



**AISI 430 PASLANMAZ ÇELİĞİNİN  
İŞLENEBİLİRLİĞİNİN DENEYSEL OLARAK  
İNCELENMESİ**

**Hilmi PEKŞEN**

**2020  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı  
Dr. Öğr. Üyesi Ali KALYON**

**AISI 430 PASLANMAZ ÇELİĞİNİN İŞLENEBİLİRLİĞİNİN DENEYSEL  
OLARAK İNCELENMESİ**

**Hilmi PEKŞEN**

**T.C.  
Karabük Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında  
Yüksek Lisans Tezi  
Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı  
Dr. Öğr. Üyesi Ali KALYON**

**KARABÜK**

**Haziran 2020**

Hilmi PEKŞEN tarafından hazırlanan “AISI 430 PASLANMAZ ÇELİĞİNİN İŞLENEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Ali KALYON .....

Tez Danışmanı, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 21/05/2020

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Halil DEMİR (KBÜ) .....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Ali KALYON (KBÜ) .....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Mustafa AYYILDIZ (DÜ) .....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ .....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

*“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”*

Hilmi PEKŞEN

## ÖZET

**Yüksek Lisans Tezi**

### **AISI 430 PASLANMAZ ÇELİĞİNİN İŞLENEBİLİRLİĞİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

**Hilmi PEKŞEN**

**Karabük Üniversitesi**

**Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**

**İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Dr. Öğr. Üyesi Ali KALYON**

**Haziran 2020, 78 sayfa**

Bu çalışmada, AISI 430 paslanmaz çeliği torna tezgahında iki farklı kesici uç, üç farklı kesme hızı (80- 140- 200 m/dk) ve ilerleme miktarı (0,75- 1,5- 2,25 mm/dev) kullanarak işlenebilirliği incelenmiştir. Deneysel çalışmalar soğutma sıvısı kullanılarak gerçekleştirilmiş olup, talaş derinliği bütün deney şartlarında 1,5 mm olarak sabit tutulmuştur. İşlenebilirlik deneyleri sonucunda kesici uç cinsi, kesme hızı ve ilerleme miktarının yüzey pürüzlülüğü ve kesici yan kenarda meydana gelen aşınma miktarına etkisi incelenmiştir. Taguchi tekniği kullanılarak yüzey pürüzlülüğü ve kesici yan kenar aşınma miktarı için optimum işleme şartları belirlenmiştir. İşlenebilirlik parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve kesici uç aşınma miktarına etkisi varyans analizi (ANOVA) kullanılarak hesaplanmıştır. Taguchi optimizasyon çalışması sonucunda ideal yüzey pürüzlülüğü için deney şartı  $A_2B_2C_1$  olarak, kesici yan kenar aşınma miktarı ideal deney şartı  $A_2B_1C_1$  olarak hesaplanmıştır. Deneysel çalışma sonucunda ilerleme miktarının yüzey pürüzlülüğü ve kesici yan kenar aşınma miktarında en etkili parametre olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Sözcükler** : AISI 430, yüzey pürüzlülüğü, kesici yan kenar aşınması,  
Taguchi, ANOVA

**Bilim Kodu** : 91438

## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE MACHINABILITY OF AISI 430 STAINLESS STEEL**

**Hilmi PEKŞEN**

**Karabük University  
Institute of Graduate Programs  
Department of Manufacturing Engineering**

**Thesis Advisors:**

**Assist. Prof. Dr. Ali KALYON**

**JUNE 2020, 78 pages**

In this study, the machinability of AISI 430 stainless steel was investigated using two different inserts, three different cutting speeds (80-140-200 m / min) and feed rates (0.75-1.5-2.25 mm / rpm) on CNC turning machine. Experimental studies were carried out in wet environment and depth of cut was kept constant as 1.5 mm in all test conditions. As a result of machinability tests, the effect of insert type, cutting speed and feed rate on surface roughness and flank wear were investigated. Using Taguchi technique, optimum machining conditions were determined for surface roughness of flank wear. The effect of machinability parameters on surface roughness and flank wear were calculated using ANOVA. As a result of Taguchi optimization study, the test condition for surface roughness was calculated as  $A_2B_2C_1$  and the of flank wear was calculated as  $A_2B_1C_1$ .

As a result of the experimental study, it was determined that the feed rate was the most effective parameter for surface roughness and flank wear.

**KeyWords** : AISI 430 , surface roughness, flank wear, Taguchi, ANOVA

**Science Code** : 91438



## TEŞEKKÜR

Bu tez çalıŐmasının planlanmasında, araŐtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıŐmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Dr. Öğr. Üyesi Ali KALYON'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Sevgili aileme, manevi hiçbir yardımı esirgmeden yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

KABUL.....	ii
ÖZET .....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xv
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2 .....	3
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	3
BÖLÜM 3 .....	10
TAKIM ÇELİKLERİ.....	10
3.1. ÇELİKLER.....	10
3.2. KİMYASAL BİLEŞENLERİNE GÖRE ÇELİKLER .....	11
3.2.1. Sade Karbonlu Çelikler.....	11
3.2.2. Alaşımli Çelikler.....	11
3.3. KULLANIM ALANLARINA GÖRE ÇELİKLER .....	12
3.3.1. Paslanmaz Çelikler .....	12
BÖLÜM 4 .....	16
TALAŞLI İMALAT VE İŞLENEBİLİRLİK.....	16
4.1. GİRİŞ.....	16
4.2. TALAŞLI İMALAT .....	17

