıcıları, birbirleri ile geliştirdikleri indekslerine göre kıyaslamışlardır. Kırıcının geometrisinin talaş oluşumunda ve talaşın geometrik özelliklerinde etkin rol oynadığını bu çalışmada ifade edilmiştir [46].

Ebrahimi ve Moshksar, yaptıkları çalışmada orta karbonlu çeliklerin işlenmesinden düz talaş elde etmişlerdir. Bu talaşların mikro yapısında küçük kırıklar saptanmıştır. Talaş kalınlıkları ise 0.6 mm ile 0.35 mm arasında değişen değerlerde bulmuşlardır. Yazarlara göre, talaş akışını etkileyen en önemli faktör kesici takım talaş açısıdır [47].

Ercan ve Özçatalbaş, tornalama sırasında oluşan kesme kuvvetlerini gerinim ölçer ölçme tekniği ile algılayabilen bir dinamometre imal etmişler ve gerinim ölçer ölçme köprüsünden aldıkları analog sinyalleri amplifikatörden geçirerek hassasiyetini artırmış ve dijital dönüştürücü vasıtasıyla da bilgisayar ortamına aktararak kesme

kuvveti değerlerinin bilgisayar ortamında depolanması ve değerlendirilmesini sağlamışlardır [48].

Strafford ve Audy, tek noktadan kesme işlemleri yapan takımlarla, tornalamada oluşan kesme kuvveti elemanlarının bağıntılarını ve bunların farklı karbon bileşimlerindeki çeliklerin mikroyapıları üzerindeki genliklerini incelemiştir. Sürekli kesme şartları altında, silindirik çelik malzeme ve sert metal uçlar kullanılarak incelemeler yapmış ve dinamik kuvvetleri üç parçalı bir Kistler piezoelektrik dinamometresi tarafından ölçerek, beş dakika aralıklarla değerlendirmiştir. Bu kısa periyotların ötesinde elde edilen sonuçların takım aşınmasından önemli bir ölçüde etkilenmediğini, bu çeşit bilginin işleme şartlarını iyileştirmeye yardımcı olabileceğini ve iş parçası malzemesinin işlenebilirliğinin dolaylı gösteriminde kullanılabileceğini ileri sürmüşlerdir [49].

Duran, tornalama esnasında oluşan 3 eksenli kesme kuvvetlerini ölçebilecek gerinim ölçer esaslı sekizgen halka dinamometresi tasarlamış ve imalatını yapmıştır. Çalışmasında, değişik kesme kenarı ayar açıları kullanarak Ç1060 malzemesinin işlenmesi esnasında oluşan kesme kuvvetlerini ölçmüş ve bu kuvvetlerin kesici takım üzerindeki etkilerini ANSYS sonlu elemanlar paket programı kullanarak incelemiştir. Makina parçalarının istenen verimde çalışabilmesi, birçok faktörün yanında yüzey kalitesine de bağlıdır. İşlenmiş bir yüzeyin yapısı, kalite açısından en önemli kriterlerden biridir. İşlenmiş parça yüzeylerinin tribolojik özellikleri, yüzey dokusundan birinci derecede etkilenmektedir. Yüzey pürüzlülüğü sadece aşınma, sürtünme ve yağlama gibi tribolojinin geleneksel konularında değil aynı zamanda sızdırmazlık, hidrodinamik, elektrik, ısı iletimi vb. farklı alanlarda da dikkate alınması gereken önemli bir faktördür. Malzemelerin işlenmesi esnasında kullanılan kesme parametreleri yüzey hassasiyetini etkilemektedir [50].

Lee ve Tarng, talaş kaldırma operasyonlarında kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliğinin yüzey pürüzlülüğü, kesme gücü ve takım ömrüne etkisi incelenmiştir. Yapılan çalışmayla maksimum üretim veya minimum maliyet amaçlanmıştır. Deneyde sinir ağı yöntemi kullanılmıştır. Kesme hızının artırılmasıyla; yüzey

pürüzlülüğü ve takım ömrü azalmıştır. İlerlemenin artmasıyla; yüzey pürüzlülüğü artmış üretim süresi kısalmıştır. Kesme derinliğinin artmasıyla; takım ömrünün azaldığını ve üretim sürelerinin düştüğünü saptamışlardır [51].

Sağlam, kesme parametrelerinin kesme kuvvetleri üzerindeki etkileri, takım aşınmasına bağlı olarak kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğündeki değişmelerin analiz edilerek optimum kesme parametrelerinin seçilmesi amaçlanmıştır. Kesme kuvvetleri üzerinde kesme derinliği ve ilerlemenin daha etkili olduğu, kuvvet oranlarının takım aşınmasını ve dolayısıyla takım ömrünü ve belirlenen yüzey kalitesini tayin etmede bir gösterge olarak kullanılabileceğini söylemiştir [52].

Çoğun ve Özses, CNC torna, işleme merkezi ve borverk tezgahlarında değişik işleme parametreleri ile talaş kaldırmak suretiyle oluşan yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesi ve birbiri ile karşılaştırılması amaçlanmıştır. İlerlemenin sabit tutularak devir sayısının arttırıldığında yüzey pürüzlülüğünün azaldığı, devir sayısının sabit tutulup ilerlemenin arttırılmasıyla yüzey pürüzlülüğünün arttığı, talaş derinliğinin arttırılmasıyla yüzey pürüzlülüğünün arttığı ve büyük radüslü uçlar kullanıldığında yüzey pürüzlülüğünün azaldığını tespit etmişleridir [53].

Güllü ve Özdemir, frezeleme metodu yoluyla genellikle bitirme işlemi olarak uygulanan taşlama ve benzeri işlemlerle elde edilen yüzey pürüzlülüğüne yaklaşılarak kaliteyi arttırıcı ve üretim zamanını azaltıcı matematiksel modellerin elde edilmesi amaçlanmıştır. Kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliğinin yüzey pürüzlülüğüne etki ettiğini, yüzey kalitesini sağlayabilmek için ilerleme ve kesme hızının birbiri ile kombine şekilde kullanılması gerektiğini, kırıncı uç kullanımında yüzey kalitesinin daha iyi çıktığını söylemişlerdir [54].

Korkut ve Dönertaş, Ç1020 ve Ç1040 çeliklerinin işlenebilirliğini arttırmak için kesme parametreleri incelenmiştir. Kesme parametrelerinin değiştirilmesiyle BUE oluşumu ve yüzey pürüzlülüğünün nasıl etkilendiğine bakılmıştır. Kesme hızı, ilerleme değeri ve kesme derinliğinin işlenebilirlik üzerine etki ettiği, yüzey

pürüzlülüğü ve BUE oluşumlarının bu değerlere bağlı olduğu ve Ç1020 çeliğinin Ç1040'a göre daha kolay işlenebildiğini belirlemişlerdir [55].

Talaş kaldırarak işleme tekniği; şekli, boyutları ve yüzey kalitesi önceden belirlenmiş parçaların takım tezgâhlarında kesme operasyonu ile şekillendirilmelerini kapsar. Talaşlı imalat, kesici takım ve iş parçasının nispi hareketleri ile iş parçasının belirli bir kısmında, gerilim oluşturarak gerçekleştirilir. Talaşlı imalat işlemlerinde mekanik enerji kullanılır. İşleme esnasında mekanik enerjinin hemen hemen tamamı ısı enerjisine dönüşür [56].

Makina parçalarının imal edilmesinde ucuz, iş parçasının istenilen ölçü ve yüzey kalitesinde olması istenir. Bu etmenlerden yüzey kalitesi; yüzey pürüzlülüğü, ısıl çatlaklar ve kalıcı gerilmelerden oluşmaktadır. Yüzey pürüzlülüğü, makina parçalarının çalışması esnasında sürtünme, aşınma, yağlama, ısı ve elektrik iletimi gibi faktörleri etkileyen önemli bir olaydır [57, 58]. Yüzey pürüzlülüğü yüzey kalitesini belirleyen bir parametredir. Yüzey pürüzlülüğü kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesme derinliği gibi parametrelere bağlıdır [59, 60].

Bu çalışmada, mühendislik malzemesi olarak yaygın biçimde kullanılan AISI 303, AISI 304, AISI 316 L östenitik paslanmaz çeliklerinin işleme şartlarını yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri açısından daha da iyileştirmek amacıyla bundan önce yapılmış olan çalışmalardan farklı olarak kesme parametrelerinin yanı sıra farklı kesici kenar formları kullanılıp, bu üç malzeme arasında karşılaştırma yaparak en ideal sonuçların elde edilmesi amaçlanmıştır.

4. MATERYAL VE METOT

4.1. Deney Numuneleri

Bu çalışma farklı kesici kenar formları ve uç yarıçaplarının farklı östenitik paslanmaz çeliklerin işlenebilirliği üzerindeki etkisini incelemek amacıyla yapılmıştır. Bu amaç doğrultusunda, endüstride yaygın olarak kullanılan AISI 303, AISI 304 ve AISI 316L östenitik paslanmaz çelik numuneler kullanılmıştır. Deney numunelerinin kimyasal kompozisyonu Çizelge 4.1’de, mekanik özellikleri ise Çizelge 4.2’de verilmiştir. Numuneler 25 mm çapında ve 250 mm uzunluğunda olacak şekilde hazırlanmıştır. Deneyler sırasında sabit talaş kesitinin sağlanması için ayna punta arasında tezgâha bağlanan numuneler üzerinden deney öncesi 1 mm talaş alınarak silindirik bozukluklar ve dış katmanda homojen olmayan sertliğin olumsuz etkisi ortadan kaldırılmıştır. Bu durum kesme kuvvetlerinin kararlı bir davranış göstermesine yardımcı olmakla birlikte ilk anda takım aşınmasının olumsuz etkilenmesini önlemektedir. Her bir deney numunesinde işleme esnasında oluşan esas kesme kuvveti (F_c), ilerleme kuvveti (F_f) ve pasif kuvvet (F_r) ayrı ayrı tespit edilmiştir.

Çizelge 4.1. Deneylerde kullanılan malzemelerin kimyasal kompozisyonu (% ağırlık)
[34]

Kalite	C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S	Mo	Diğer
303	0,15	2,00	1,00	17,0- 19,0	8,0- 10,0	0,20	Min0,15	0,06	Kalan
304	0,08	2,00	1,00	18,0- 20,0	8,0- 10,5	0,045	0,03		Kalan
316L	0,03	2,00	1,00	16,0- 18,0	10,0- 14,0	0,045	0,03	2,0-3,0	Kalan

Çizelge 4.2. Deneyleerde kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri [34]

Kalite	Isıl İşlem Şartı	Çekme Dayanımı (N/mm²)	Akma Dayanımı (N/mm²)	Uzama (%)	Kesit Daralması (%)	Sertlik Rockwell B (HRB)
303	Tavlı	620	241	50	55	B84
304	Tavlı	586	241	55	65	B80
316L	Tavlı	538	207	55	65	B76

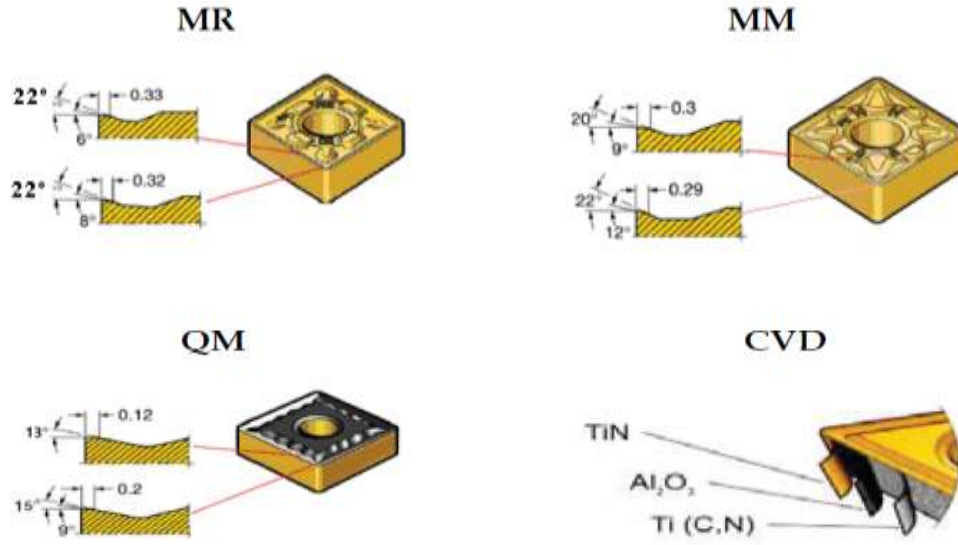
4.2. Deneyleerde Kullanılan Takım Tezgâhı

Deneyleer ISO 3685 (TS 10329)'deki deney şartlarına uygun olarak Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü CNC Atölyesi'nde bulunan Johnford TC-35 marka CNC torna tezgahında gerçekleştirilmiştir.

4.3. Deneyleerde Kullanılan Takım Tutucu, Kesici Takımlar ve Kesme Parametreleri

4.3.1. Takım tutucu ve kesici takımlar

İşlenebilirlik deneyleeri ISO 1832'ye uygun SANDVIK takım firmasına ait (resimleri Şekil 4.1'de verilen) üç farklı kesici kenar formu (QM, MM ve MR) ve formlardan birine ait (MM) üç farklı uç yarıçapı (0,8; 1,2 ve 1,6 mm) kullanılarak CVD kaplı GC2025 kalitesine sahip beş farklı takım ile yapılmıştır. QM 13⁰, MM 9⁰, MR 6⁰ talaş açısına sahiptir. Takım tutucu olarak da ISO 5608'e uygun PSBNR 2525M12 takım tutucu kullanılmıştır.



Şekil 4.1. Deneilerde kullanılan kesici takımların kesici kenar formları ve kaplama özellikleri [61]

4.3.2. Kesme parametreleri

Deneiler; 2 mm kesme derinliği sabit tutularak, dört farklı kesme hızı (125, 150, 175 ve 200 m/dk) ve üç farklı ilerleme değeri (0,1; 0,2 ve 0,3 mm/dev) kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Çizelge 4.3). Deneilerin tamamı soğutma sıvısı kullanılmadan kuru kesme şartlarında gerçekleştirilmiştir.

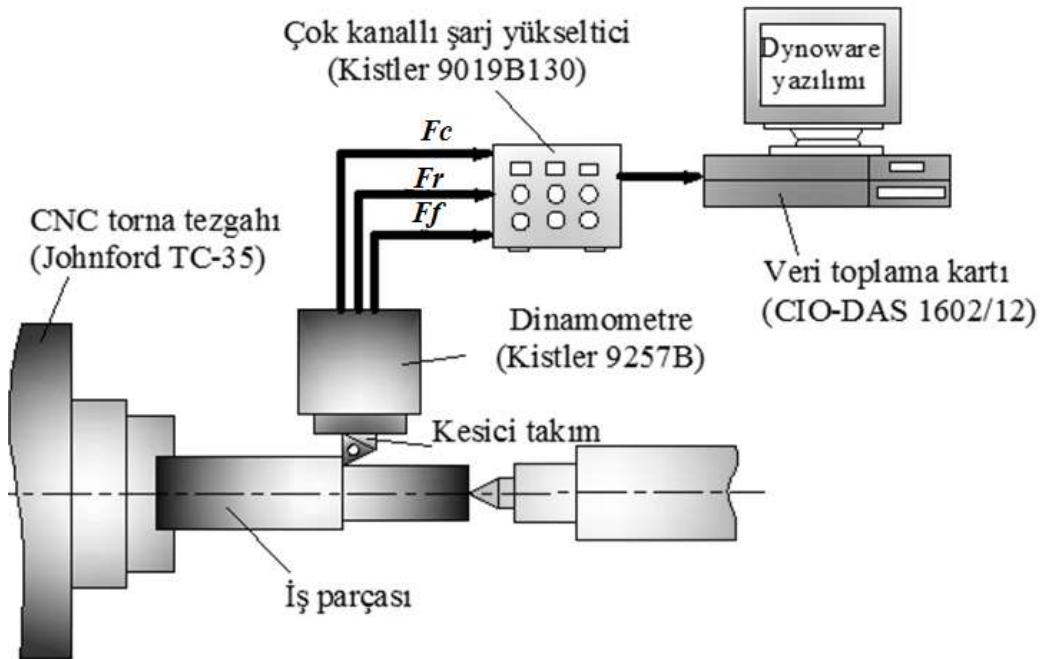
Çizelge 4.3. Deneilerde kullanılan kesme parametreleri.

Kesme Hızı (V-m/dk)	İlerleme (f -mm/dev)
125	0,1
	0,2
	0,3
150	0,1
	0,2
	0,3
175	0,1
	0,2
	0,3
200	0,1
	0,2
	0,3

4.4. Kesme Kuvvetlerinin Ölçülmesi

Talaş kaldırma esnasında üç eksende kuvvet ölçümü için Kistler 9257B marka bir dinamometre kullanılmıştır. Ölçüm esnasında yükseltici olarak kullanılan Kistler 5019B130 ile CIO-DAS 1602/12 veri toplama kartının da yer aldığı şematik diyagramı ve deney düzeneği Şekil 4.2’de verilmiştir.