## **Sayfa**

4.2.1. Tornalama .....	18
4.3. TALAŞLI İMALAT MEKANİĞİ VE TALAŞ OLUŞUMU.....	19
4.3.1. Dik (Ortogonal) Kesme .....	21
4.3.2. Eğik (Oblique) Kesme .....	22
4.4. TALAŞ OLUŞUMUNA ETKİ EDEN FAKTÖRLER .....	23
4.4.1. Kesici Takım Geometrisi .....	24
4.4.2. Kesme Hızı .....	26
4.4.3. Kesme Kuvveti ve Kesme Gücü .....	27
4.4.4. Takım Ömrü.....	28
4.4.5. Talaş Derinliği ve İlerleme Miktarı .....	28
4.5. KESİCİ TAKIMLAR .....	29
4.5.1. Kesici Takım Malzemeleri.....	29
4.6. TAKIM AŞINMASI.....	32
4.6.1. Aşınma .....	32
4.6.2. Takım Aşınma Türleri .....	35
4.6.3. Takım Aşınma Çeşitleri .....	38
4.7. TAKIM AŞINMA KONTROLÜ .....	46
4.8. TALAŞLI İMALAT İŞLEMİNDE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ .....	47
BÖLÜM 5 .....	49
MALZEME METOD .....	49
5.1. DENEYSEL NUMUNELER .....	49
5.2. DENEYLERDE KULLANILAN MAKİNE VE TEÇHİZAT .....	49
5.3. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜK ÖLÇÜMLERİ .....	51
5.4. KESİCİ TAKIMLAR .....	52
5.5. STEREO MİKROSKOP İNCELEMELERİ .....	54
5.6. TARAMALI ELEKTRON MİKROSKOBU (SEM) İNCELEMELERİ .....	54
5.7. DENEY TASARIMI .....	54
BÖLÜM 6 .....	57
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA .....	57

	<b><u>Sayfa</u></b>
6.1. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ OPTİMİZASYONU .....	57
6.2. KESİCİ YAN KENAR AŞINMASI OPTİMİZASYONU .....	62
BÖLÜM 7 .....	72
SONUÇLAR.....	72
KAYNAKLAR.....	74
ÖZGEÇMİŞ .....	79

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Şekil 3.1. Östenitik paslanmaz çelik mikro yapısı .....	13
Şekil 3.2. Ferritik paslanmaz çelik mikro yapısı.....	14
Şekil 3.3. Martenzitik paslanmaz çelik mikro yapısı .....	14
Şekil 3.4. Dupleks paslanmaz çelik mikro yapısı .....	15
Şekil 4.1. Tornalama işlemi için parametreler .....	19
Şekil 4.2. Talaş oluşumu .....	20
Şekil 4.3. Tipik bir talaş kırma.....	21
Şekil 4.4. Dik kesme modeli. ....	21
Şekil 4.5. Ortogonal kesmede oluşan deformasyon bölgeleri.....	22
Şekil 4.6. Eğik kesme.....	23
Şekil 4.7. Kesme parametrelerinin kesme kuvvetleri üzerindeki etkisi.....	24
Şekil 4.8. Sağ yönlü kesme işlemi yapan sağ yan kesici takım .....	25
Şekil 4.9. Tornalama işleminde kesme kuvvetleri .....	27
Şekil 4.10. Kesici yan kenarda meydana gelen aşınmalar .....	33
Şekil 4.11. Kesici takım aşınması türleri .....	34
Şekil 4.12. Metallerin işlenmesi sırasındaki temel aşınma mekanizmaları .....	35
Şekil 4.13. Adhezyon aşınması .....	35
Şekil 4.14. Abrasyon (Sürünme) aşınması.....	36
Şekil 4.15. Difüzyon aşınması .....	37
Şekil 4.16. Oksidasyon aşınması.....	37
Şekil 4.17. Yorulma aşınması .....	38
Şekil 4.18. Yan kenar aşınması .....	39
Şekil 4.19. Krater aşınması .....	40
Şekil 4.20. Plastik deformasyon.....	41
Şekil 4.21. Çentik aşınması .....	41
Şekil 4.22. Termal çatlaklar .....	42
Şekil 4.23. Mekanik yorulmadan kaynaklanan kırılmalar .....	43
Şekil 4.24. Çıtlamanın oluşumu .....	43
Şekil 4.25. Kırılma .....	44

## **Sayfa**

Şekil 4.26. Yapışma ve BUE oluşumu.....	45
Şekil 4.27. Talaş vurmaı.....	46
Şekil 4.28. Takım aşınma kontrolünün yapılacağı bölgeler.....	47
Şekil 5.1. Kullanılan kater açıları.....	52
Şekil 5.2. DCMT11T302-FM4 kesici takım ölçüleri.....	53
Şekil 5.3. DCMT11T302-SM kesici takım ölçüleri.....	53
Şekil 5.4. Stereo mikroskop .....	54
Şekil 6.1. Parametrelerin yüzey pürüzlülüğüne etkisi.....	59
Şekil 6.2. Kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi.....	61
Şekil 6.3. Deneysel ve tahmin sonuçlarının karşılaştırılması .....	62
Şekil 6.4. Kesici takım yan kenar aşınma miktarı.....	64
Şekil 6.5. İşleme parametrelerinin kesici yan kenar aşınma miktarına etkileri .....	65
Şekil 6.6. Kesici takıma ait SEM görüntüleri .....	66
Şekil 6.7. Kesici takımda gerçekleşen aşınmalar .....	67
Şekil 6.8. 1 nolu bölgeden alınan EDS sonucu .....	67
Şekil 6.9. Yığıntı talaş-Yan kenar aşınması SEM görüntüleri .....	68
Şekil 6.10. Kesme parametrelerinin kesici uç yan kenar aşınmasına etkileri .....	69
Şekil 6.11. Deneysel ve tahmin sonuçlarının karşılaştırılması .....	71

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

Çizelge 3.1. Paslanmaz çelik grupları .....	13
Çizelge 5.1. AISI 430 paslanmaz çeliğinin kimyasal kompozisyonu .....	49
Çizelge 5.2. CNC torna tezgahının teknik özellikleri .....	50
Çizelge 5.3. Houghton ADRANA E305 özellikleri.....	51
Çizelge 5.4. Mahr yüzey pürüzlülük cihazının teknik özellikleri .....	52
Çizelge 5.5. Kullanılan kater ölçüleri .....	53
Çizelge 5.6. Walter kesici takım ölçüleri .....	53
Çizelge 5.7. Iscar kesici takım ölçüleri .....	54
Çizelge 5.8. Deney parametleri ve seviyeleri.....	55
Çizelge 6.1. Ortalama yüzey pürüzlülük değerleri ve S/G oranları .....	58
Çizelge 6.2. Yüzey pürüzlülüğü ANOVA analiz sonuçları .....	60
Çizelge 6.3. Yüzey pürüzlülüğü sonuçları için işleme parametlerine ait oranlar .....	61
Çizelge 6.4. Kesici takımlarda ölçülen aşınma miktarları ve S/G oranları .....	63
Çizelge 6.5. Kesme parametlerinin kesici yan kenar aşınma miktarına etkileri .....	69
Çizelge 6.6. Kesici uç yan kenar aşınması için işleme parametlerine ait oranlar .....	70