Çalışmada CNC torna tezgahı ile talaş kaldırmada talaş oluşumu esnasındaki kesme kuvvetlerini belirlemek için, Çizelge 4.4’te teknik özellikleri verilen KİSTLER 9257B Piezokristal esaslı dinamometreden faydalanılmıştır. Dinamometrenin kalibrasyonu için imalatçı firmanın dinamometre ile birlikte yolladığı kalibrasyon değerlerini bilgisayar programına girdikten sonra program otomatik olarak kalibrasyon ayarlarını gerçekleştirmektedir. Veriler aynı şekilde görülen amplifikatör yardımıyla bilgisayar ortamına aktarılmakta ve bu değerler Dynoware programı yardımı ile sayısal değerlere dönüştürülmüştür.

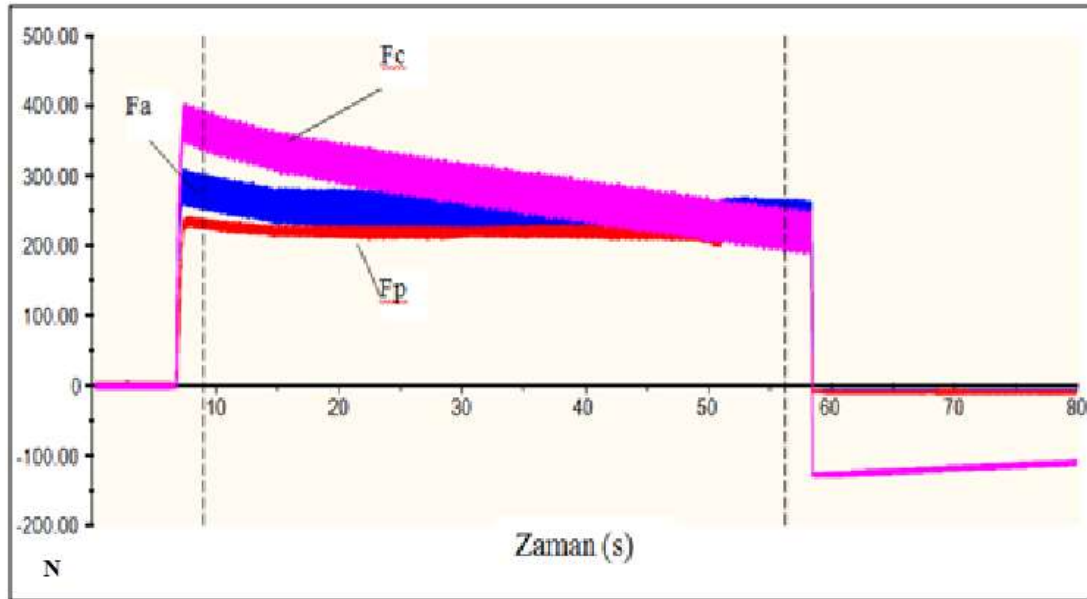


Şekil 4.2. Kesme kuvvetlerinin ölçülmesinin şematik diyagramı

Çizelge 4.4. Kistler 9257B tipi dinamometrenin teknik özellikleri [62]

Özellik	Değeri
Kuvvet aralığı (Fx, Fy, Fz)	-5...10 kN
Tepki verme	<0.01 N
Hassasiyet Fx, Fy	-7.5 pC/N
Fz	3.5 pC/N
Doğal frekans f0 (x,y,z) 3.5 kHz	Doğal frekans
Çalışma sıcaklığı	0...70°C
Kapazitans	220 pF

Ölçülen değerler Dynoware programı yardımı ile sayısal değerlere dönüştürülmüştür. Dynoware programında elde edilen kuvvetleri gösteren grafik Şekil 4.3'te verilmiştir.



Fa: Esas kesme kuvveti, Fp: Pasif kuvvet, Fc: İlerleme kuvveti

Şekil 4.3. İşleme Deneyleri Esnasında Oluşan Kesme Kuvvetleri Diyagramı

4.5. Yüzey Pürüzlülüğünün Ölçülmesi

Bu çalışmada, kesme parametrelerinin, yüzey kalitesi üzerindeki etkilerinin ve uygun parametrelerin tespiti esas alınmıştır. Bu amaçla, girdi parametrelerine bağlı olarak elde edilen yüzeyin kalitesini belirlemek amacıyla, işlenen yüzeylerin ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) belirlenmiştir. Tornalamak suretiyle işlenen numunelerin

yüzey pürüzlülükleri, Çizelge 4.5'te teknik özellikleri verilen 9633 seri numaralı Mahr Perthometer M1 yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı ile ölçülmüştür.

Çizelge 4.5. 9633 seri numaralı Mahr Perthometer M1 yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazının teknik özellikleri

Model	M1
Tarama hızı	0,5 m/sn
Tarama kuvveti	0,75 mN
İğne uç yarı çapı	2 μ m
Ölçüm aralıkları	100 -150 μ m
Profil çözünürlüğü	12 mm
Filtre	Gausion
Örnekleme uzunluğu (Cut-off length)	0,25 - 0,8 - 2,5 (mm)
Ölçme uzunluğu (L)	1,75 - 5,6 – 17,5 (mm)
Ölçülen parametreler	Ra, Rz, Rmax
Güç kaynağı	Entegre, NiCd şarj edilebilir pil
Boyutlar	190x170x75 mm

4.6. Çalışmada Kullanılan Makina ve Teçhizatlar

Çalışma esnasında deney numunelerinin hazırlanmasından deney sonuçlarının grafiklere aktarılmasına kadar yapılan çalışmalarda birçok makina ve teçhizat kullanılmıştır. Çizelge 4.6'da bu makina ve teçhizatlar ve kullanım amaçları verilmiştir.

Çizelge 4.6. Çalışmada kullanılan makina ve teçhizatlar

Çalışmada Kullanılan Makina ve Teçhizat Listesi	
Adı / Modeli	Çalışmadaki Kullanım Amacı
Universal Torna Tezgâhı Tezsan SN 45 A	Deney numunelerinin hazırlanması. (Alın tornalama, punta deliği açma ve Silindirik tornalama)
CNC Torna Tezgahı Johnford TC-35	Tornalama deneylerinin yapılması.
<i>Dinamometre ve Aksesuarları:</i> Kistler 9257 B Dinamometre, CIO-DAS 1602/12 veri toplama kartı, Kistler 5019B130 Amplifier, Kistler Dynoware yazılımı	Tornalama deneyleri sırasında oluşan kesme kuvvetinin (F_c) bilgisayar ortamına aktarılarak, grafiklerin oluşturulması.
<i>Yüzey Pürüzlülük Ölçme Cihazı:</i> Mahr Perthometer M1	Tornalanmış yüzeylerin yüzey kalitesinin belirlenmesi (İşlenmiş yüzeylerin ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin (R_a) ölçülmesi).
<i>Ölçü aleti:</i> Kumpas	Deney numunelerinin hazırlanması sırasındaki ölçümler ve deneyler öncesi yapılacak ayarlar.

5. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu çalışmada östenitik paslanmaz çeliklerin işlenebilirliği üzerinde kesici kenar formunun ve kesme parametrelerinin etkisini araştırmak amacıyla deneysel sonuçlar karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Deneylelerden elde edilen veriler, Ek 1'deki Çizelgelerde detaylı olarak verilmiş olup, bu veriler grafiklere aktarılarak değerlendirilmiştir.

5.1. Kesme Kuvvetlerinin Değerlendirilmesi

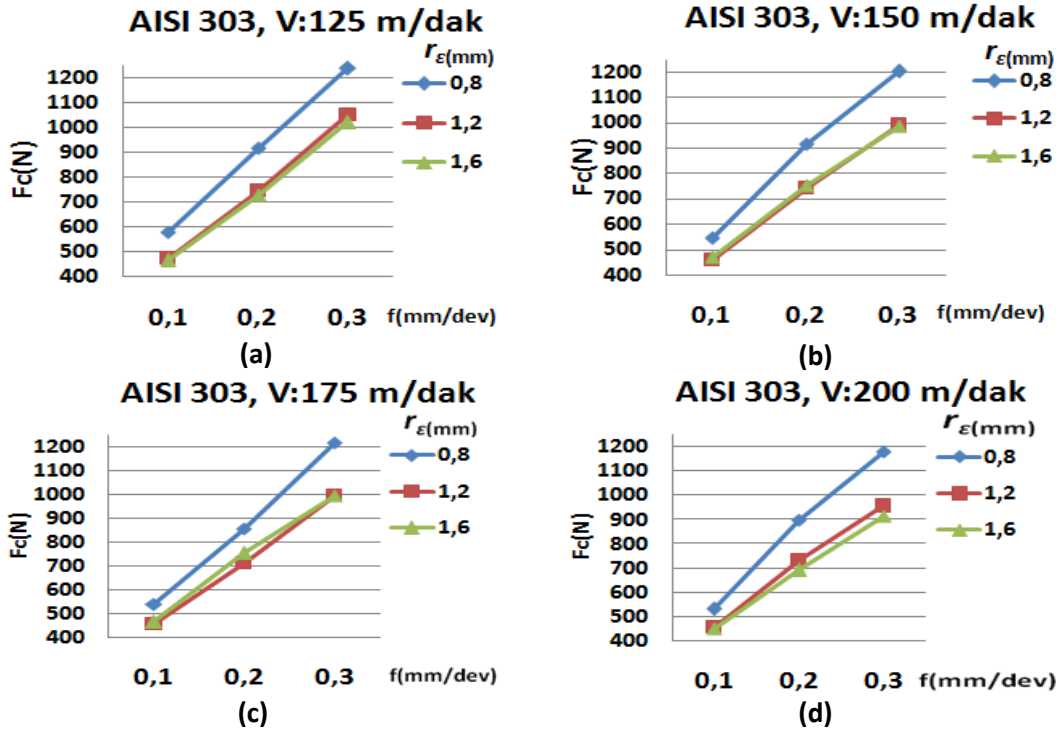
5.1.1. MM kesici kenar formunda kesme kuvvetleri

Bu çalışmada, işlenebilirlik değerlendirilirken enerji tüketimi açısından en önemli parametre olan esas kesme kuvveti (F_c) dikkate alınmıştır [7,12]. AISI 303, AIS 304 ve AISI 316L malzemelerin işlenmesi MM kesici kenar formu ile 08 MM (0,8 mm), 12 MM (1,2 mm) ve 16 MM (1,6 mm) takım uç yarıçapı (r_e) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Uç yarıçapına bağlı olarak yapılan deneyler neticesinde ölçülen esas kesme kuvveti değerleri malzeme baz alınarak Şekil 5.1 - Şekil 5.3'te verilmiştir.

AISI 303 malzeme için esas kesme kuvveti açısından en düşük değer (450 N) 200 m/dk kesme hızı, 0,1 mm/dev ilerleme ve 16 MM uç yarıçapına sahip takımla elde edilirken (Şekil 5.1.d), en yüksek değer (1238 N) 125 m/dk kesme hızı, 0,3 mm/dev ilerleme ve 08 MM formundaki kesici takımlardan elde edilmiştir (Şekil 5.1.a).

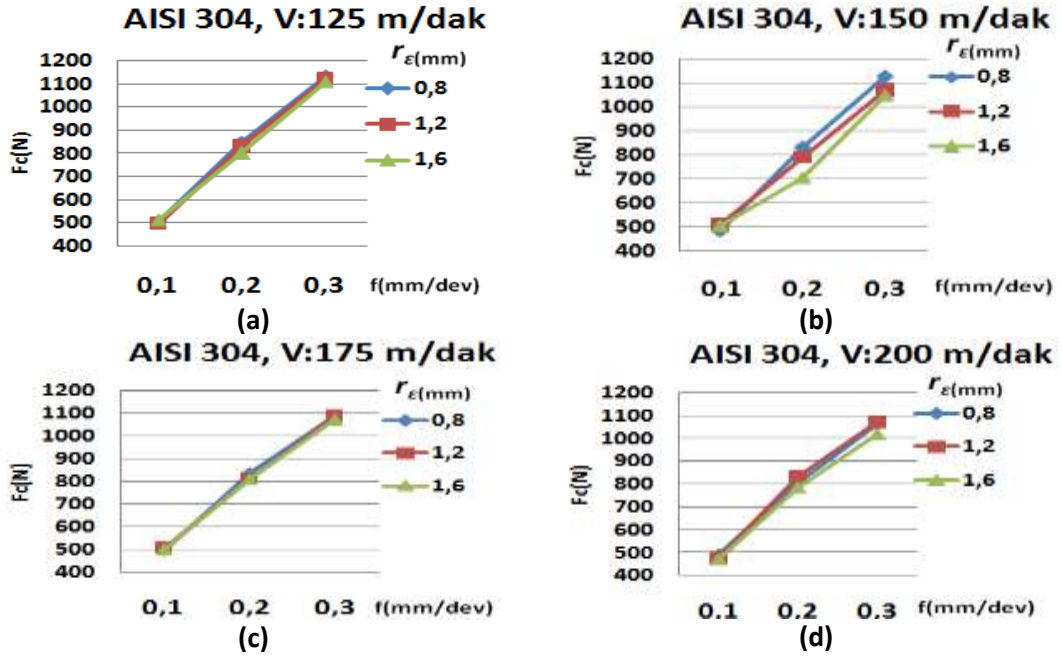
Şekil 5.1'de verilen grafiklerde ilerleme arttıkça esas kesme kuvvetinin arttığı görülmektedir. Kesici takım uç yarıçapının 0,8 mm'den 1,2 mm'ye çıkmasıyla kesme kuvvetlerinde bir düşme eğilimi gözlenirken, yarıçap 1,2 mm'den 1,6 mm'ye çıktığında kayda değer bir değişim gözlenmemiştir. Kesici uçtaki takım uç yarıçapı tormalama operasyonlarında ana faktörlerden birisidir. Takım uç yarıçapı, kesme derinliğine (a) ve ilerlemeye (f) bağlıdır. Takım uç yarıçapı; yüzey kalitesini, talaş

kırma etkisini ve kesici uç dayanımını etkiler. Takım yarıçapının küçük olması; küçük talaş derinlikleri için idealdir, titreşimi azaltır ve daha az kesici uç dayanımı gerektirir. Takım uç yarıçapının geniş olması ise; ağır ilerleme oranları, büyük kesme derinlikleri, daha güçlü kenar ve arttırılmış radyal kuvvetler demektir [61].

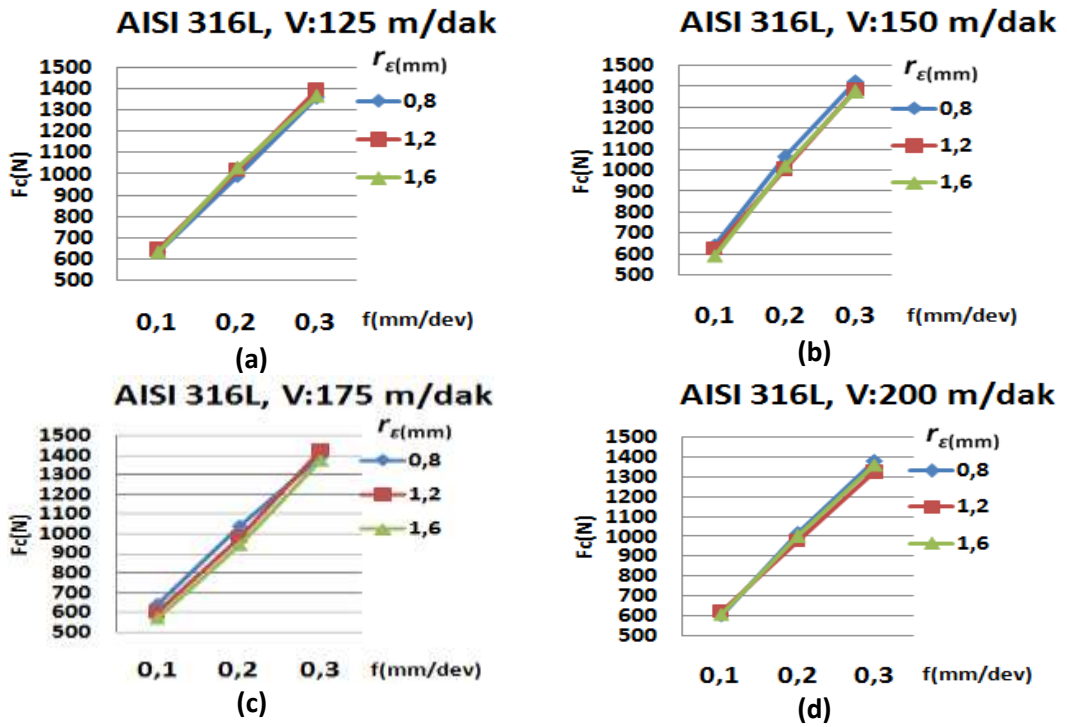


Şekil 5.1. AISI 303 malzemenin MM kesici kenar formundaki farklı uç yarıçaplarına sahip takımlarla işlenmesi esnasında ilerlemeye bağlı olarak esas kesme kuvvetindeki değişim.

AISI 304 malzeme için esas kesme kuvveti açısından en düşük değer (473 N) 200 m/dk kesme hızı, 0,1 mm/dev ilerleme ve 16 MM uç yarıçapına sahip takımla elde edilirken (Şekil 5.2.d), en yüksek değer (1131 N) 125 m/dk kesme hızı, 0,3 mm/dev ilerleme ve 08 MM formundaki kesici takımlardan elde edilmiştir (Şekil 5.2.a). Şekil 5.2'de verilen grafiklerde ilerleme arttıkça esas kesme kuvvetinin arttığı ve takım uç yarıçapının 0,8 mm'den 1,6 mm'ye büyümesiyle ise önemli bir değişiklik olmadığı görülmektedir.



Şekil 5.2. AISI 304 malzemenin MM kesici kenar formundaki farklı uç yarıçaplarına sahip takımlarla işlenmesi esnasında ilerlemeye bağlı olarak esas kesme kuvvetindeki değişim



Şekil 5.3. AISI 316 malzemenin MM kesici kenar formundaki farklı uç yarıçaplarına sahip takımlarla işlenmesi esnasında ilerlemeye bağlı olarak esas kesme kuvvetindeki değişim

AISI 316L malzeme için esas kesme kuvveti açısından en düşük değer (568 N) 175 m/dk kesme hızı, 0,1 mm/dev ilerleme ve 16 MM uç yarıçapına sahip takım ile elde edilirken (Şekil 5.3.c), en yüksek değer (1425 N) ise 175 m/dk kesme hızı, 0,3 mm/dev ilerleme ve 12 MM (Şekil 5.3.c), formundaki kesici takımlardan elde edilmiştir. Şekil 5.3'te verilen grafiklerde ilerleme arttıkça esas kesme kuvvetinin yükseldiği ve takım uç yarıçapının 0,8 mm'den 1,6 mm'ye çıkarılmasıyla esas kesme kuvvetinin stabil durumunu koruduğu gözlenmiştir. Burada kesme kuvvetlerinin daha yüksek çıkmasının bir diğer nedeni de olarak, AISI 316L paslanmaz çeliklerde düşük karbon (C) oranından dolayı, talaş oluşumu ve kırılması için daha geç zamanda deformasyon sertleşmesine neden olduğundan fazla kesme kuvvetine ihtiyaç duyması gösterilebilir.

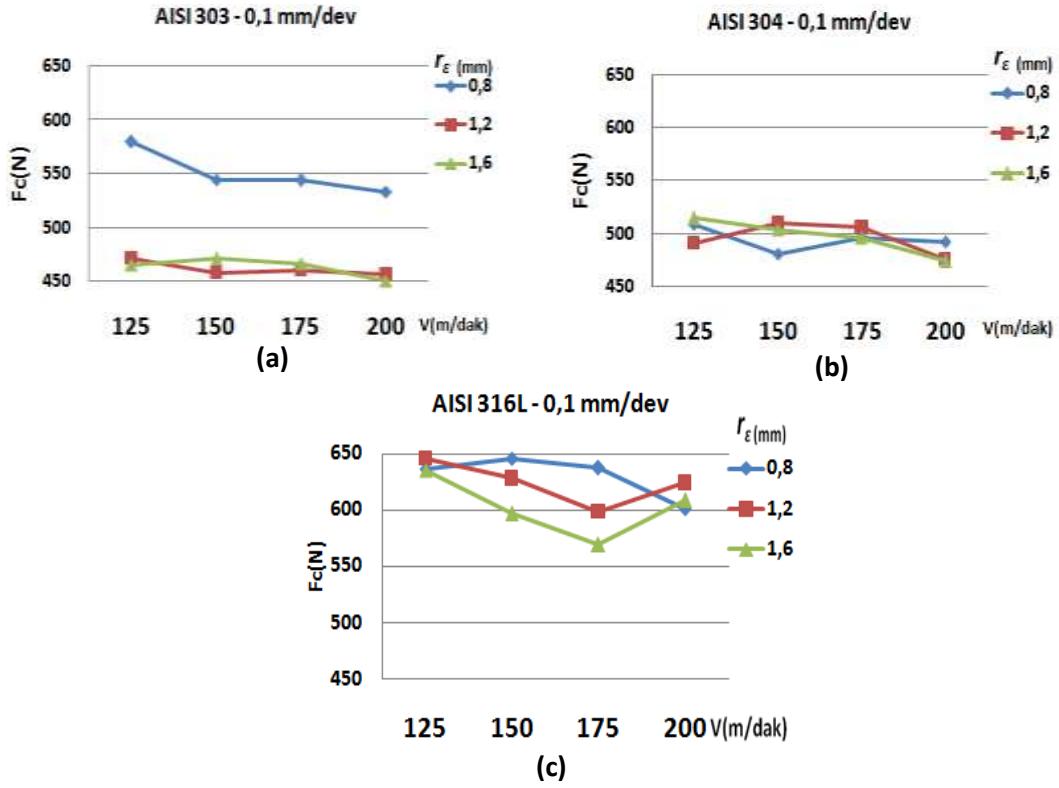
MM formu için genel bir değerlendirme yapılacak olursa; takım uç yarıçapının artmasıyla esas kesme kuvvetinde, AISI 304 ve AISI 316L östenitik paslanmaz çelik için belirgin bir değişim oluşmamıştır. Sadece AISI 303 östenitik paslanmaz çelikte takım uç yarıçapının 0,8 mm'den 1,2 mm'ye çıkarılmasıyla bütün kesme hızlarında esas kesme kuvvetinin yaklaşık % 20 oranında düştüğü görülmüştür. Şekil 5.1 – Şekil 5.3'te verilen grafiklerde genel olarak ilerlemenin artırılmasıyla, esas kesme kuvvetinin belirgin şekilde arttığı görülmektedir.

İlerlemenin artışı ile kesme kuvvetlerinin artması literatüre göre beklenen bir sonuçtur [3]. Oluşan bu durumu Kienzle'nin eşitliğine göre açıklamak mümkündür;

$$F_c = A \cdot k_s \quad (5.1)$$

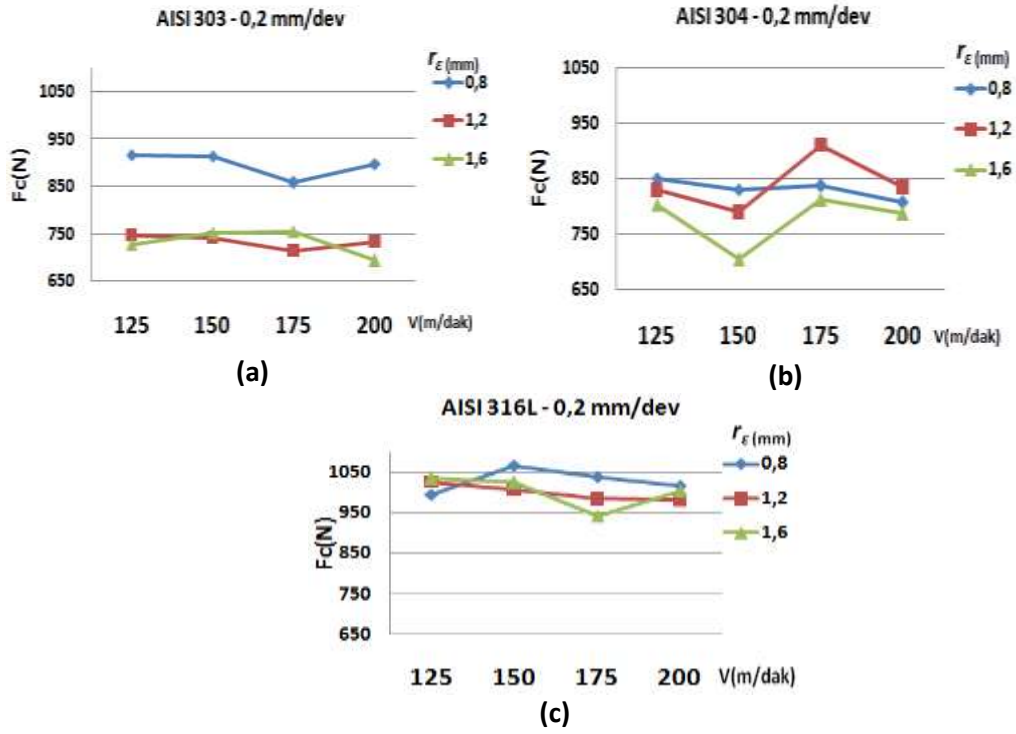
Burada; F_c (Esas kesme kuvveti), (A) talaş kesit alanı, (k_s) özgül kesme direnci, “talaş kesiti = ilerleme . kesme derinliği” olarak ifade edildiğine göre, ilerlemenin artmasına bağlı olarak artan talaş kesit alanı (A) ise kesme kuvvetlerinin artmasına sebep olacaktır [3].

Kesme hızının, esas kesme kuvveti üzerindeki etkisi Şekil 5.4 – Şekil 5.6'deki grafiklerde ayrıca değerlendirilmiştir.



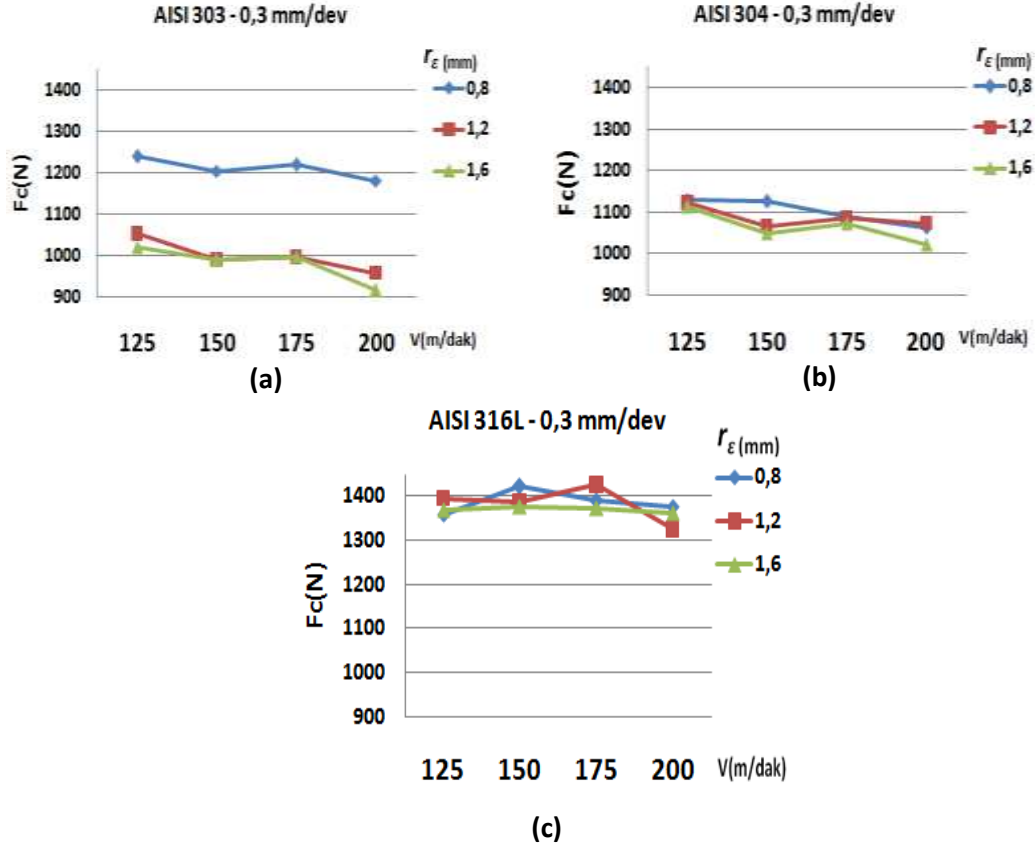
Şekil 5.4. 0,1 mm/dev ilerleme değeriinde; AISI 303, AISI 304 ve AISI 316L malzemenin MM kesici kenar formundaki takımlarla işlenmesi esnasında farklı takım uç yarıçaplarında kesme hızına bağlı olarak esas kesme kuvvetindeki değişimler

0,1 mm/dev ilerleme değeri için esas kesme kuvvetlerinin değerlendirilmesi yapılacak olursa; AISI 303 malzeme de takım uç yarıçapının 0,8 mm'den 1,2 mm'ye çıkmasıyla esas kesme kuvvetinde % 20 oranında bir düşüş olduğu gözlenmiştir. Yarıçapın 1,2 mm'den 1,6 mm'ye çıkmasıyla dikkate değer bir değişim olmamıştır (Şekil 5.4. a). AISI 304 ve AISI 316L malzemelerin değerlendirilmesi yapıldığında takım uç yarıçapı açısından belirgin bir değişim söz konusu değildir (Şekil 5.4. b, c). Bu üç malzemeyi esas kesme kuvveti açısından değerlendirdiğimizde, AISI 303 ve AISI 304 malzemelerin verileri birbirine yakın ve ortalama 500 N olarak saptanmıştır. AISI 316L malzemenin verileri ise yaklaşık % 22 daha yüksek çıkmıştır. Grafikte (Şekil 5.4) kesme hızının artmasıyla esas kesme kuvvetinde düşme eğilimi olduğu, fakat kesme hızının 200 m/dk'ya çıkmasıyla birlikte esas kesme kuvvetinde artış gözlenmiştir (Şekil 5.4.c).



Şekil 5.5. 0,2 mm/dev ilerleme değerinde; AISI 303, AISI 304 ve AISI 316L malzemenin MM kesici kenar formundaki takımlarla işlenmesi esnasında farklı takım uç yarıçaplarında kesme hızına bağlı olarak esas kesme kuvvetindeki değişim

0,2 mm/dev ilerleme değeri için esas kesme kuvvetlerinin değerlendirilmesi yapıldığında; AISI 303 malzeme de takım uç yarıçapının 0,8 mm'den 1,2 mm'ye çıkmasıyla esas kesme kuvvetinde %17 oranında bir düşüş gözlenmiştir (Şekil 5.5.a). Yarıçapın 1,2 mm'den 1,6 mm'ye çıkmasıyla kayda değer bir değişim saptanmamıştır (Şekil 5.5.b, c). Ayrıca diğer malzemeler için de takım uç yarıçapı kesme kuvveti açısından belirleyici değişimler göstermemiştir (Şekil 5.5.b, c). AISI 316L malzemenin esas kesme kuvveti değeri burada da diğer malzemelere kıyasla daha yüksek (yaklaşık 1000 N) görülmektedir (Şekil 5.5.c). Kesme hızının artmasıyla esas kesme kuvvetinin düşme eğilimi gösterdiği belirlenmiştir. Sadece Şekil 5.5.b'de kesme hızının 175 m/dk'ya çıkmasıyla (r_ϵ :1,2-1,6 mm) esas kesme kuvvetinde yaklaşık % 14 artış görülmüştür.



Şekil 5.6. 0,3 mm/dev ilerleme değerinde; AISI 303, AISI 304 ve AISI 316L malzemenin MM kesici kenar formundaki takımlarla işlenmesi esnasında farklı takım uç yarıçaplarının kesme hızına bağlı olarak esas kesme kuvvetindeki değişimler

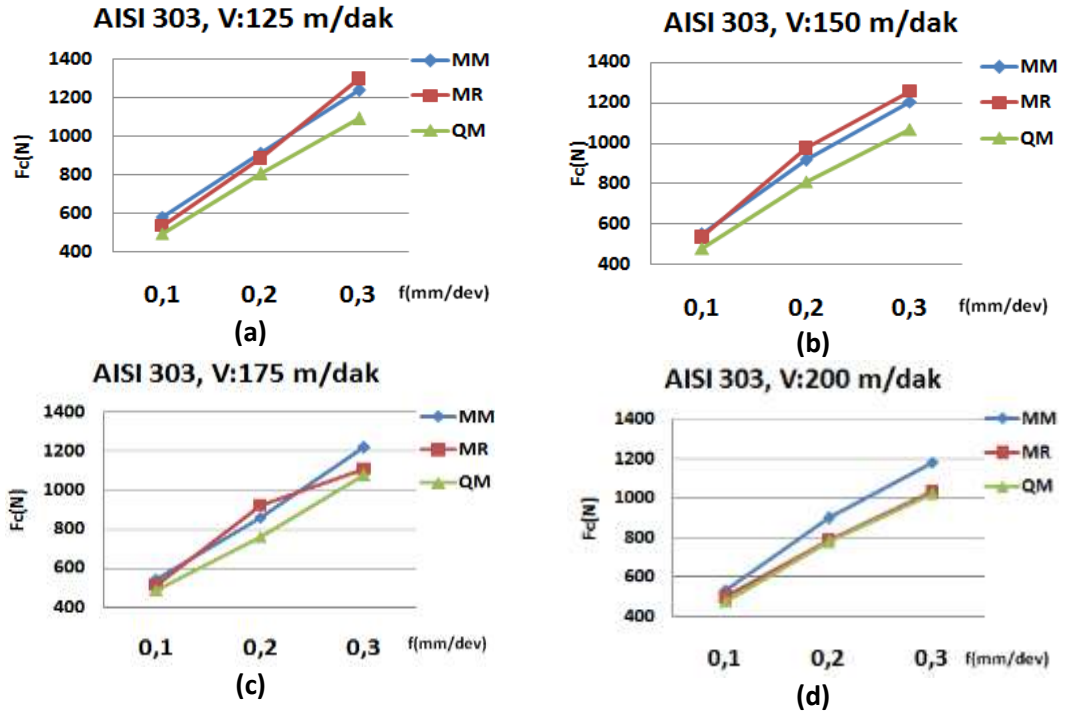
0,3 mm/dev ilerleme miktarı ile yapılan çalışmalar sonunda çıkan veriler değerlendirildiğinde; yine AISI 303 malzeme de takım uç yarıçapının 0,8 mm'den 1,2 mm'ye çıkmasıyla esas kesme kuvvetinde düşme gözlenmiştir (Şekil 5.6.a). AISI 316L malzemenin esas kesme kuvveti değeri, diğer ilerleme verilerinde olduğu gibi burada da %28 daha yüksek çıkmıştır (Şekil 5.6.c). AISI 303 (ortalama 1060 N) ve AISI 304 (ortalama 1080 N) malzemelerin esas kesme kuvveti, birbirine yakın değerlerde görülmektedir (Şekil 5.6.a, b). Kesme hızının artmasıyla da esas kesme kuvveti azalma seyri göstermiştir (Şekil 5.6).