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

$\mu\text{m}$	: mikrometre
$^{\circ}\text{C}$	: derece
N	: newton
V	: kesme hızı
n	: torna tezgahının devir sayısı
r	: kesici takım uç yarıçapı
F	: kesme kuvveti
f	: ilerleme miktarı
a	: ilerleme miktarı
$\alpha$	: takım talaş açısı
$\phi$	: kayma açısı
$\beta$	: sürtünme kuvveti
$F_c$	: esas kesme kuvveti
$F_r$	: radyal kuvvet
$F_f$	: ilerleme kuvveti
$F_R$	: bileşke kesme kuvveti
$R_a$	: ortalama yüzey pürüzlülüğü



## KISALTMALAR

- HRC : Hardness Rockwell C ( Rockwell C Sertlik)
- ASTM: American Societyfor Testing and Materials (Amerikan Test ve Malzeme Topluluğu)
- SEM : Scanning Electron Microscopy (Tarama Elektron Mikroskop)
- EDS : Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (Enerji Dağılımlı X-Işını Spektroskopisi)
- AISI : Amerikan Demir ve elik Enstitüsü
- CNC : Bilgisayarlı Nümerik Kontrol
- ISO : Uluslararası Standard Organizasyonu
- CBN : Cubic Boron Nitride (Kübik Bor Nitrür)
- BUE : Built- Up Edge (Yığıntı Talaş)
- $V_{BMAX}$  : Maksimum Yan Yüzey Aşınması
- $V_B$  : Yan Yüzey Aşınması
- KT : Krater Derinliği
- KB : Krater Genişliği
- KM : Krater Orta Eksen Mesafesi
- YSA : Yapay Sinir Açı
- TiC : Titanyum Karbür
- TiN : Titanyum Nitrür
- $Al_2O_3$  : Alüminyum Oksit

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Talaşlı imalat işleminde verimliliği artırma ihtiyacı bir çok teknolojinin gelişmesine olanak sağlamıştır. Bu teknolojilerden bazıları; iş parçası ölçü tamlığı, iş güvenliği, gelişmiş teknolojiye sahip otomasyon, bilgisayar destekli tezgahlar, esnek imalat sistemleridir. Takım tezgahlarındaki teknolojik ilerlemeler parçaların hassas, verimli, güvenilir ve seri imalata dayalı üretilmesine imkan sağlamıştır. Endüstriyel alandaki ilerlemelerle beraber talaşlı imalat işlemleri endüstri için çok önemlidir. Ürünün tasarlanması, işlem planlaması, işleme süreçlerini ve kalite kontrol gibi prosesleri kapsayan süreç ürünün üretimi olarak isimlendirilir. İşlem planlama ve işleme süreçlerinin belirlendiği kısım ise işlenebilirlik olarak adlandırılır. Verimli üretim için planlama yapmak ve işlenebilirliğin kavranabilmesi mühendisler için çok önemli bir konudur. Ürünün tasarlanma aşamasındaki malzeme seçiminin tasarımda hedeflenen malzemeye karşılık gelmesi ve üretimdeki giderlerin azaltılması için çok önemli bir noktadır. İşleme giderlerinin aza indirgenmesi, kesici takımın çalışma süresini artırmak ve iyi bir yüzey kalitesi elde etmek çok önemli bir nokta olduğu için talaşlı imalat alanında sürekli çalışmaların yapılmasını bir ihtiyaç haline getirmiştir [1].

Endüstri devrimi başlarında kullanılmış kesici takımlarla, şuan kullanılan takımlar arasında çok büyük farklar vardır. Fakat bu yöndeki geliştirme çalışmaları hala daha devamlılığını sürdürmektedir. Bu çalışmaların sürmesinin iki farklı sebebi vardır. Bunlar endüstri alanındaki zorlayıcı rekabet ortamı ve daha üst seviyede malzeme kullanma isteğidir [1,2].

Talaşlı imalatta en büyük sorun kesici takım ömrünün belirlenememesidir. Kesme süresini kesici takım talaşlı imalat işlemlerinde, parçanın ölçüsel ve boyutsal elde etme olasılığı zorlaşırken takım tezgahına verebileceği olumsuz etkiler dikkate

alınmalıdır. Keskinliğini yitirmiş kesiciye uygulanan direncin artması, kesme operasyonunda ihtiyaç duyulan talaş kaldırma kuvvetlerinin artmasına sebep verecektir. Takımın aşınması, yüzey pürüzlülüğü değerine etki eden en önemli parametrelerden biridir. Kesme işlemi sırasında meydana gelen sürtünme, ısı, kuvvet ve benzeri parametreler kesici takım üzerinde negatif etkilere yol açabilir. Aynı zamanda kesici takımın yan yüzünde meydana gelen aşınmalar yüzey kalitesinde olumsuzluklara sebep olabilir bu şekilde devam edildiğinde üretim ve takım maliyetini artmasına neden olabilir. Bu nedenler göz önünde bulundurularak kesici takımın ömrü bilinmelidir. Kesici takımların kesme ömürleri bütün malzemelerde aynı olmamakla birlikte kesici takımı aynı sevide aşındırmaz [1].

Bu çalışmada AISI 430 Paslanmaz çeliği iki farklı kesici uç, üç farklı kesme hızı ve ilerleme miktarı kullanılarak işlenebilirliği soğutma sıvısı kullanılan ortam şartında torna tezgahında deneysel olarak incelenmiştir. Yüzey pürüzlüğü ve kesici yan kenarda gerçekleşen aşınma incelenmiştir. Deneysel sonuçlar için optimizasyon çalışması yapılarak ideal deney şartı belirlenmiştir. ANOVA analiz ile yüzey pürüzlüğü ve kesici yan kenar aşınması üzerine deney parametrelerinin etkileri hesaplanmıştır.