Bu üç grafik (Şekil 5.4 – Şekil 5.6) incelendiğinde kesme hızının artması ile genel olarak esas kesme kuvvetinin düştüğü görülmüştür. Artan kesme hızı ile kesme

kuvvetlerindeki düşüş sıcaklık artışı nedeniyle kesici takım talaş yüzeyindeki temas alanının azalması ve kısmen de akma talaş bölgesinde (ikinci deformasyon bölgesi) kayma dayanımının azalması ile açıklanabilir [3, 60]. Buna paralel olarak kesme hızı arttığında, kesici takım/talaş ara yüzeyindeki sıcaklık artacağından oluşan akma talaş bölgesi (flow chip zone) kesici takım/talaş ara yüzeyindeki sürtünme katsayısı azalır, bu da kesme kuvvetlerinin azalması ile sonuçlanır [61]. Kesme hızı ne kadar arttırılırsa kesme kuvveti de buna ters oranda azalacaktır. Ancak bu durum bazı malzemelerde gerçekleşmeyebilir. Zira Şekil 5.4.c ve Şekil 5.5.b'de kesme kuvvetleri azalma eğilimi gösterdikten sonra bir miktar artma göstermiştir. Bu artış, kesici takım formlarına bağlı olarak üretici firmanın önerdiği hız sınırlarının aşılmasıyla açıklanabilir [61]. Ayrıca grafiklerden (Şekil 5.4 – Şekil 5.6) çıkarılan bir diğer önemli husus; AISI 303 ve AISI 304 östenitik paslanmaz çeliklerin işlenmesiyle, esas kesme kuvveti değerlerinin birbirine yakın olduğudur. AISI 316L östenitik paslanmaz çeliğin işlenmesiyle oluşan esas kesme kuvveti değerlerinin ise nispeten daha yüksek olduğu görülmüştür. Bunun da muhtemel sebebi olarak, AISI 316L malzemenin işlenmesi sırasında oluşan sıvanma eğiliminin diğer malzemelerden daha fazla olduğu düşünülmektedir.

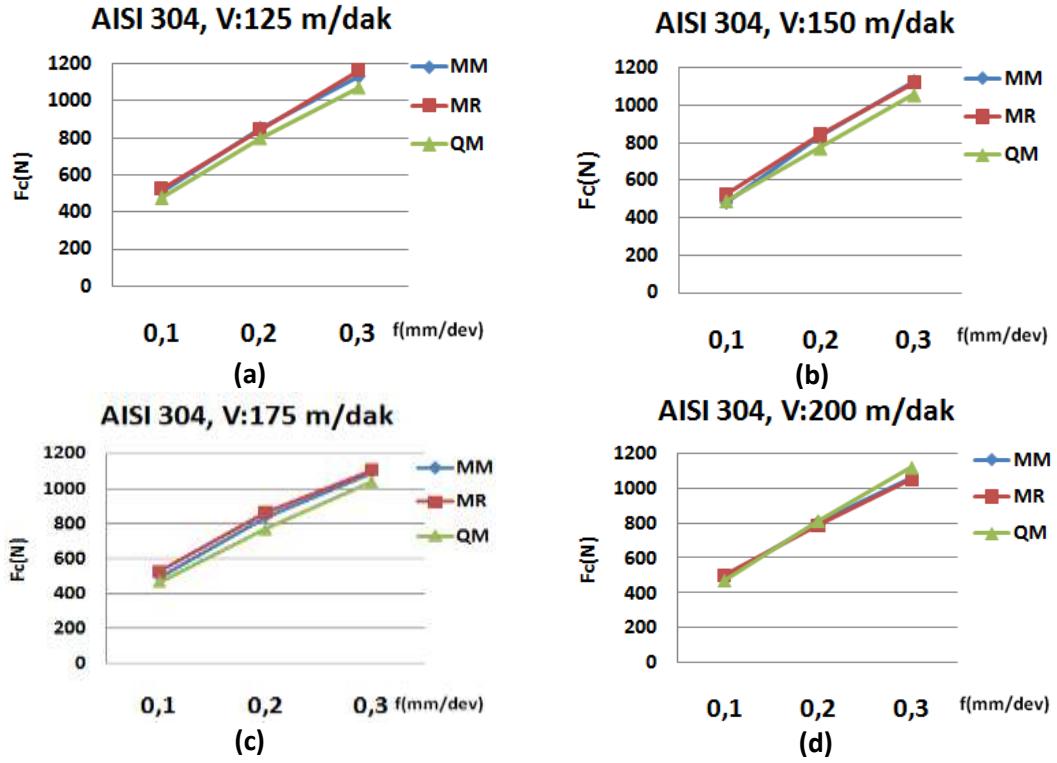
5.1.2. 0,8 mm uç yarıçaplı MM, MR ve QM kesici kenar formlarında kesme kuvvetlerine etkisi

08 MM, 08 MR ve 08 QM kesici kenar formu kullanılarak gerçekleştirilen deneyler neticesinde ölçülen esas kesme kuvveti değerleri Şekil 5.7 – Şekil 5.9'da verilmiştir.



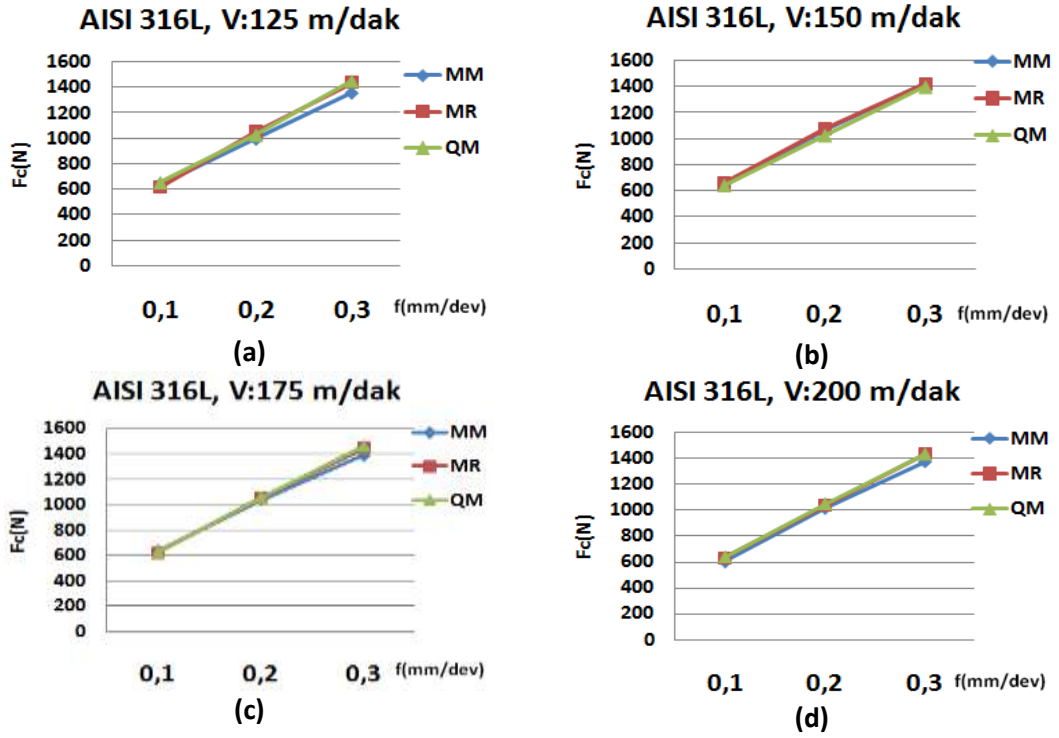
Şekil 5.7. AISI 303 malzemenin MM, MR, QM kesici kenar formuna sahip takımın ilerlemeye bağlı olarak esas kesme kuvvetindeki değişim

AISI 303 malzeme için esas kesme kuvveti açısından en düşük değer (477 N) 150 m/dk kesme hızı, 0,1 mm/dev ilerleme ve QM kesici kenar formuna sahip takımla elde edilirken (Şekil 5.7.b), en yüksek değer (1298 N) ise 125 m/dk kesme hızı, 0,3 mm/dev ilerleme ve MR formundaki kesici takımlardan elde edilmiştir (Şekil 5.7.a). Şekil 5.7’de verilen grafiklerde ilerlemenin artmasının esas kesme kuvvetinin yükselmesinde büyük etken olduğu görülmüştür. Ayrıca kesme kuvvetindeki büyük değerlerin genel olarak MR kesici kenar formunda, küçük değerlerin ise QM kesici kenar formunda oluştuğu görülmüştür.



Şekil 5.8. AISI 304 malzemenin MM, MR, QM kesici kenar formuna sahip takımın ilerlemeye bağlı olarak esas kesme kuvvetindeki değişim

AISI 304 malzeme için esas kesme kuvveti açısından en düşük değer (466 N) 175 m/dk kesme hızı, 0,1 mm/dev ilerleme ve QM kesici kenar formuna sahip takımla elde edilirken (Şekil 5.8.c), en yüksek değer (1163 N) ise 125 m/dk kesme hızı, 0,3 mm/dev ilerleme ve MR (Şekil 5.8.a) formundaki kesici takımlardan elde edilmiştir. Grafiği (Şekil 5.8) incelediğimizde ilerlemenin 0,1 mm'den 0,3 mm'ye doğru artırılması, esas kesme kuvvetinin değerinde % 100'ün üzerinde bir artışa neden olmuştur. Grafiğin genelinde kuvvetlerin MR kesici kenar formunda daha yüksek, QM kesici kenar formunda ise daha düşük olduğu görülmüştür.

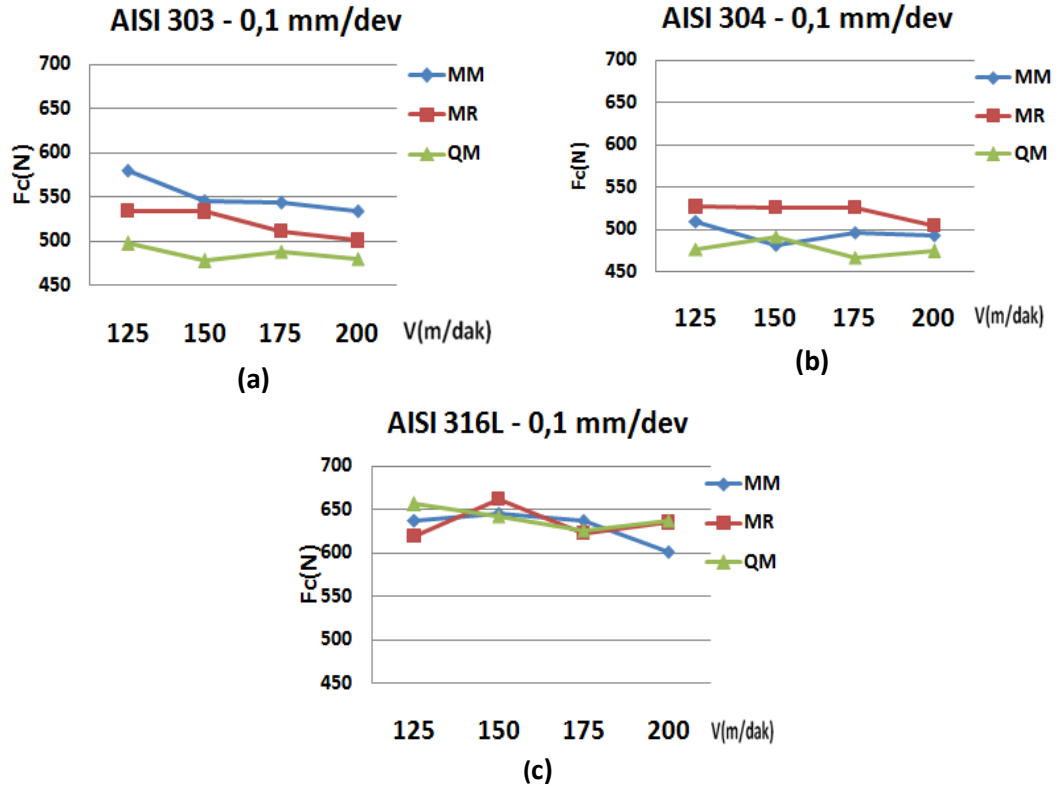


Şekil 5.9. AISI 316L malzemenin MM, MR, QM kesici kenar formuna sahip takımın ilerlemeye bağlı olarak esas kesme kuvvetindeki değişimi

Diğer iki malzemeye kıyasla esas kesme kuvvetinin biraz daha yüksek olduğu görülen AISI 316L malzeme için optimum değer (601 N) 200 m/dk kesme hızı, 0,1 mm/dev ilerleme ve MM kesici kenar formuna sahip takım ile elde edilirken (Şekil 5.9.d), en kötü değer (1460 N) ise 175 m/dk kesme hızı, 0,3 mm/dev ilerleme ve QM (Şekil 5.9.c) formundaki kesici takımdan elde edilmiştir. Şekil 5.9’da verilen grafiklerde ilerleme arttıkça esas kesme kuvvetinin arttığı görülmüştür.

Grafiklerde (Şekil 5.7 – Şekil 5.9) ilerlemenin artması ile esas kesme kuvvetinin belirgin şekilde arttığı görülmektedir. İlerlemenin artması ile kesme kuvvetlerinin artması olağandır. Daha evvel açıklandığı gibi Kienzle tarafından formülize edilen bu durum; ilerlemenin artmasına bağlı olarak artan talaş kesit alanına atfedilebilir [3].

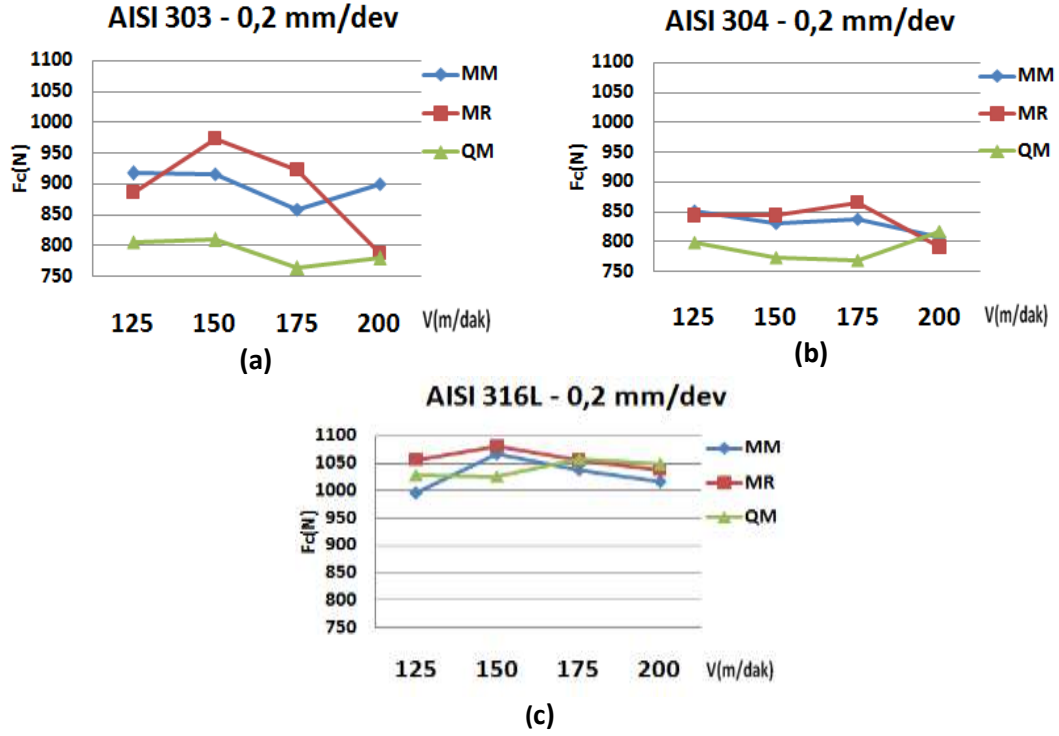
Ayrıca bu malzemelerde üç farklı kesici kenar formu için kesme hızının esas kesme kuvveti üzerindeki etkileri Şekil 5.10 – Şekil 5.12’deki grafiklerde değerlendirilmiştir.