## BÖLÜM 2

### LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

AISI 430 paslanmaz çeliği özellikleri bakımından ferritik sınıfına giren, düşük karbonlu ve krom içerikli bir paslanmaz çeliktir. Düşük oranda karbon içerdiklerinden (0,2'nin altında karbon içerirler) dolayı uygulanan tek ısıl işlem tavlama değildir. AISI 430 paslanmaz çeliğinin kaynak olarak kullanıldığı işlemler sınırlıdır. Öte yandan nikel ve molibden içermedikleri için 300 serisi paslanmaz çeliklere oranla fiyat açısından daha uygundur. Kullanıldıkları malzemelerde iyi bir yüzey görünümü sağlarlar. Nikel içermedikleri için manyetik özellik gösterirler. 430 kalite paslanmaz çelik 1.4016 paslanmaz çelik olarak da adlandırılmaktadır ve X6Cr17 olarak da adlandırılabilir.

Yontar tarafından yapılan çalışmada, AISI 304 östenitik paslanmaz malzeme üzerinde tornalama yöntemiyle işleme deneyleri yapılmıştır. Kesme parametrelerindeki değişimlerin aşınma miktarı, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi incelenmiştir. Çalışmaların sonucu olarak takım uçlarında meydana gelen deformasyon tipleri incelendiğinde yan kesici kenar aşınması, BUE oluşması, kırılma, çentik gibi deformasyon mekanizmalarının oluştuğu gözlenmiştir. İlerleme ve talaş derinliğinin artmasıyla kesme kuvvetlerinin arttığı gözlenmiştir. Talaş kaldırma işlemlerinde kesme kuvvetlerinin, takım - talaş arasındaki temas uzunluğu ile ilgisi olduğu için kesme hızının artırılmasının kayma açısını artırdığı, daha ince talaş oluşturduğu ve temas uzunluğunu azalttığı için kesme kuvvetlerini düşürdüğü belirtilmiştir [3].

Chouldhury A. ile El-Baradie M. A. tarafından yapılan çalışmada, Inconel 718'in çeliğine kaplamalı, kaplamasız karbür kesici takımlar kullanılarak CNC tezgahında aşınma deneyleri yapılmıştır. İlk çalışmada kesme derinliğini 1 mm olarak sabitleyip farklı kesme hızlarında ve ilerleme 0,20 mm/dev olarak belirlenip çalışmalar

yapılmıştır. İkinci çalışmada kesme derinliğini bir öncekindeki gibi alarak ilerleme değiştirerek, kesme hızını 20 m/dk olarak çalışmalar yapılmıştır. Üçüncü çalışmada ise kesme hızı 20 m/dk sabit alınarak kesme derinliği değiştirilmiş, ilerleme 0,20 mm/dev olarak çalışma sonlandırılmıştır. Yapılan bütün deneylerde talaş kaldırma işlemi belirlenen sürelerde durdurulmuş ve kesici yan kenar aşınma değerleri ölçülerek çalışmaya devam edilmiştir [4].

Bunlarla birlikte serbest yüzey aşınma değerinin 0,3 mm'yi aştığı görüldüğünde talaş kaldırma işlemi ara verilerek kesici takım değiştirilmiş ve çalışmaya devam edilmiştir. Çalışmalar sonucu belirlenen ortalama serbest yüzey aşınma değerleri takım ömrünün saptanmasında kullanılmıştır [4].

Kwon ile Fischer tarafından yapılan çalışmada, AISI 4340 çeliği üzerinde kaplama bulunmayan kesici takım ile CNC torna tezgahında işlenmiştir. Yapılan çalışmada kesme derinliği 2,5 mm, kesme hızı 185 m/dk ve ilerleme 0,12 mm/dev olarak belirlenerek soğutma sıvı kullanılmadan 50 mm uzunluğunda iş parçasında talaş kaldırma işlemi yapılmıştır. İşlem sonrasında ölçümler sonucunda serbest yüzey aşınmasının talaş kaldırma işlemi devam ettikçe arttığı gözlenmiştir [5].

Korkmaz tarafından yapılan işlenebilirlik çalışmalarında, 11SMnPb30 çelik malzeme üzerinde tornalama yapılmıştır. Yapılan deneylerde soğutma sıvısı kullanılmadan üç adet karbür ve bir adet sermet kesici takım ile farklı ilerleme parametreleri ve sabit devir üzerinden çalışmalar yapılmıştır. Sermet kesici takım yüzey pürüzlülüğü bakımından daha üstün olduğunun görülmesi sonucunda bir sonraki çalışmada farklı devir sayıları ve ilerleme değerlerinde çalışmalar devam etmiştir. Tarama elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak kesici takımların aşınmaları ayrıntılı incelenmiştir. SEM incelemelerinde karbür kesici takımlarda yan yüzey aşınması, kırılmalar gibi hasarların yanı sıra iş parçasından yapışan iş parçacıkları gözlenmiştir. Sermet kesici takımda ise, takıma yapışmış herhangi bir iş parçası malzemesi gözlenmemiştir [6].

Balcı tarafından yapılan çalışmada AISI 430 çeliğinin tornalama işlemi yapılması sonrasında meydana gelen yüzey pürüzlülüğü incelenmiştir. Deneysel çalışmalarında

soğutma sıvısı kullanılmadan kaplamaları farklı olan dört adet sementit karbür kesici takımdan faydalanılarak farklı talaş derinliği ve ilerleme hızlarında çalışmalar yapılmıştır. Çalışmalar sonucunda ilerleme hızı ve uç yarıçapının yüzey pürüzlülüğünü önemli boyutta etkilediği gözlenmiştir. Uç yarıçapı artırılarak yapılan çalışmada 0,05 ile 0,1 mm/dev ilerleme hızlarında yüzey pürüzlülüğünün beklenmedik bir şekilde fazlaştığı gözlenmiştir [7].