Şekil 5.10. $f:0,1$ (mm/dev) için; AISI 303, AISI 304 ve AISI 316L malzemeler için MM, MR ve QM kesici kenar formlarında kesme hızına bağlı olarak kesme kuvvetlerindeki değişim

0,1 (mm/dev) ilerleme için değerlendirme yapılacak olursa; esas kesme kuvvetinin en büyük olduğu değer (662 N); AISI 316L malzeme, 150 m/dk kesme hızı ve MR kesici kenar formunda görülmüştür (Şekil 5.10.c). Esas kesme kuvvetinin en küçük olduğu değer (477 N) ise AISI 304 malzeme, 175 m/dk kesme hızı, QM kesici kenar formunda görülmüştür (Şekil 5.10.b). Genel olarak MR kesici takım formunun değerlerinin daha yüksek, QM kesici takım formunun daha düşük olduğu görülmüştür (Şekil 5.10). Bu üç malzeme esas kesme kuvveti açısından karşılaştırıldığında, AISI 303 ve AISI 304 malzemelerin verileri birbirine yakın görülmektedir (Şekil 5.10.a, b). AISI 316L malzemenin verileri ise diğerlerine nazaran daha yüksek çıkmıştır (Şekil 5.10.c). Grafiklerin geneline baktığımızda

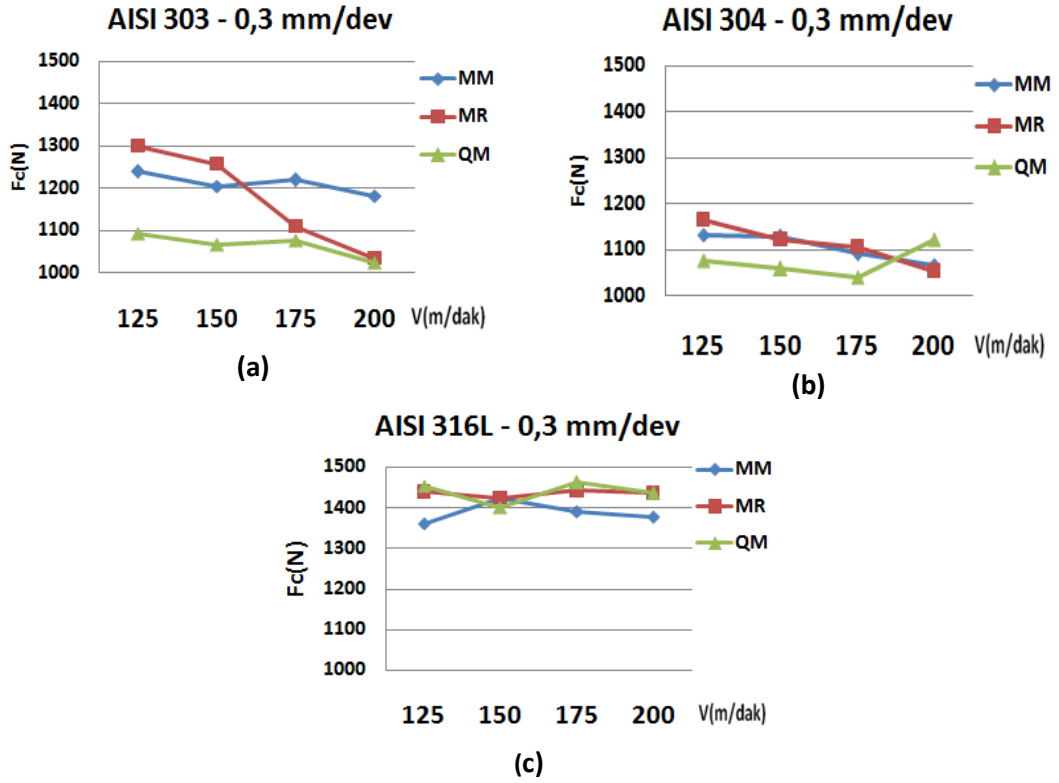
kesme hızının artmasıyla, kesme kuvvetlerinin azalma eğilimine girdiği görülmektedir (Şekil 5.10).



Şekil 5.11. $f:0,2$ (mm/dev) için; AISI 303, AISI 304 ve AISI 316L malzemeler için MM, MR ve QM kesici kenar formlarında kesme hızına bağlı olarak kesme kuvvetlerindeki değişim

0,2 (mm/dev) ilerleme için değerlendirme yapıldığında; esas kesme kuvvetinin en büyük olduğu değer (1081 N); AISI 316L malzeme, 150 m/dk kesme hızı ve MR kesici kenar formunda görülmüştür (Şekil 5.11.c). Esas kesme kuvvetinin en küçük olduğu değer (762 N) ise AISI 303 malzeme, 175 m/dk kesme hızı ve QM kesici kenar formunda görülmüştür (Şekil 5.10.a). Grafiklerin genelinde MR kesici takım formunda, esas kesme kuvvetinin daha yüksek, QM kesici takım formunda daha düşük olduğu görülmüştür. 150 m/dk kesme hızında esas kesme kuvvetinin bir miktar arttığı görülmüştür (Şekil 5.10. a, c). Daha sonra bu kuvvet düşme eğilimi göstermiştir. Deneyle farklı malzemeler için elde edilen esas kesme kuvveti verilerine bakıldığında, AISI 303 ve AISI 304 malzemelerin verileri birbirine yakın görülmektedir (Şekil 5.10.a, b). AISI 316L malzemenin verileri ise diğerlerine

nazaran daha yüksek çıkmıştır (Şekil 5.10.c). Grafiklerin genelinde ise kesme hızının artmasıyla kesme kuvvetlerinin düştüğü görülmektedir.



Şekil 5.12. f:0,3 (mm/dev) için; AISI 303, AISI 304 ve AISI 316L malzemeler için MM, MR ve QM kesici kenar formlarında kesme hızına bağlı olarak kesme kuvvetlerindeki değişimi

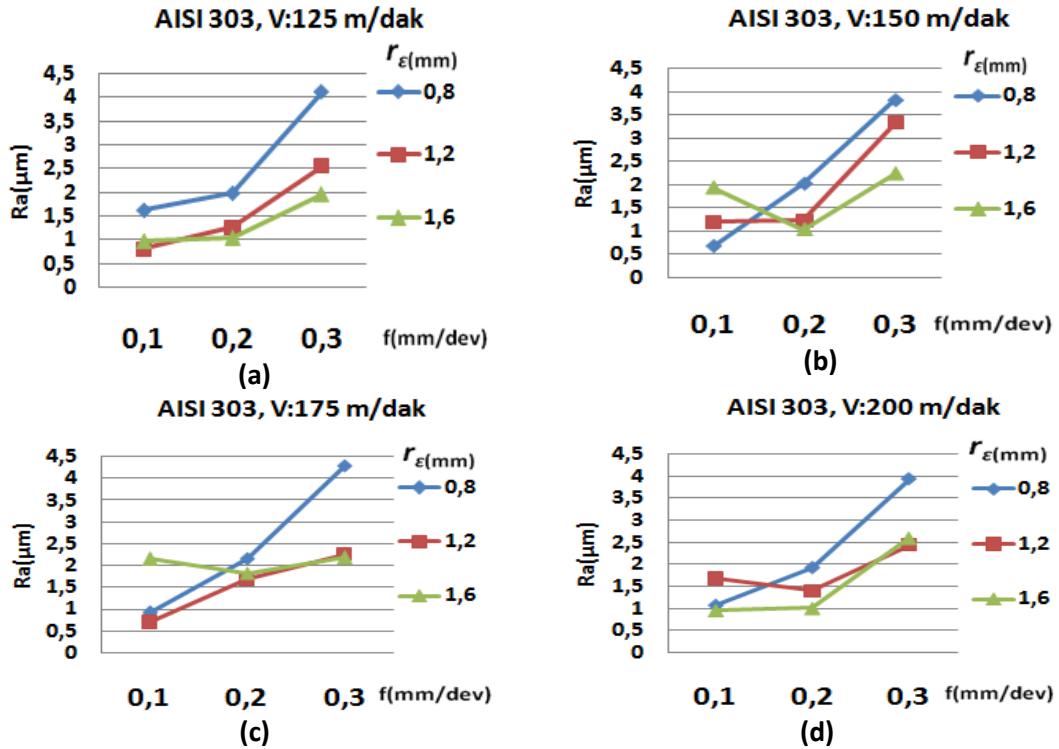
0,3 (mm/dev) ilerleme için verileri incelediğimizde; esas kesme kuvvetinin en büyük olduğu değer (1460 N); AISI 316L malzeme, 175 m/dk kesme hızı ve QM kesici kenar formunda görülmüştür (Şekil 5.12.c). Esas kesme kuvvetinin en küçük olduğu değer (1022 N) ise AISI 303 malzeme, 200 m/dk kesme hızı ve QM kesici kenar formunda görülmüştür (Şekil 5.12.a). Grafiklerin genelinde MR kesici takım formunda, esas kesme kuvvetinin daha yüksek; QM kesici takım formunda daha düşük olduğu görülmüştür. AISI 303 ve AISI 304 malzemelerin verileri değerlendirildiğinde, esas kesme kuvveti değerleri birbirine çok yakın çıkmıştır (Şekil 5.12.a, b). AISI 316L malzemenin esas kesme kuvvetinin ise daha büyük çıktığı görülmektedir (Şekil 5.12.a). Genel olarak kesme hızı arttığında esas kesme kuvvetinde düşme eğilimi gözlenmiştir (Şekil 5.12).

Şekil 5.10 – Şekil 5.12’de ki grafiklerin tamamı genel anlamda değerlendirildiğinde; üç malzeme için de farklı kesici kenar formlarının (MM, MR ve QM) değişmesiyle ortaya çıkan esas kesme kuvveti verileri için en yüksek değerler MR kesici kenar formunda, en düşük değerlerin ise QM kesici kenar formunda olduğu görülmüştür. Bu durumu, talaş kaldırma sırasında kesme kuvvetlerini etkileyen en önemli etkenlerden birisi olan takım/talaş temas uzunluğu ile açıklamak mümkündür. Takım/talaş temas uzunluğunun kesme kuvvetleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu bilinmektedir. Takım geometrisini oluşturan elemanlardan, özellikle talaş açısı bu temas bölgesinin belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Talaş açısı arttıkça takım/talaş temas uzunluğu küçülür ve talaş açısı azaldıkça ise takım/talaş temas uzunluğu artar. Temas uzunluğunun büyümesi ile birlikte kesme kuvvetleri düşerken, temas uzunluğunun artmasına bağlı olarak takım/talaş sürtünmesinin de artmasıyla kesme kuvvetleri de artmaktadır. Pozitif yönde büyük talaş açılarında azalan temas alanı ve sürüklenen talaş hacminin azalması kesme kuvvetlerini azaltmaktadır [63]. Çalışmalarda kullanılan kesici takımlara ait kesici kenar formları incelendiğinde en yüksek talaş açısına QM (13^0) - MM (9^0) - MR (6^0) formlarına sahip olması, esas kesme kuvvetinin büyüklüğü sırasıyla MR-MM-QM kesici kenar formuna sahip kesici takımlarda meydana çıkmıştır. Bununla birlikte Şekil 5.10 - Şekil 5.12’de ki grafiklere baktığımızda en büyük kesici kenar düzlüğüne (talaşın kesici takımla ilk temas ettiği düzlük) sırasıyla MR (0,33) – MM (0,30) – QM (0,12) kesici kenar formunun sahip olduğu saptanmıştır. Daha büyük kesici kenar düzlüğü talaş/takım temas alanını büyütürken küçük kesici kenar uzunluğu talaş/takım temas alanını küçültmektedir. Bu küçülen talaş/takım temas uzunluğu, kesme kuvvetleri ve ısı oluşumunun azalmasına yardımcı olur [63].

5.2. Yüzey Pürüzlülüğünün Değerlendirilmesi

5.2.1. MM kesici kenar formunda yüzey pürüzlülüğü

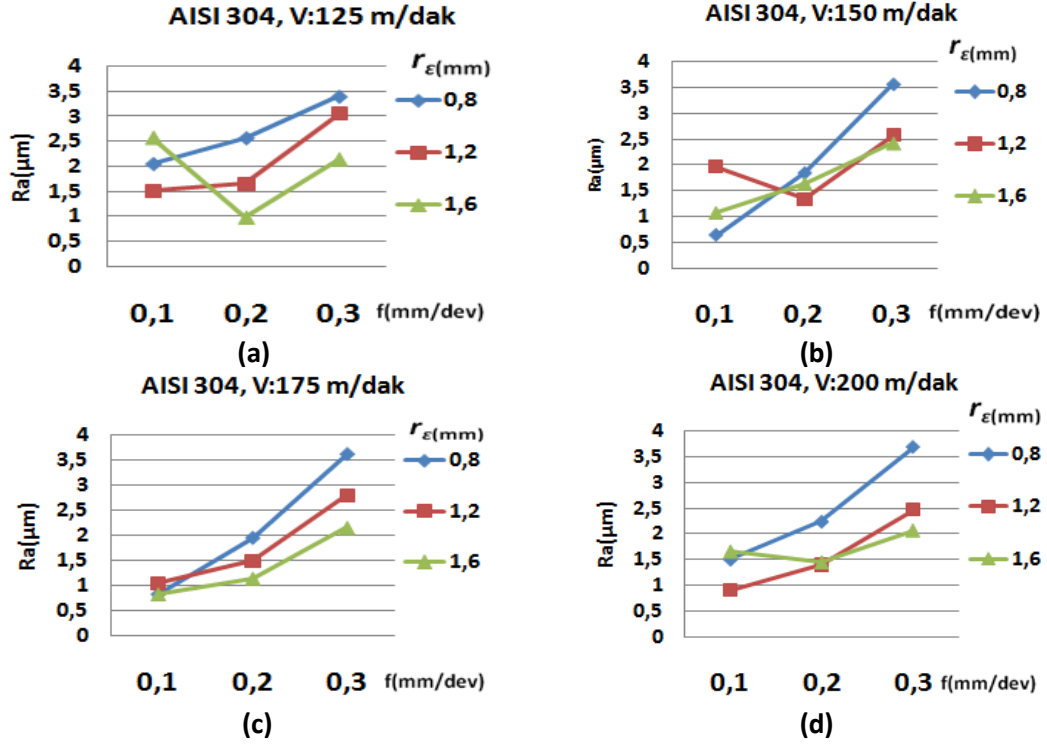
AISI 303, AIS 304 ve AISI 316L malzemelerin işlenmesi MM kesici kenar formu ile 08 MM (0,8 mm), 12 MM (1,2 mm) ve 16 MM (1,6 mm) takım uç yarıçapı kullanılarak gerçekleştirilmiş, deneyler neticesinde ölçülen yüzey pürüzlülüğü (Ra) verileri Şekil 5.13 – Şekil 5.15’de grafiklere aktarılmıştır.



Şekil 5.13. AISI 303 malzeme için MM kesici kenar formundaki farklı takım uç yarıçaplarında ilerlemeye bağlı olarak yüzey pürüzlülüğündeki değişim

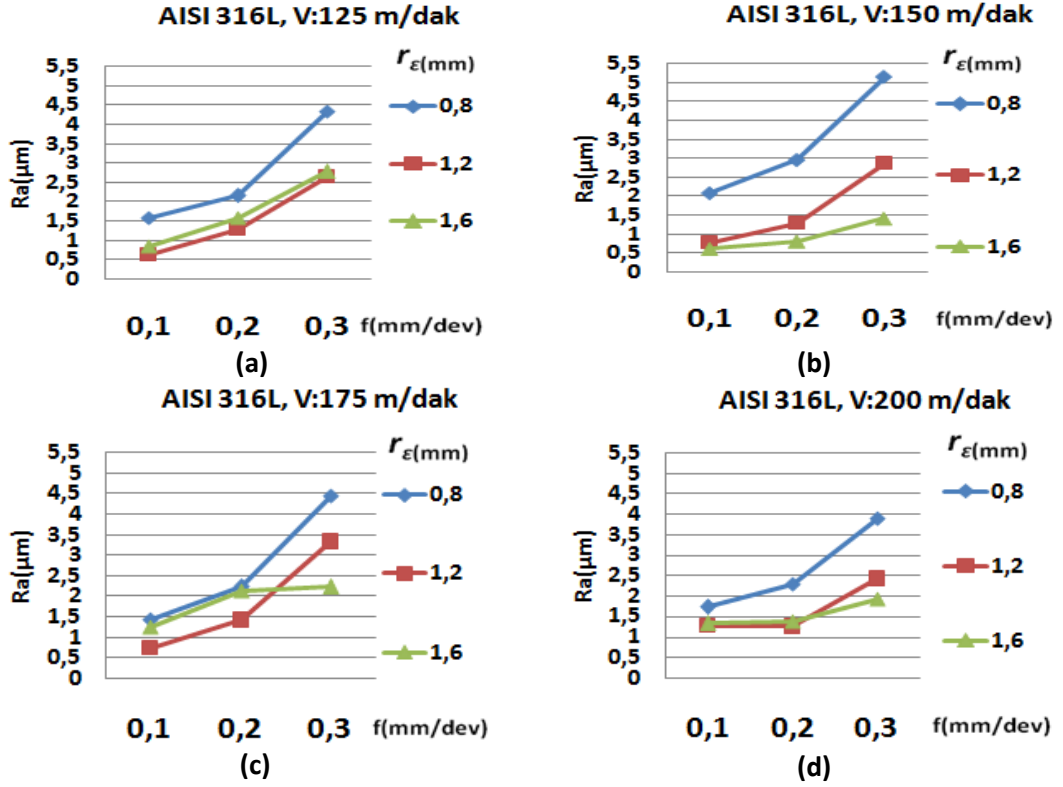
AISI 303 malzeme için yüzey pürüzlülüğü açısından en iyi sonuç (0,664 μm) 150 m/dk kesme hızı, 0,1 mm/dev ilerleme ve 08 MM (Şekil 5.13.b), en olumsuz sonuç (4,301 μm) ise 175 m/dk kesme hızı, 0,3 mm/dev ilerleme ve 08 MM (Şekil 5.13.c) formundaki kesici takımlardan elde edilmiştir. Şekil 5.13’te verilen grafiklerde

ilerleme arttıkça yüzey pürüzlülüğünün kötüleştiği ve takım uç yarıçapının büyümesiyle (Şekil 13.a, b) yüzey pürüzlülüğünün iyileştiği görülmüştür.