Özcan tarafından yapılan çalışmalarda, sertleştirilmiş Caldie soğuk iş takım çeliği üzerinde farklı kesici uçların işlenebilirlik deneyleri yapılmıştır. Çeliğe ısı işlem uygulanarak, sertliği 60 HRC çıkartılmış ve sert tornalama çalışması yapılmıştır. Yapılan çalışmalar seramik ve CBN kesici takım kullanılarak yapılmıştır. Talaş derinliği 0,1 mm olup sabit tutularak, üç farklı kesme hızı (90, 120, 150 m/dk) ve üç farklı ilerleme miktarı (0,05- 0,1 ve 0,15 mm/dev) belirlenmiştir. Kesme değerlerinin kesici takımı etkileyen kuvvetlerin bileşenlerinin ( $F_c$ ,  $F_f$ ,  $F_r$ ) piezo elektrik dinamometre ile ölçümleri yapılmıştır. Sertleştirilmiş iş parçasından 20 cm<sup>3</sup> talaş hacmi kaldırılarak kesici uçta meydana gelen aşınmalar belirlenerek, stereo mikroskop ve SEM görüntüleri incelenmiş ve sonuçların doğrultusunda ortalama yüzey pürüzlülük değerleri ile esas kesme kuvveti grafiksel olarak incelenerek yorumlanmıştır. Bunların yanında kesme hızı ve ilerleme miktarı değerlerinin arttırıldığı çalışmaların sonrasında kesici takımda oluşan aşınmanın daha fazla olduğu görülmüştür [1].

Korkut ve Dönertaş, Ç1020 ve Ç1040 çeliklerinin işlenebilirliği için kesme parametrelerini incelemişlerdir. Kesme parametrelerinin değiştirilmesiyle BUE oluşumu ve yüzey pürüzlülüğünün nasıl etkilendiği incelenmiştir. Kesme hızı, ilerleme değeri ve kesme derinliğinin işlenebilirlik üzerine etki ettiği, yüzey pürüzlülüğü ve BUE oluşumlarının bu değerlere bağlı olduğu, özellikle düşük ve orta kesme hızlarında takımın kesici kenarında yığılma (BUE) oluştuğunu gözlemlemişlerdir [8].

Topçu tarafından yapılan çalışmada AISI P20Ni kalıp çeliğinden hazırlanan iş parçası üzerinde işlenebilirlik deneyleri yapılmıştır. Çalışmalarını CNC dik işlem merkezinde gerçekleştirilmiştir. Kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülükleri

üzerinde çalışılmıştır. Dört farklı kesme hızı (120- 160- 180 ve 200 m/dk); dört farklı ilerleme miktarı (0,08- 0,12- 0,18 ve 0,27 mm/diş) ve iki farklı talaş derinliği (0,5- 1 mm) sementit kesici karbür kesici takım kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda talaş derinliği ve ilerleme miktarının artması yüzey pürüzlülük değerini arttırmıştır. Kesme hızının artması ise kesme kuvvetini düşürmüş ve ilerleme miktarının artması ise kesme kuvvetini arttırmıştır. Meydana gelen en yüksek ve en düşük kesme kuvveti ölçülmüştür ve en yüksek 134,1 N; en düşük 43,78 N olarak belirtilmiştir. En yüksek yüzey pürüzlülüğü 2,269  $\mu\text{m}$  olarak elde edilirken en düşüğü 0,448  $\mu\text{m}$  olarak ölçülmüştür [9].

Coşkun tarafından yapılan çalışmada kaplamalı karbür kesici takım kullanılarak AISI P20S kalıp çeliği üzerinde frezeleme yöntemi uygulanmıştır. Dört farklı kesme hızı (170 - 200 -230 - 260 m/dk) ; dört farklı ilerleme miktarı (0,075- 0,113- 0,169- 0,253 mm/diş) ve iki farklı talaş derinliği (0,75 - 1,5 mm) kullanılarak çalışmalar yapılmıştır. Bu deneyler sonucunda kesme hızının artması neticesinde kesme kuvvetlerinde düşüş meydana gelmiştir ve ilerleme miktarının artmasıyla ise kesme kuvvetlerinde artış görülmüştür. Kesme hızının artması ise kesme kuvvetinin düşmesine sebep olmuştur ve 230 m/dk hızında artış olduğu gözlenmiştir. En yüksek kesme kuvvetinin (138,1 N) 170 m/dk kesme hızı, 0,253 mm/diş ilerleme miktarı ise 1,5 mm talaş derinliğinde ölçüldüğünde, en düşük kesme kuvveti değeri (45,23 N) ve 0,75 mm talaş derinliğinde, 260 m/dk kesme hızının, 0,075 mm/diş ilerleme miktarında olduğu yapılan ölçümlerde görülmüştür. Yapılan çalışmalarda en düşük yüzey pürüzlülüğü (0,273  $\mu\text{m}$ ) 260 m/dk kesme hızı, 0,075 mm/diş ilerleme hızında ve 0,75 mm talaş derinliğinde ölçülürken, en yüksek yüzey pürüzlülük değeri (1,552  $\mu\text{m}$ ) ise 170 m/dk kesme hızı, 0,253 mm/diş ilerleme miktarı ve 1,5 mm talaş derinliğinde oluşmuştur [10].

Akgün tarafından yapılan çalışmada soğuk çekilmiş AISI 1040 çeliği üzerinde sıcak haddelenmiş ve farklı deformasyon oranlarında (%7,4 ve 3,5) çalışmalar yapılmıştır. Deneyler soğutma sıvısı kullanılmadan kuru şartlarda gerçekleştirilmiştir ve tornalama metoduyla sekiz farklı kesme hızı (150, 180, 210, 240, 270, 330, 390 ve 450 m/dk), dört farklı ilerleme hızı (0,04- 0,08- 0,1 ve 0,12 mm/dev) ile dört

farklı (0,5- 1- 1,5 ve 2 mm) talaş derinliği kullanılmıştır. Soğuk çekilmiş çelik parçaların mikro yapıları ve sertlikleri değişmesinin kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkileri araştırılmıştır. Bunu yanında sıcak haddelenmiş düşük karbonlu çelikler üzerinde de tornalama çalışmaları yapılmıştır bunun sebebi ise soğuk çekmenin kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelemektir. Sıcak haddelenmiş iş parçalarının sertliğinin düşük ve sünekliğinin yüksek olması kesme kuvvetlerinin yüksek olmasına soğuk çekilen iş parçalarında ise sertliğin yüksek ve sünekliğin düşük olması kesme kuvvetlerinin düşük olmasına neden olmuştur [11].