Şekil 5.14. AISI 304 malzeme için MM kesici kenar formundaki farklı takım uç yarıçaplarında ilerlemeye bağlı olarak yüzey pürüzlülüğündeki değişim

AISI 304 malzeme için yüzey pürüzlülüğü açısından en iyi sonuç ($0,634 \mu\text{m}$) 150 m/dk kesme hızı, 0,1 mm/dev ilerleme ve 08 MM (Şekil 5.14.b); en olumsuz sonuç ($3,698 \mu\text{m}$) ise 200 m/dk kesme hızı, 0,3 mm/dev ilerleme ve 08 MM (Şekil 5.14.d) formundaki kesici takımlardan elde edilmiştir. Grafiklerde (Şekil 5.14), ilerlemenin artmasının yüzey pürüzlülüğüne olumsuz etki ettiği gözükmemektedir. Takım uç yarıçapının artması da yüzey pürüzlülüğünde iyileşme sağlamıştır. Şekil 5.14.a ve Şekil 5.14.b’de yüzey pürüzlülüğü açısından kararsız sonuçlar görülmüştür.



Şekil 5.15. AISI 316L malzeme için MM kesici kenar formunda farklı takım uç yarıçaplarında ilerlemeye bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğündeki değişim

AISI 316L malzeme için yüzey pürüzlülüğü açısından en iyi sonuç ($0,605 \mu\text{m}$) 150 m/dk kesme hızı, 0,1 mm/dev ilerleme ve 16 MM (Şekil 5.15.b); en olumsuz sonuç ($5,153 \mu\text{m}$) ise 150 m/dk kesme hızı, 0,3 mm/dev ilerleme ve 08 MM (Şekil 5.15.b) formundaki kesici takımlardan elde edilmiştir. Şekil 5.15'te verilen grafiklerde ilerleme arttıkça yüzey pürüzlülüğünün kötüleştiği ve takım uç yarıçapının 0,8 mm'den 1,2 mm'ye doğru büyümesiyle yüzey pürüzlülüğünde belirgin bir iyileşme olduğu görülmüştür.

Bu üç malzeme için genel olarak bir değerlendirme yapıldığında; deneyler sonucunda uygulanan ilerleme, kesici kenar formlarına göre ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerindeki değişimler Şekil 5.13 - Şekil 5.15'te gösterilmiştir. Grafikler incelendiğinde MM kesici kenar formunda takım uç yarıçapının 0,8 mm'den 1,2 mm'ye doğru arttıkça genel olarak yüzey pürüzlülüğünün azaldığı

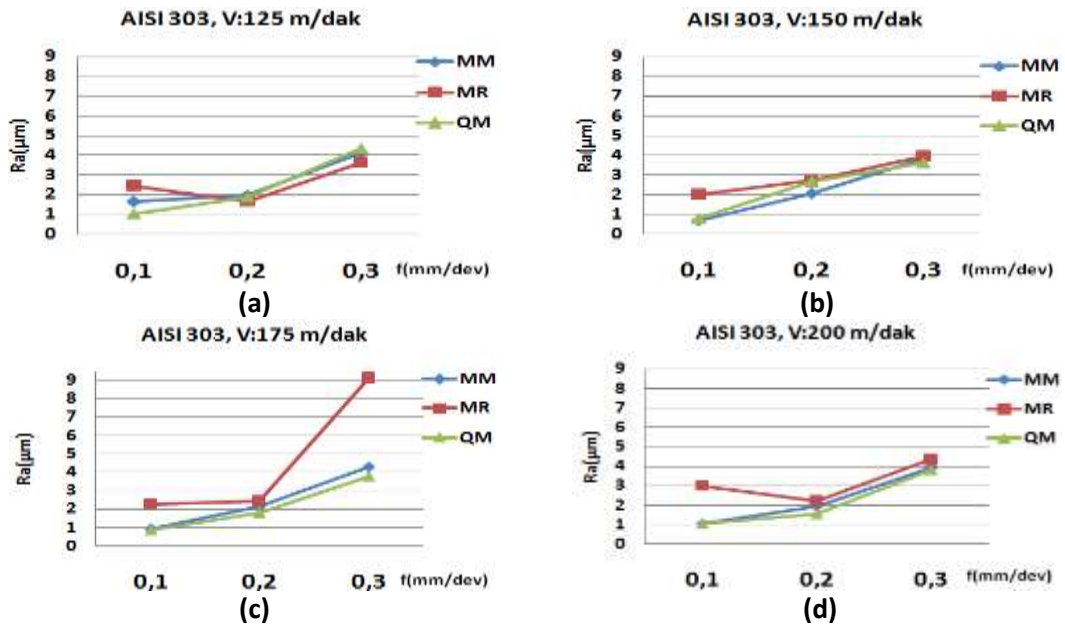
görülmektedir. Takım uç yarıçapının artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün iyileştiği söylenebilir [53, 64]. Yapılan deneylerde bütün malzemeler ve kesici kenar formları açısından bir değerlendirme yapılacak olursa, ilerlemedeki artışa bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünün kötüleştiğini görürüz. Bu durumu, ideal yüzey pürüzlülüğünün tahmininde kullanılan aşağıdaki eşitlikle açıklamak mümkündür [63];

$$R_t \frac{f^2}{8 \times r_e} \times 1000 \quad (5.2)$$

Burada R_t : Teorik maksimum yüzey pürüzlülüğü, f : ilerleme (mm/dev) ve r_e ise takım uç yarıçapı (mm). Eşitlik de ilerleme ve yüzey pürüzlülüğünün birbiriyle doğru orantılı olduğu görülmektedir. İlerleme değerinin değişimi yüzey pürüzlülüğünü doğrudan etkilemektedir. Bundan dolayı ilerleme arttıkça, yüzey pürüzlülüğü değeri artacak dolayısıyla yüzey kalitesi de bozulacaktır.

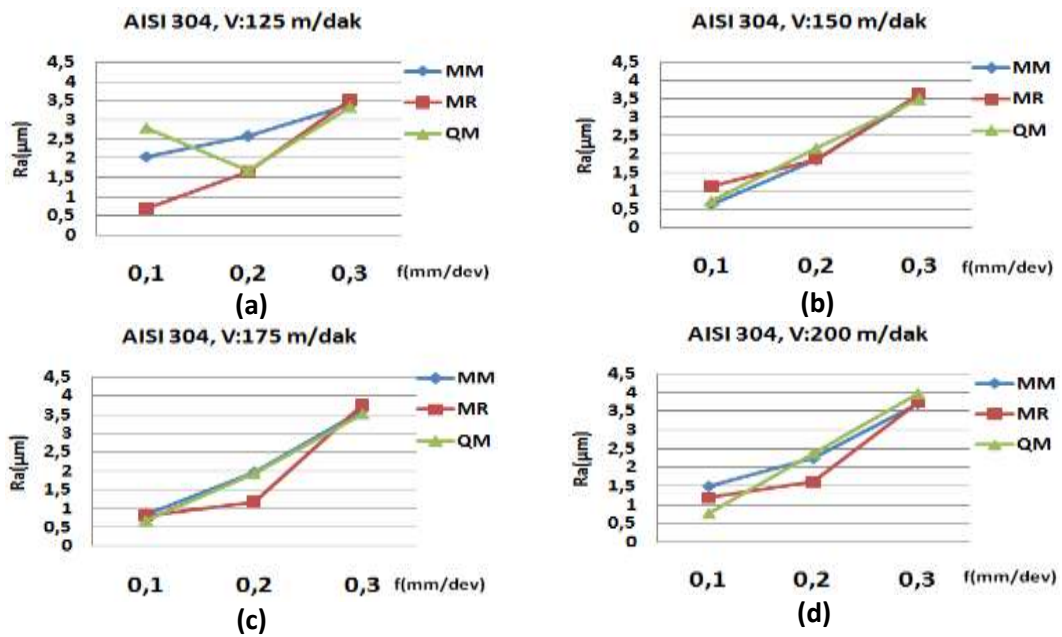
5.2.2. 0,8 mm uç yarıçaplı MM, MR ve QM kesici kenar formlarında yüzey pürüzlülüğü

08 MM, 08 MR ve 08 QM kesici kenar formu kullanılarak gerçekleştirilen deneyler neticesinde ölçülen yüzey pürüzlülüğü değerleri Şekil 5.16 - 5.18'de verilmiştir.



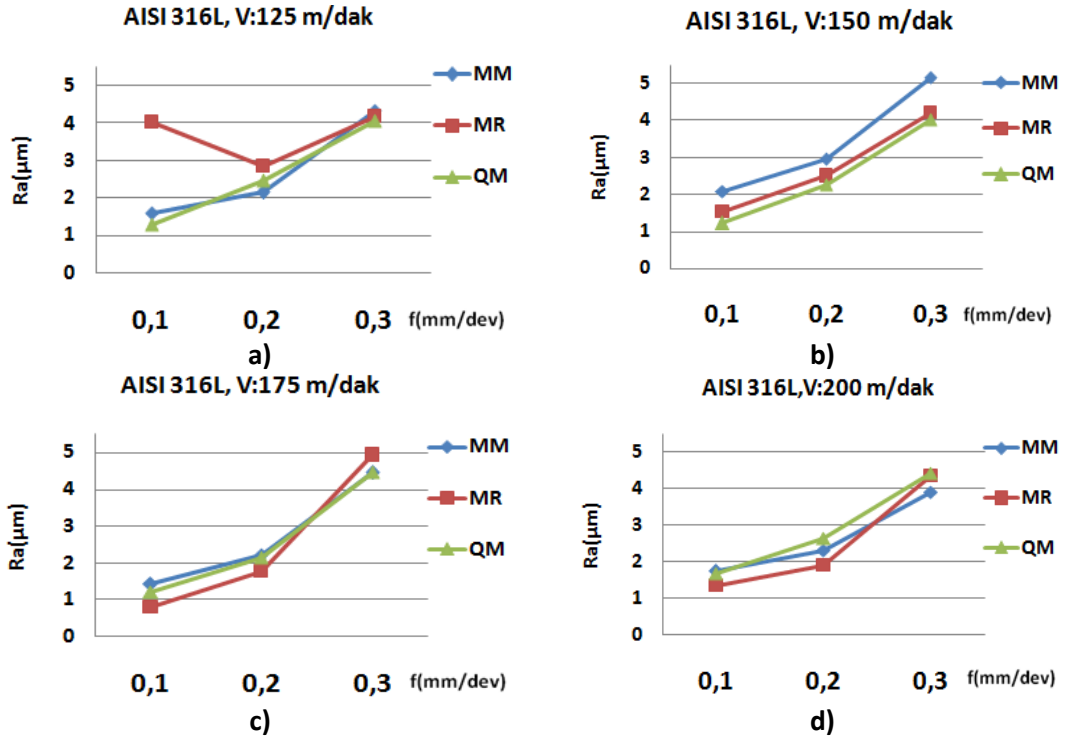
Şekil 5.16. AISI 303 malzeme için MM, MR ve QM kesici kenar formunda ilerlemeye bağlı olarak yüzey pürüzlülüğündeki değişim

AISI 303 malzeme için yüzey pürüzlülüğü açısından en iyi sonuç ($0,664 \mu\text{m}$) 150 m/dk kesme hızı, 0,1 mm/dev ilerleme ve MM (Şekil 5.16.b), en olumsuz sonuç ($9,116 \mu\text{m}$) ise 175 m/dk kesme hızı, 0,3 mm/dev ilerleme ve MR (Şekil 5.16.c) formundaki kesici takımlardan elde edilmiştir. Şekil 5.16'da verilen grafiklerde ilerleme arttıkça yüzey pürüzlülüğünün kötüleştiği görülmüştür. Yüzey pürüzlülüğünün genel olarak MR kesici kenar formunda daha yüksek, QM kesici kenar formunda daha düşük olduğu görülmüştür.



Şekil 5.17. AISI 304 malzeme için MM, MR ve QM kesici kenar formunda ilerlemeye bağlı olarak yüzey pürüzlülüğündeki değişim

AISI 304 malzeme için yüzey pürüzlülüğü açısından en iyi sonuç ($0,634 \mu\text{m}$) 150 m/dk kesme hızı, 0,1 mm/dev ilerleme ve MM (Şekil 5.17.b), en olumsuz sonuç ($3,970 \mu\text{m}$) ise 200 m/dk kesme hızı, 0,3 mm/dev ilerleme ve QM (Şekil 5.17.d) formundaki kesici takımlardan elde edilmiştir. Şekil 5.17'de verilen grafiklerde ilerleme arttıkça yüzey pürüzlülüğünün kötüleştiği görülmüştür.



Şekil 5.18. AISI 316L malzeme için MM, MR, QM kesici kenar formunun ilerlemeye bağlı olarak kesme kuvvetlerindeki değişim

AISI 316L malzeme için yüzey pürüzlülüğü açısından en ideal değer ($0,815 \mu\text{m}$) 175 m/dk kesme hızı, 0,1 mm/dev ilerleme ve MR (Şekil 5.18.c); en olumsuz değer ($5,153 \mu\text{m}$) ise 150 m/dk kesme hızı, 0,3 mm/dev ilerleme ve MM (Şekil 5.18.b) formundaki kesici takımlardan elde edilmiştir. Şekil 5.18'de verilen grafiklerde ilerleme arttıkça yüzey pürüzlülüğünün kötüleştiği görülmüştür. Şekil 5.18.a'da yüzey pürüzlülüğü değerinin MR kesici takım formunda yüksek çıktığı görülmüştür.

Deneyler sonucunda uygulanan kesici kenar formlarına göre ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerindeki (Ra) değişimler Şekil 5.16 - Şekil 5.18'de gösterilmiştir. Yapılan deneylerde bütün malzemeler ve kesici kenar formları açısından değerlendirecek olursak, ilerlemedeki artışa bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünün kötüleştiğini görürüz. Bu durum; daha öncede ifade edilen ilerlemenin değişimiyle, yüzey pürüzlülüğünün de aynı paralelde değişmesi şeklinde ifade edilen ideal yüzey pürüzlülüğü eşitliğiyle açıklanabilir. Bu sebeple ilerlemenin artması, yüzey pürüzlülüğünün artması anlamına gelecektir.

Bazı kesme hızlarında (Şekil 5.16.c ve Şekil 5.18.b) yüzey pürüzlülüğü değerlerinde ani artışlar görülmektedir. Bunun nedeni işleme esnasında çıkan talaşların sürekli talaş olması ve kırılmamasından dolayı kaynaklandığı düşünülmektedir. İş parçasına talaşlar sarma yaparak veya kopmayan talaşın iş parçası ile kesici takım arasında sıkışması ile iş parçası yüzeyinde bozulmalara neden olmuştur. Ancak bazı deneylerde (Şekil 5.17.a ve Şekil 5.18.a) ilerlemenin düşük (0.1mm/dev) olması yüzey pürüzlülüğünde kararsız sonuçlar elde edilmesine yol açmıştır.