Kuncan tarafından yapılan çalışmada AISI 52100 rulman çeliği ısıtılma işlemi yapılmadan ve küreselleştirme ısıtılma işlemi uygulanarak kuru ve minimum miktarda yağlama ortamlarında karbür ve seramik kesici takımlar kullanılarak tornalama işlemine tabi tutulmuştur. Bu deneyler neticesinde iş parçalarının ortalama yüzey pürüzlülük değerleri, kesici takımlarda meydana gelen yanak aşınması ve kesici takımındaki sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Çalışmalarda talaş derinliği ve ilerleme miktarı sabit tutulmuştur buna karşın kesme hızı, iş parçası, kesici takım malzemeleri ve işleme ortamı gibi parametreler belirli sınırlar içerisinde değiştirilmiştir. Bunların işleme faktörü üzerindeki etkileri deneyler sonucunda tespit edilmiştir. Bu çalışmalar sonucunda ise AISI 52100 malzemesinin ekonomik işlenebilirliği en uygun şartlar araştırılarak değerlendirilmiştir [12].

Bilgin tarafından yapılan çalışmada, AISI 6150 ıslah çeliği kullanılmıştır. 38 mm çapında ve 220 mm boyunda hazırlanan deney numunelerine CNC torna tezgahında boyuna tornalama yapılmıştır. Deneylerde sermet ve karbür kesici takımlar kullanılmıştır. Karbür takımlarda 150, 200, 250, 300 ve 350 m/dk, sermet takımlarda ise 150, 175, 200, 225 ve 250 m/dk hızları kullanılmıştır. Diğer işleme faktörleri ise bütün kesici takımlar için aynıdır. Bunlar üç farklı ilerleme hızı (0,12- 0,16 ve 0,20 mm/dev); üç farklı talaş derinliği (0,5- 1 ve 1,5 mm) ve üç farklı kesici takım uç yarıçapı (0,4- 0,8 ve 1,2 mm) dir. Yapılan tüm deneyler yeni bir kesici takımla, soğutma sıvısı kullanılmadan kuru şartlarda gerçekleştirilmiştir. Her deneyde iş parçası üzerinden 3500 mm<sup>3</sup> talaş kaldırılmıştır. Deney sonuçlarına göre, sadece kaplamasız karbür takımda kırılma oluşmuştur. Bütün işleme parametreleri yüzey



pürüzlülüğünü, esas kesme kuvvetini, takım aşınmasını ve talaş şeklini etkilediğini gözlemlemişlerdir. Yüzey pürüzlülüğüne en etkili parametre ilerleme hızıdır, esas kesme kuvvetinde en etkili parametre talaş derinliği, takım aşınmasına en etkili parametre kesici takım malzemesi, talaş şekillerinin oluşmasında en etkili parametre ise ilerleme hızıdır. Deneyler sonunda en iyi ortalama yüzey pürüzlülük ( $R_a$ ) 0,298  $\mu\text{m}$ , en düşük esas kesme kuvveti ( $F_c$ ) ise 200,59 N olarak elde edilmiştir [13].

Şirin tarafından yapılan çalışmada farklı sertliklerdeki AISI D2 soğuk iş takım çeliğine CNC dik işleme merkezinde simetrik alın frezeleme işlemi yapılmıştır ve kesme kuvvetiyle yüzey pürüzlülük değerleri incelenmiştir. Frezeleme işleminde TiAl+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+ZrN kaplanmış karbür kesici takımlar kullanılmıştır. Dört farklı kesme hızında (70- 90- 110 ve 130 m/min), üç farklı ilerlemede (0,05- 0,1- 0,15 mm/dev) ve 0,5 mm kesme derinliğinde çalışmalar yapılmıştır. Çalışmalar kuru şartlarda yapılmıştır. Kesme parametrelerinin kesme kuvvetleri üzerindeki etkilerinin incelenmesi ve kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğündeki değişimlerin saptanabilmesi için kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüştür. Bu parametrelerin kesme kuvvetlerine ve yüzey pürüzlülüğüne olan etkileri araştırılmıştır. Yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili parametre takım geometrisidir, sonrasında sırasıyla ilerleme miktarı ve kesme hızıdır. En iyi yüzey pürüzlülük değeri 0,098  $\mu\text{m}$  olarak belirlenmiştir. Yeni bir geometriye sahip kesici takımında ise çok önemli bir takım aşınması görülmemiştir [14].

Aouici ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmalarında sert tornalama tekniğini kullanmışlardır. Kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesme derinliğinin yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvveti üzerindeki etkisini deneysel olarak araştırmışlardır. Kaplamalı seramik kesici takımlarla sertleştirilerek sertliği 60 HRC'ye çıkartılan AISI D3 soğuk iş takım çeliği üzerinde sert tornalama kullanarak çalışmalar yapmışlardır. Deneyler neticesinde kesme kuvvetini en fazla etkileyen işlem parametresinin ilerleme miktarı ve kesme derinliği olduğunu saptamışlardır. En elverişli kesme parametrelerini belirlemek için RSM analiz tekniğini kullanmışlardır. Optimizasyon işlemi sonucunda düşük kesme derinliğinin, yüksek kesme hızının ve ilerleme miktarının 0,12 ve 0,13 arasındaki işleme değerlerinin yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri için en elverişli işlem parametreleri olduklarını bulmuşlardır [15].

Finides ve arkadaşları yaptıkları çalışmalarında 50 HRC sertlikteki sıcak iş çeliğini X38CrMoV5-1 seramik kesici takımlar kullanarak tornalamışlardır. İşleme parametreleri olarak ilerleme miktarı 0,08 ve 0,16 mm/dev, kesme derinliğini 0,15 ve 0,3 mm, kesme hızını 125 ve 250 m/dk olarak seçmişlerdir. Deneysel çalışmalarının sonucunda kesme derinliğinin radyal kuvveti daha fazla etkililiğini belirtmişlerdir. İlerleme miktarının yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en önemli parametre olduğunu belirtmişlerdir [16].