Farklı talaş kırıcı kesici kenar formlarının (MR, MM ve QM) değişimine bağlı olarak elde edilen yüzey pürüzlülük grafikleri (Şekil 5.16 – Şekil 5.18) incelendiğinde; en yüksek pürüzlülük değerleri sırasıyla MR (6^0) - MM (9^0) - QM (13^0) talaş kırıcı formuna sahip kesici takımlarla elde edilmiştir. Deneylerdeki bütün kesme şartlarında- en iyi yüzey kalitesinin QM talaş kırıcı formunda, en kötü yüzey kalitesinin ise MR talaş kırıcı formunda görülmesi; QM talaş kırıcı formunun (13^0) talaş açısına ve MR talaş kırıcı formunun da (6^0) talaş açısına sahip olmasına atfedilmiştir. Talaş açısı arttıkça yüzey pürüzlülük değerlerinin arttığı bilinmektedir. Talaş açısının artması ile yığıntı talaş (BUE) oluşum eğilimi azalacağından ve kesici takım talaş yüzeyi üzerinde talaşın takımla sürtünme alanı küçüleceğinden yüzey pürüzlülük değerleri azalır [63]. Talaş açısının küçülmesiyle artan temas alanı yüzey pürüzlülük değerlerinin artmasına sebep olur [63]. Aynı zamanda üretici firma tarafından MR talaş kırıcı formunun kaba işlemler için uygun görüldüğünden böyle bir talaş kırıcı formundan iyi yüzey kalitesi beklenemez [61].

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan çalışma sonucunda elde edilen veriler genel olarak aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Bütün deneylerde AISI 316L malzemesinde oluşan esas kesme kuvveti, AISI 303 ve AISI 304 malzemelerde oluşan esas kesme kuvvetine nazaran daha fazla olmuştur.
- Bütün kesme şartlarında ilerleme arttıkça esas kesme kuvvetinin artması literatüre uygun bir gelişme olarak yorumlanmıştır.
- Esas kesme kuvvetinde en düşük değer (450.94 N); AISI 303 malzeme, 200 m/dk kesme hızı, 0,1 mm/dev ilerleme ve SNMG 12 04 16 MM kesici kenar formunda deneyden elde edilmiştir. Aynı şekilde en yüksek değer ise (1460.7 N) ; AISI 316L malzeme, 175 m/dk kesme hızı, 0,3 mm/dev ilerleme ve SNMG 12 04 08 QM kesici kenar formunda ki kesici ile yapılan deney sonucunda oluşmuştur.
- Takım uç yarıçapının artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün iyileştiği söylenebilir.
- Deneylerdeki bütün kesme şartlarında, en iyi yüzey kalitesi QM talaş kırıcı formunda, en kötü yüzey kalitesi ise MR talaş kırıcı formunda elde edilmiştir.
- Yüzey pürüzlülüğüne ilerlemenin etkisinin, kesme hızının etkisinden daha fazla olduğu tespit edilmiştir.
- Kesici kenar formları (MR, MM ve QM) için kesme hızındaki artışa bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünün azalma eğiliminde olduğu görülmüştür.
- En iyi yüzey pürüzlülüğü AISI 303 östenitik paslanmaz çelik malzemede gözlenmiştir.

- Yüzey pürüzlülüğünde en olumlu değer (0,605 μm); AISI 316L malzeme, 150 m/dk kesme hızı, 0,1 mm/dev ilerleme ve SNMG 12 04 16 MM kesici kenar formunda deneyden elde edilmiştir. Aynı şekilde en kötü değer ise (9,116 μm) ; AISI 303 malzeme, 175 m/dk kesme hızı, 0,3 mm/dev ilerleme ve SNMG 12 04 08 MR kesici kenar formunda ki deney sonucunda oluşmuştur.
- İlerleme miktarının esas kesme kuvvetinde olduğu gibi, yüzey pürüzlülüğü üzerinde de en önemli parametre olduğu görülmüştür. Tüm deneylerde; en düşük yüzey pürüzlülük değerleri 0,1 mm/dev miktarında elde edilirken, en büyük pürüzlülük değerleri ise 0,3 mm/dev miktarında elde edilmiştir.

Bu sonuçlar ışığında bundan sonraki çalışmalara ışık tutması açısından aşağıdaki öneriler yapılabilir;

- Bu çalışmada kullanılan kesici takımların dışında farklı geometri tiplerine sahip kesici takımlar ile çeşitli malzemelerin işlenebilirliği araştırılabilir.
- Kesme kuvvetleri, ortalama yüzey pürüzlülüğü ve takım ömrü için matematiksel model oluşturulup, minimum üretim zamanını veren kesme hızı ve ilerleme değerleri hesaplanabilir.
- Talaş kaldırma esnasında meydana gelen titreşimler, kesme kuvvetleri ile beraber ölçülebilir ve titreşimlerin etkisi araştırılabilir.
- Mikroyapı karakterizasyonu açısından bir çalışma yapılabilir

KAYNAKLAR

1. Duran, A., Acır, A., “HSS Torna Kalemindeki Talaş Açısının Kesme Kuvvetlerine Etkisi Talaş”, *G.Ü Politeknik Dergisi*, 7 (3): 211-215, Ankara (2004).
2. Yazman, Ş., “Östemperlenmiş Ferritik Küresel Grafitli Dökme Demirlerde Kesme Parametrelerinin İşlemeye Etkisinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya (2006).
3. Şeker, U., “Talaşlı İmalatta Takım Tasarımı”, Yüksek Lisans Ders Notları, *Gazi Üniversitesi*, Ankara (1997).
4. Mills, B., Redford, A.H., “Machinability of Engineering Materials”, *Applied Science Publishers*, London and New York (1983).
5. Mendi, F., “Takım Tezgahları Teori ve Hesapları”, *Gazi Üniversitesi*, Ankara (1996).
6. Asil Çelik, “İşlenebilirlik ve Kalsiyum Uygulaması”, *Teknik Yayınlar 12*, Bursa (1994).
7. Sandvik Coromant, “Modern Metal Cutting”, *A Practical Handbook*, Sweden (1997).
8. Altıntaş, Y., “Manufacturing Automation”, *Cambridge University Press* (2000).
9. Özçatalbaş, Y., “Kesici Takım Aşınması ve İş Malzemesi Mekanik Özelliklerinin Yüzey Pürüzlülüğü ve Kesme Kuvvetlerine Etkisi”, *G.Ü Politeknik Dergisi*, Özel Sayı, (4):47-52, Ankara (2002).
10. Kwon, Y., “Robust Control of Surface Roughness in a Turning Operation”, *The University of Iowa*, Bell and Howell Information and Learning Company (2000).
11. Cheung, C.F., Lee, W.B., “A Theoretical and Experimental Investigation of Surface Roughness Formation in Ultra-Precision Diamond Turning”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 40, 979-1002 (2000).
12. Çakır, M.C., “Modern Talaşlı İmalatın Esasları”, *Vipaş A.Ş.*, Bursa (1999).
13. Acır, A., “Talaş Kaldırma İşleminde Yüzey Pürüzlülüğüne Etki Eden Faktörlerin İncelenmesi”, *II. Makina Tasarım ve İmalat Kongresi*, Konya (2003).

14. Şahin, Y., “Talaş Kaldırma Prensipleri 2”, *Nobel Yayın Dağıtım*, Ankara (2001).
15. Özçatalbaş, Y., “Mühendislik Malzemelerinin İşlenebilirliği”, Yüksek Lisans Ders Notları, *Gazi Üniversitesi*, Ankara (2002).
16. Anık, S., “İmal usulleri” *Birsan Yayınevi*, İstanbul (1994).
17. Güllü, A., Özdemir, A., “Metal Meslek Bilgisi”, *Ajans-Türk Matbaacılık Sanayi A.Ş.*, Ankara (1995).
18. Ünüvar, A., “Talaş Kaldırma Mekaniği Ders Notları”, *Selçuk Üniversitesi*, Konya (2004).
19. Apakhan, M., “Seramik Takımlarla Talaş Kaldırmada Talaş Açısının İşlenebilirliğe Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (2006).
20. Mesquita, R.M.D., Barata Marques, M.J.M., “Effect of chip-breaker geometries on cutting forces”, *Journal Of Materials Processing Technology*, 31(1-2): 317-325 (1992).
21. Kaldor, S., Ber, A. and Lenz, E., “On the mechanism of chip breaking”, Trans.ASME, *J. Eng. Ind.*, 101: 241 (1979)
22. Broothroyd, G., “Fundamentals of Metal Machining and Machine tools”, *McGraw-hill*, New York (1975)
23. Shaw, M. C., “Metal Cutting Principles”, *Oxford Science Publications* (1984)
24. Redford, A.H., “The Effect on Cutting tool wear of varios types of chip control device”, *Ann. CIRP*, 29 (1) (1980)
25. Kurt, U., “Paslanmaz Çelik Kaynak Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 2-33 (1988).
26. Güventürk, F., “Çelik El Kitabı” , *Güven Çelik San. ve Tic. Ltd. Şti.Yayınları*, İzmir, 35-41 (1990).
27. Kaluç, E., Tülbentçi, K., “Paslanmaz Çelikler ve Kaynaklanabilirliği”, *Kocaeli Üniversitesi Kaynak Teknolojisi Araştırma, Eğitim ve Uygulama Merkezi*, Kocaeli, 7-178 (1995).
28. Askeland, D. R. “The Science and Engineering of Materials”, Erdoğan, M, *Nobel Yayın Dağıtım*, Ankara, 193-203 (2000).

29. Erdoğan M., “Mühendislik Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri 1”, *Nobel Yayın Dağıtım*, Ankara, 1:235-237 (1998).
30. Asm “Metals Reference Book”, *Asm Publisher*, 41-42 (1984).
31. Develi, K., “Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Mig Kaynağında Argon-Hidrojen Karışımının Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 25-26 (2003).
32. Stenbacka, N., “Shielding Gas Technology When Welding Ordinary and High Alloyed Stainless Steels”, *Aga Gas AB*, 83-90 (1995).
33. Smith, F., Smith, W., “Structure and Properties of Engineering Alloys”, Erdoğan, M., *Nobel Yayın Dağıtım*, Ankara, 193-203 (2000).
34. Odabaş, C., “Paslanmaz Çelikler”, *Kaynak Tekniği Sanayi ve Ticaret A.Ş.*, İstanbul (2004).
35. Töre C., “Mekanik Tasarımda Çelik ve Özellikleri”, *Makina Mühendisleri Odası*, Ankara (2007).
36. Belejchak, P., “Machining Stainless Steel”, *Advanced Materials & Processes*, 23-25 (1997).
37. Yeyen, H.E., “AISI 303 Östenitik Paslanmaz Çeliklerin İşlenebilirliğinin Deneysel Olarak Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2003).
38. Kasap M., “AISI 304 Östenitik Paslanmaz Çeliklerin İşlenebilirliğinde En Uygun Kesme Parametrelerinin Belirlenmesi ve İşleme Şartlarının Deneysel Olarak Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 34-35 (2001).
39. Paro, J., Hanninen, H. And Veijo., “Tool wear and Machinability of X5 CrMnN 18 18 Stainless Steels”, *Kauppinen Journal of Materials Processing Technology*, 14-20 (2001).
40. Tekiner, Z., Yeşilyurt, S., “Investigation of Cutting Parameters Depending on Process Sound during Turning of AISI 304 Austenitic Stainless Steel”, *Materials and Design* (25): 507-513 (2004).
41. Korkut, İ., Kasap, M., Çiftçi, İ., Şeker, U., “Determination of Optimum Cutting Parameters during Machining of AISI 304 Austenitic Stainless Steel”, *Materials and Design*, (25):303-305 (2004).

42. Çiftçi, İ., “Östenitik Paslanmaz Çeliklerin İşlenmesinde Kesici Takım Kaplamasının ve Kesme Hızının Kesme Kuvvetleri ve Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi”, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 20(2): 205-209 (2005).
43. Akasawa T., Sakurai, H., Nakamura M., Tanaka, T. And Takano, “Effects of free- cutting additives on the machinability of austenitic stainless steels”, *Journal of Materials Processing Technology*, 143-144, 66-71 (2003).
44. Hagiwara, M., Chen , S., Jawahir, I.S., “Contour finish turning operations with coated grooved tools: Optimization of machining performance”, *J Mat Processing Technol* , in pres (2008).
45. Kim, J.D., Kweun, O.B., “A chip-breaking system for mild steel in turning”, *Int. J. Mach. Tools Manufacturing*, (37):607-617 (1997).
46. Lee, Y. M., Yang, S., Chang, S., “Assessment of chip-breaking characteristics using new chip-breaking index” *Journal of Materials Processing Technology*, (173)166–171 (2006).
47. Ebrahimi, A., Moshksar, M.M., “Evaluation of machinability in turning of microalloyed and quenched-tempered steels: Tool wear, statistical analysis, chip morphology”, *Journal of Materials Processing Technology*, in press (2008).
48. Özçatalbaş, Y., Ercan, F., “İki bileşenli gerinim ölçerli torna dinamometresi tasarımı, imalatı ve bilgisayara entegrasyonu”, *Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi*, 12 (1): 1-12 (1997).
49. Strafford, K. N., Audy, J., “Indirect monitoring of machinability in carbon steels by measurement of cutting forces”, *Journal of Material Processing Technology*, 67 (1-3): 150-156 (1997).
50. Duran, A., “Tornalamada kesici kenar ayar açısının kesmeye etkisinin sonlu elemanlarla analizi”. Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (1998).
51. Lee, B.Y. and Tarng, Y.S., 2000, “Cutting parameter selection for maximizing production rate or minimizing production cost in multistage turning operations”, *Materials Processing Technology*, 105(1-7):61-66 (2000).
52. Sağlam, H., “Frezelemede kesme parametreleri ile kesme kuvvetlerinin değişimi ve bunların takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerinin deneysel incelenmesi”, *Selçuk Teknik Online Dergisi* ISSN 1302-6178, 1(3): 42-44 (2001).

53. Çoğun, C. ve Özses, B., “Bilgisayar sayısal denetimli takım tezgahlarında değişik işleme koşullarının yüzey pürüzlülüğüne etkisi”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Ankara (2002).
54. Güllü, A. ve Özdemir, A., “Prizmatik parçaların frezelenmesinde kesme parametreleri ile yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişkilerin deneysel olarak bulunması”, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 16(1):127-134, Ankara (2003).
55. Korkut, I. Dönertaş, M.A., “The influence of feed rate and cutting speed on the cutting forces, surface roughness and tool chip contact length during face milling”, *Materials ve Design*, 308-312 (2007).
56. Taktak, Ş., “Some mechanical properties of borided AISI H13 and 304 steels”, *Materials and Design*, 28, 1836–1843 (2007).
57. Choudhury, S.K. Bajpai, J.B. “Investigation in orthogonal turnmilling towards beter surface finish” , *Journal of Materials Processing Technology* 170, 487-493 (2005).
58. Özay, Ç., Ballıkaya, H., Savaş, V., “304 Östenitik Paslanmaz Çeliğinin Teğetsel Tornalama-Frezeleme Yöntemi İle İşlenmesinde Yüzey Pürüzlülüğünün Araştırılması”, *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, Elazığ (2011).
59. Puertas, I., Luis Perez, C.J., “Surface rougness prediction by factorial design of experiments in turning processes”, *Journal of Materials Processing Technology* 143-144, 390-396 (2003).
60. Trent, E.M., “Metal Cutting”, *Tanner Ltd.*, London (1984).
61. Sandvik Coromant, Teknik Kılavuz, C_2900:8 AB **Sandvik Coromant**, İsveç (2010).
62. Kistler, Type 9257B Three Component Dynamometer, **Operating Instructions** (1997)
63. Gürbüz, H., Kafkas, F., Şeker, U., “AISI 316 L Çeliğinin İşlenmesinde Kesici Takım Kesici Kenar Formu Ve Talaş Kırıcı Formlarının Kesme Kuvvetleri Ve Yüzey Pürüzlülüğü Üzerine Etkisi”, *Batman Üniv. Yaşam Bil. Der.*, Cilt1, Sayı 2, 173-184 (2012).
64. Kayır, Y., Aytürk, A., “AISI 316 Ti Paslanmaz Çeliğin İşlenebilirlik Karakresistiklerinin İncelenmesi”, *Pamukkale Üniv. Müh. Bil. Der.*, 18, 1, 61-71 (2012).