Turan, yaptığı çalışmada kuru tornalama işleminden faydalanarak boyuna kesme kuvveti kullanmıştır ve kesici takımında oluşan titreşimin yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelemiştir, bunlar neticesinde optimum kesme parametrelerini belirlemek üzerinde çalışmalar yapmıştır. Kesme kuvvetleri ve titreşimler işlem süresince ölçülmüştür. Yüzey pürüzlülüğü ise testlerden sonra iş parçasında belirlenen beş farklı noktadan ölçüm alınmıştır. Sonrasında ise bu değerlerin ortalaması alınmıştır [17].

Elde edilen değerler sonucunda titreşim ve yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişkiyi değerlendirmiştir. Sonuç olarak yüzey pürüzlülüğünün titreşimin artmasıyla arttığı görülmüş olup bu durum ile titreşimin yüzey pürüzlülüğü üzerinde olumsuz bir etki oluşturduğu gözlemlenmiştir [17].

## BÖLÜM 3

### TAKIM ÇELİKLERİ

#### 3.1. ÇELİKLER

Çelikler, demir (Fe) - karbon (C) alaşımı olarak tanımlanır. Çeliğin içindeki karbon miktarındaki çok küçük değişimler bile çeliğin farklı özelliklerde olması için yeterlidir. Çelik alaşımını sadece demir ve karbon ağırlıklı düşündüğümüzde, çeşitliliği oldukça fazla bir alaşımla karşı karşıya kalabiliriz, bununla birlikte endüstrinin ihtiyaçlarına cevap verebilecek şekilde çelik üretimi, alaşım içerisinde başka element ve elementlerin ilavesine gerek duymaktadır. Bu yönüyle de alaşıma ilave edilen her katkı maddesi çeliğin özelliğinin değişmesine neden olur [6].

Karbon, çeliklerin temel alaşım element olup yapısındaki miktarı mekanik özellikleri en çok etkilemekte olan faktördür. Çeliğin akma ve çekme mukavemetini arttırırken kaynak kabiliyetini ve işlenebilirlik özelliğini, olumsuz yönde etkiler. İşlenebilirliği arttırmak için karbon miktarı düşük tutulmalı ve dayanımın yüksek olması istenildiğinde ise karbon içeriği yüksek olmalıdır [6].

Demir-karbon alaşımının çelik olarak kabul edilebilmesi için içerisinde ağırlıkça %0,1 ile %2 arasında karbon bulunması gerekir. Metalurjinin bilim dalı olarak yaygınlaşması ile birlikte çeliğin kompozisyonunun değiştirilerek veya ısıl işlem ile özellikleri farklılaştırılarak özellikle yüksek kopma mukavemeti ile teleferik, inşaat, otomotiv, tıp ve birçok diğer alanda insanlığa hizmet verir hale getirilmesi sağlanmıştır [6].

## **3.2. KİMYASAL BİLEŞENLERİNE GÖRE ÇELİKLER**

Çeliklerin kimyasal bileşenlerine göre sınıflandırılmasında, malzemenin karbon, fosfor, kükürt veya silisyum oranları göz önünde bulundurulur. Çelik, iç yapısında, alüminyum, kurşun, bakır gibi başka elementlerde bulunuyorsa, sınıflandırmada bunlarında belirtilmesi gerekmektedir. Kimyasal bileşenlerine göre sınıflandırma, çelik sınıflandırmaları içinde detaylı olarak anlatılmaktadır. Bunun nedeni olarak, çelik alaşımını oluşturan her bir elementin, çeliğe farklı bir özellik verdiği görülmektedir. Kimyasal bileşenlerine göre çelikler sade karbonlu çelikler ve alaşımlı çelikler olarak iki grupta açıklanır [6].

### **3.2.1. Sade Karbonlu Çelikler**

Karbon çeliklerdeki en ucuz ve etkili alaşım maddesi olarak bilinmektedir. Bu çelikler iki ayrı grupta incelenmektedir. Bu iki grup karbon oranına göre incelenip, içerisinde %0,8'den az karbon içeren alaşımlara ötektoid altı çelik, %0,8'den fazla karbon içeren alaşımlara ise ötektoid üstü çelikler denir [6].

### **3.2.2. Alaşımlı Çelikler**

Karbon oranının artması demir-karbon alaşımlarında mukavemet ve sertliği artırdığı gibi, tokluk ve süneklik gibi faktörlerin azalmasına, çarpma mukavemetinin de düşmesine sebep olur. Çeliklerde süneklik korunarak mukavemet artışı sağlamak için değişik türden alaşım elemanları kullanılır. Bu elemanları sertleşme yeteneği, korozyon ve yüksek ısı dayanımı gibi özelliklerin ortaya çıkması için zemin hazırlar. Bu sebepten dolayı farklı oranlarda Mangan (Mn), Silisyum (Si), Krom (Cr), Nikel (Ni), Molibden (Mo), Titanyum (Ti) ilave edilir. Böylece endüstride iki binden fazla tür alaşımlı çeliği geliştirilmiş olmaktadır [6].

Çelik yapısında %5'ten fazla alaşım elemanı içeriyorsa yüksek alaşımlı çelikler, %5'ten düşük alaşım elemanı içeren çeliklere az alaşımlı çelikler iki grup olarak isimlendirilir. Genel olarak kullanım alanları, yüksek mukavemetli yapı elemanları ve makine parçalarıdır. Karbon genel olarak tüm çeliklerde su verme işlemi

esnasında martenzit fazının oluşmasına yardımcı olmada büyük rol oynadığı için uygun oranda karbon bulundurlarsa sertleştirilebilirler [6].