EKLER

EK-1

Çizelge 5.1. AISI 303 malzemeyle elde edilen deney sonuçları

	KESİCİ TAKIM GEOMETRİSİ	NUMUNE MALZEMESİ	KESME HIZI(m/dk)	İLERLEME (mm/dev)	KESME KUVVETLERİ(N)			YÜZEY PÜRÜZ.
					Fa	Fp	Fc	
1	SNMG 12 04 08-MM	AISI 303	125	0.1	390.07	219.15	579.51	1.620
2				0.2	402.92	257.19	916.76	1.980
3				0.3	464.41	316.55	1238.31	4.114
4	SNMG 12 04 08-MM	AISI 303	150	0.1	333.11	188.62	544.72	0.664
5				0.2	378.33	260.09	914.69	2.020
6				0.3	433.46	317.15	1203.19	3.832
7	SNMG 12 04 08-MM	AISI 303	175	0.1	327.02	198.28	543.93	0.919
8				0.2	375	248.96	858.16	2.158
9				0.3	395.85	297.96	1218.1	4.301
10	SNMG 12 04 08-MM	AISI 303	200	0.1	304.23	182.34	533.38	1.072
11				0.2	358.82	235.61	898.65	1.926
12				0.3	432.65	316.69	1180.69	3.936

	KESİCİ TAKIM GEOMETRİSİ	NUMUNE MALZEMESİ	KESME HIZI(m/dk)	İLERLEME (mm/dev)	KESME KUVVETLERİ(N)			YÜZEY PÜRÜZ.
					Fa	Fp	Fc	
13	SNMG 12 04 08-MR	AISI 303	125	0.1	349.89	212.17	533.92	2.419
14				0.2	481.78	323.22	885.54	1.635
15				0.3	631.94	446.84	1298.7	3.641
16	SNMG 12 04 08-MR	AISI 303	150	0.1	411.68	185.33	532.89	1.990
17				0.2	563.04	352.1	972.95	2.725
18				0.3	567.65	405.38	1256.56	3.921
19	SNMG 12 04 08-MR	AISI 303	175	0.1	361.6	222.04	510.12	2.280
20				0.2	637	406.93	922.86	2.451
21				0.3	488.51	472.94	1108.33	9.116
22	SNMG 12 04 08-MR	AISI 303	200	0.1	378.76	241.01	499.78	2.999
23				0.2	438.94	294.54	786.94	2.201
24				0.3	454.54	353.8	1032.41	4.338

	KESİCİ TAKIM GEOMETRİSİ	NUMUNE MALZEMESİ	KESME HIZI(m/dk)	İLERLEME (mm/dev)	KESME KUVVETLERİ(N)			YÜZEY PÜRÜZ.
					Fa	Fp	Fc	
25	SNMG 12 04 08-QM	AISI 303	125	0.1	307.73	179.1	496.66	1.033
26				0.2	381.3	263.95	804.05	1.862
27				0.3	449.35	321.32	1092.4	4.361
28	SNMG 12 04 08-QM	AISI 303	150	0.1	296.18	173.34	477.07	0.782
29				0.2	383.71	264.2	808.54	2.631
30				0.3	428.46	325.16	1065.51	3.601
31	SNMG 12 04 08-QM	AISI 303	175	0.1	302.74	178.59	487.54	0.881
32				0.2	352.03	242.99	762.51	1.777
33				0.3	404.57	308.65	1075.68	3.771
34	SNMG 12 04 08-QM	AISI 303	200	0.1	304.97	185.96	479.18	1.051
35				0.2	353.09	259.4	778.42	1.560
36				0.3	442.84	329.81	1022.75	3.819

EK-1 (Devam)

Çizelge 5.1.(Devam) AISI 303 malzemeyle elde edilen deney sonuçları

	KESİCİ TAKIM GEOMETRİSİ	NUMUNE MALZEMESİ	KESME HIZI(m/dk)	İLERLEME (mm/dev)	KESME KUVVETLERİ(N)			YÜZEY PÜRÜZ.
					Fa	Fp	Fc	
37	SNMG 12 04 12- MM	AISI 303	125	0.1	277.13	193.39	471.3	0.815
38				0.2	322.97	243.65	746.78	1.259
39				0.3	389.72	324.63	1051.8	2.550
40	SNMG 12 04 12- MM	AISI 303	150	0.1	289.65	184.17	457.81	1.198
41				0.2	315.7	254.11	741.49	1.221
42				0.3	345.27	309.91	990.28	3.321
43	SNMG 12 04 12- MM	AISI 303	175	0.1	270.03	193.33	460.76	0.703
44				0.2	303.48	243.96	713.53	1.683
45				0.3	356.76	304.66	995.5	2.259
46	SNMG 12 04 12- MM	AISI 303	200	0.1	247.77	141.92	456.94	1.680
47				0.2	326.45	249.46	733.82	1.400
48				0.3	343.59	247.36	957.53	2.448

	KESİCİ TAKIM GEOMETRİSİ	NUMUNE MALZEMESİ	KESME HIZI(m/dk)	İLERLEME (mm/dev)	KESME KUVVETLERİ(N)			YÜZEY PÜRÜZ.
					Fa	Fp	Fc	
49	SNMG 12 04 16- MM	AISI 303	125	0.1	266.57	210.68	465.33	0.982
50				0.2	291.49	256.54	727.22	1.054
51				0.3	351.17	334.17	1021.38	1.960
52	SNMG 12 04 16- MM	AISI 303	150	0.1	245.53	160.63	471.12	1.936
53				0.2	329.12	281.66	753.17	1.033
54				0.3	321.43	327.86	989.04	2.238
55	SNMG 12 04 16- MM	AISI 303	175	0.1	261.09	217.58	466.77	2.152
56				0.2	298.27	219.67	755.48	1.828
57				0.3	349.75	346.73	997.9	2.182
58	SNMG 12 04 16- MM	AISI 303	200	0.1	240.04	191.32	450.94	0.958
59				0.2	269.45	267.78	693.42	1.006
60				0.3	319.6	265.19	915.45	2.603

EK-2

Çizelge 5.2. AISI 304 malzemeyle elde edilen deney sonuçları

	KESİCİ TAKIM GEOMETRİSİ	NUMUNE MALZEMESİ	KESME HIZI(m/dk)	İLERLEME (mm/dev)	KESME KUVVETLERİ(N)			YÜZEY PÜRÜZ.
					Fa	Fp	Fc	
1	SNMG 12 04 08-MM	AISI 304	125	0.1	361.53	219.82	509.11	2.058
2				0.2	458.67	223.61	850.25	2.574
3				0.3	461.67	357.35	1131.76	3.401
4	SNMG 12 04 08-MM	AISI 304	150	0.1	301.67	181.26	480.76	0.634
5				0.2	395.08	248.88	830.07	1.841
6				0.3	466.35	277.14	1125.85	3.570
7	SNMG 12 04 08-MM	AISI 304	175	0.1	311.18	183.98	495.97	0.831
8				0.2	400.57	202.87	836.4	1.953
9				0.3	459.87	329.71	1089.83	3.616
10	SNMG 12 04 08-MM	AISI 304	200	0.1	323.54	140.98	492.27	1.501
11				0.2	398.01	264.42	806.65	2.241
12				0.3	409.77	247.66	1064.14	3.698

	KESİCİ TAKIM GEOMETRİSİ	NUMUNE MALZEMESİ	KESME HIZI(m/dk)	İLERLEME (mm/dev)	KESME KUVVETLERİ(N)			YÜZEY PÜRÜZ.
					Fa	Fp	Fc	
13	SNMG 12 04 08-MR	AISI 304	125	0.1	419.47	242.16	526.02	0.677
14				0.2	508.22	338.64	842.95	1.645
15				0.3	577.75	402.15	1163.95	3.509
16	SNMG 12 04 08-MR	AISI 304	150	0.1	396.74	178.35	524.99	1.115
17				0.2	503.27	319.49	842.71	1.856
18				0.3	520.34	329.61	1120.62	3.640
19	SNMG 12 04 08-MR	AISI 304	175	0.1	403.4	240.52	525.64	0.803
20				0.2	513.32	269.87	865.09	1.164
21				0.3	539.36	393.93	1105.64	3.760
22	SNMG 12 04 08-MR	AISI 304	200	0.1	367.9	162.75	504.17	1.206
23				0.2	396.99	280.85	789.57	1.616
24				0.3	404.91	278.05	1052.2	3.735

	KESİCİ TAKIM GEOMETRİSİ	NUMUNE MALZEMESİ	KESME HIZI(m/dk)	İLERLEME (mm/dev)	KESME KUVVETLERİ(N)			YÜZEY PÜRÜZ.
					Fa	Fp	Fc	
25	SNMG 12 04 08-QM	AISI 304	125	0.1	321.52	208.24	475.81	2.804
26				0.2	423.73	216.84	797.42	1.688
27				0.3	470.44	348.63	1075.9	3.348
28	SNMG 12 04 08-QM	AISI 304	150	0.1	326.11	134.24	490.51	0.726
29				0.2	447.98	306.06	773.26	2.165
30				0.3	508.67	290.65	1057.4	3.501
31	SNMG 12 04 08-QM	AISI 304	175	0.1	316.61	189.05	466.15	0.697
32				0.2	375.02	198.56	767.4	1.939
33				0.3	452.87	337.06	1039.1	3.541
34	SNMG 12 04 08-QM	AISI 304	200	0.1	336.23	151.52	473.7	0.773
35				0.2	420.02	297.35	816.03	2.383
36				0.3	473.65	366.79	1121.1	3.970

EK-2 (Devam)

Çizelge 5.2. (Devam) AISI 304 malzemeyle elde edilen deney sonuçları

	KESİCİ TAKIM GEOMETRİSİ	NUMUNE MALZEMESİ	KESME HIZI(m/dk)	İLERLEME (mm/dev)	KESME KUVVETLERİ(N)			YÜZEY PÜRÜZ.
					Fa	Fp	Fc	
37	SNMG 12 04 12-MM	AISI 304	125	0.1	330.41	227.24	497.73	1.514
38				0.2	397.43	231.01	829.37	1.653
39				0.3	433.09	361.17	1122.8	3.059
40	SNMG 12 04 12-MM	AISI 304	150	0.1	320.54	169.29	509.2	1.970
41				0.2	369.66	290.26	789.22	1.343
42				0.3	423.1	296.32	1067.3	2.571
43	SNMG 12 04 12-MM	AISI 304	175	0.1	335.01	228.43	505.64	1.049
44				0.2	400.34	228.14	811.05	1.486
45				0.3	459.77	370.07	1087.8	2.805
46	SNMG 12 04 12-MM	AISI 304	200	0.1	322.57	219.33	475.43	0.906
47				0.2	430.55	262.65	834.69	1.398
48				0.3	525.87	327.92	1072.4	2.469

	KESİCİ TAKIM GEOMETRİSİ	NUMUNE MALZEMESİ	KESME HIZI(m/dk)	İLERLEME (mm/dev)	KESME KUVVETLERİ(N)			YÜZEY PÜRÜZ.
					Fa	Fp	Fc	
49	SNMG 12 04 16-MM	AISI 304	125	0.1	312.12	188.58	514.39	2.566
50				0.2	400.42	338.69	802.33	0.983
51				0.3	443.99	417.18	1113.1	2.138
52	SNMG 12 04 16-MM	AISI 304	150	0.1	295.66	183.99	503.39	1.068
53				0.2	375.16	337.39	704.25	1.639
54				0.3	417.11	385.5	1048.8	2.427
55	SNMG 12 04 16-MM	AISI 304	175	0.1	273.47	224.89	496.33	0.834
56				0.2	323.09	240.81	811.48	1.150
57				0.3	418.11	390.38	1072.61	2.164
58	SNMG 12 04 16-MM	AISI 304	200	0.1	286.91	249.62	473.74	1.664
59				0.2	351.95	314.88	786.54	1.457
60				0.3	383.28	361.61	1022	2.064

EK-3

Çizelge 5.3. AISI 316L malzemeyle elde edilen deney sonuçları

	KESİCİ TAKIM GEOMETRİSİ	NUMUNE MALZEMESİ	KESME HIZI(m/dk)	İLERLEME (mm/dev)	KESME KUVVETLERİ(N)			YÜZEY PÜRÜZ.
					Fa	Fp	Fc	
1	SNMG 12 04 08-MM	AISI 316L	125	0.1	382.72	208.58	636.9	1.584
2				447.81	280.14	994.39	2.149	
3				519.27	351.57	1359.3	4.343	
4	SNMG 12 04 08-MM	AISI 316L	150	0.1	425.67	252.36	645.53	2.091
5				463.73	281.3	1065.8	2.963	
6				530.17	363.59	1422.2	5.153	
7	SNMG 12 04 08-MM	AISI 316L	175	0.1	391.04	215.02	637.24	1.427
8				449.5	286.37	1036.9	2.223	
9				504.54	343.19	1390.3	4.454	
10	SNMG 12 04 08-MM	AISI 316L	200	0.1	353.92	206.51	601.44	1.735
11				451.56	298.81	1015.1	2.303	
12				504.75	340.6	1377.5	3.906	

	KESİCİ TAKIM GEOMETRİSİ	NUMUNE MALZEMESİ	KESME HIZI(m/dk)	İLERLEME (mm/dev)	KESME KUVVETLERİ(N)			YÜZEY PÜRÜZ.
					Fa	Fp	Fc	
13	SNMG 12 04 08-MR	AISI 316L	125	0.1	615.95	422.66	618.9	4.040
14				564.73	359.89	1055.9	2.850	
15				643.72	435.3	1438.5	4.177	
16	SNMG 12 04 08-MR	AISI 316L	150	0.1	457	271.13	662.32	1.540
17				598.19	387.01	1081.7	2.506	
18				644.06	440.88	1422.1	4.198	
19	SNMG 12 04 08-MR	AISI 316L	175	0.1	457.69	262.66	622.62	0.815
20				567.76	362.92	1054.3	1.788	
21				624.08	431.93	1441.5	4.935	
22	SNMG 12 04 08-MR	AISI 316L	200	0.1	444.12	263.37	634.41	1.354
23				535.87	348.7	1037.4	1.890	
24				642.43	437.06	1434.9	4.338	

	KESİCİ TAKIM GEOMETRİSİ	NUMUNE MALZEMESİ	KESME HIZI(m/dk)	İLERLEME (mm/dev)	KESME KUVVETLERİ(N)			YÜZEY PÜRÜZ.
					Fa	Fp	Fc	
25	SNMG 12 04 08-QM	AISI 316L	125	0.1	436.62	244.33	655.87	1.283
26				519.61	308.01	1028.1	2.459	
27				614.14	405.89	1453.2	4.079	
28	SNMG 12 04 08-QM	AISI 316L	150	0.1	402.42	243.91	642.01	1.220
29				466.83	298.07	1025.8	2.255	
30				535.98	377.7	1400.3	4.032	
31	SNMG 12 04 08-QM	AISI 316L	175	0.1	407.27	225.16	625.71	1.208
32				504.64	325.81	1057.1	2.157	
33				594.1	390.14	1460.7	4.456	
34	SNMG 12 04 08-QM	AISI 316L	200	0.1	398.7	231.12	636.71	1.690
35				507.45	306.57	1047.9	2.645	
36				573.27	394.91	1435	4.412	

EK-3 (Devam)

Çizelge 5.3. (Devam) AISI 316L malzemeyle elde edilen deney sonuçları

	KESİCİ TAKIM GEOMETRİSİ	NUMUNE MALZEMESİ	KESME HIZI(m/dk)	İLERLEME (mm/dev)	KESME KUVVETLERİ(N)			YÜZEY PÜRÜZ.
					Fa	Fp	Fc	
37	SNMG 12 04 12- MM	AISI 316L	125	0.1	398.81	247.74	645.52	0.626
38				0.2	449.47	314.65	1020.4	1.303
39				0.3	520.73	394.52	1396.1	2.647
40	SNMG 12 04 12- MM	AISI 316L	150	0.1	383.49	239.56	628.19	0.779
41				0.2	438.07	310.04	1005.9	1.298
42				0.3	493.95	364.85	1387.4	2.860
43	SNMG 12 04 12- MM	AISI 316L	175	0.1	353.74	214.1	598.71	0.731
44				0.2	435.15	299.77	983	1.414
45				0.3	505.67	387.49	1425.1	3.328
46	SNMG 12 04 12- MM	AISI 316L	200	0.1	377	240.71	624.04	1.262
47				0.2	427.73	315.88	979.88	1.254
48				0.3	482.7	368.09	1323.8	2.430

	KESİCİ TAKIM GEOMETRİSİ	NUMUNE MALZEMESİ	KESME HIZI(m/dk)	İLERLEME (mm/dev)	KESME KUVVETLERİ(N)			YÜZEY PÜRÜZ.
					Fa	Fp	Fc	
49	SNMG 12 04 16- MM	AISI 316L	125	0.1	384.96	247.32	635.32	0.856
50				0.2	490.15	322.93	1033.1	1.595
51				0.3	529.53	383.16	1369	2.784
52	SNMG 12 04 16- MM	AISI 316L	150	0.1	348.45	230.14	596.34	0.605
53				0.2	459.75	353.24	1023.4	0.800
54				0.3	481.77	400.47	1376.5	1.412
55	SNMG 12 04 16- MM	AISI 316L	175	0.1	315.93	241.68	568.98	1.261
56				0.2	397.68	324.15	941.47	2.140
57				0.3	480.33	413.36	1372.6	2.226
58	SNMG 12 04 16- MM	AISI 316L	200	0.1	339.62	256.72	608.3	1.325
59				0.2	408.24	319.95	1001.5	1.371
60				0.3	478.33	394.56	1362.5	1.933

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : BAKIRCIOĞLU, Barış
 Uyuşu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 02.01.1981 - Bitlis
 Medeni hali : Bekar
 Telefon : 0 (536) 851 19 60
 E-mail : bbakircioglu@selcuk.edu.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Talaşlı Üretim Öğretmenliği	2006
Lise	Bitlis Teknik Lise ve Endüstri Meslek Lisesi	1997

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
1998-2000	Tekel(Bitlis)	Teknik Eleman
2006-2007	Kozağaç İ.Ö.O. (Ankara)	Vekil Öğretmen
2008-2009	G.Ü. Atatürk MYO (Ankara)	Öğretim Görevlisi
2009-	S.Ü. Ilgın MYO (Konya)	Öğretim Görevlisi

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Futbol Hakemliği, Jogging, Seyahat