### **3.3. KULLANIM ALANLARINA GÖRE ÇELİKLER**

İnşaat çeliği dışındaki diğer çelikler çoğaltılabilir. Hangi kullanım amacıyla üretildiyse o alanın adını alır. Örneğin; cıvata ve somun çeliği, yay çeliği gibi. Alaşimsız çeliklerin karbon oranına göre sınıflandırılması aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Genel yapım çelikleri,
- Makine yapım çelikleri,
- Sementasyon çelikleri,
- Nitrasyon çelikleri,
- Otomat çelikleri,
- Yüksek sıcaklığa dayanıklı çelikler,
- Paslanmaz çelikler,
- Rulman çelikleri,
- Takım çelikleri [6].

#### **3.3.1. Paslanmaz Çelikler**

Östenitik paslanmaz çelikler krom-nikel çeliklerindedir, minimum %10,5 krom içeren demir-karbon-krom alaşımıdır. İyi bir korozyon direnci gösterdiği gibi yüksek mekanik özelliklere sahiptir. Geleneksel sıcak sertleştirme yöntemleriyle sertleştirilemezler. Ancak soğuk şekillendirme yöntemleriyle sertleştirilebilirler [6]. Çizelge 3.1'de paslanmaz çelik grupları gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Paslanmaz çelik grupları [18].

<b>Ferritik</b>	Cr
<b>Östenitik</b>	Cr,Ni,Mo
<b>Martensitik</b>	Cr,C veya Ni
<b>Dublex</b>	Cr,Ni,Mo (Östenitik çeliklere göre yüksek krom,düşük Nikel)

### 3.3.1.1. Östenitik Paslanmaz Çelikler

Çeliğin en çok kullanılan türlerindedir. Dünyada üretilen paslanmaz çeliklerin yaklaşık %60'ını kapsamaktadır. Bu çelikler manyetik özellik göstermezler. Yapısı yüzey merkezli kübiktir [7]. Şekil 3.1'de östenitik paslanmaz çelik mikro yapısı görülmektedir

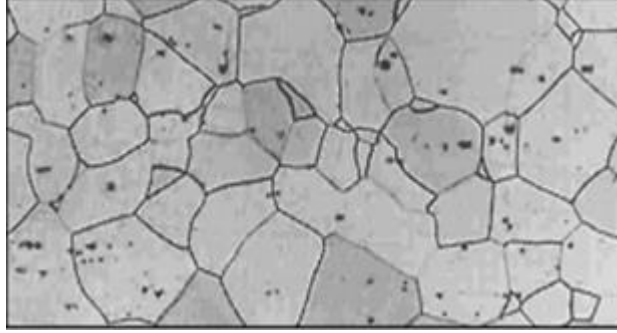


Şekil 3.1. Östenitik paslanmaz çelik mikro yapısı [18].

### 3.3.1.2. Ferritik Paslanmaz Çelikler

Düşük karbonlu çeliklerdir ve %10,5-30 arası krom içerirler. Krom dışında ise Molibden, Titanyum ve Vanadyum gibi alaşım elementleri içerir. Bu elementler ferritik yapıyı istikrarlı hale getirir ve karbür yapıcı özelliktedir. Östenik paslanmaz çeliklerin aksine ferritik paslanmaz çelikler manyetik özellik gösterirler. Bu çeliklere ısıtma işlemi uygulanamaz bunun nedeni ise düşük oranda karbon içermeleridir. Tek uygulanabilen ısıtma işlemi tavlama işlemidir. AISI 430 çeliği bu gruba girmektedir. Yapıları

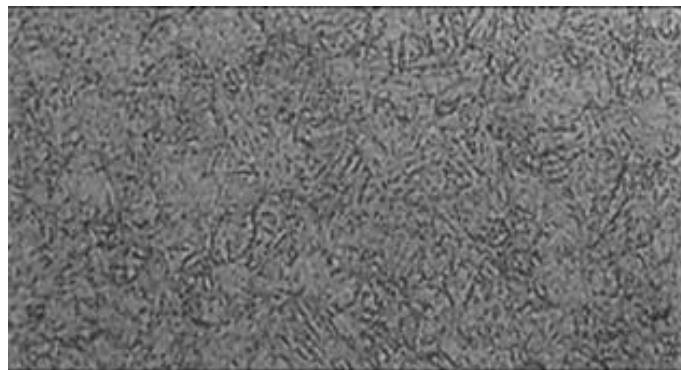
hacim merkezli kübiktir [7]. Şekil 3.2'de ferritik paslanmaz çelik çelik mikro yapısı görülmektedir.



Şekil 3.2. Ferritik paslanmaz çelik mikro yapısı [18].

### 3.3.1.3. Martenzitik Paslanmaz Çelikler

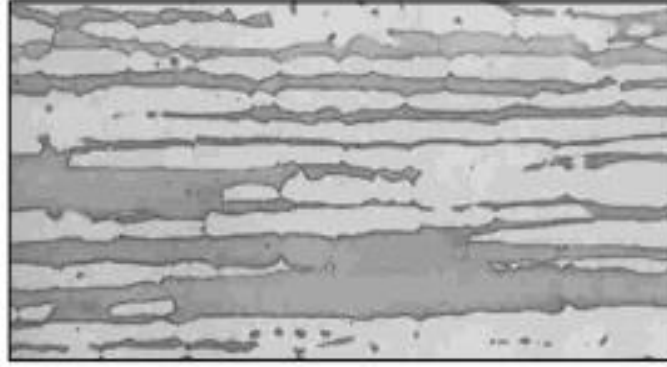
Bu paslanmaz çelik türünün alaşımı düşük olduğu gibi mukavemetleri düşüktür. Fazla karbon içerdikleri için ısıl işlem uygulanarak sertleşip mukavemetlerinin artırılmasına olanak sağlarlar. %11 ile %17 arası krom içermektedir. Isıl işlem veya soğuk işleme esnasında östenitten dönüşür. Östenitik paslanmaz çelikler gibi değildir manyetik özellik gösterirler [7]. Şekil 3.3'te martenzitik paslanmaz çelik mikro yapısı görülmektedir.



Şekil 3.3. Martenzitik paslanmaz çelik mikro yapısı [18].

#### 3.3.1.4. Dupleks Paslanmaz Çelikler

Yapısında hem östenitik hem de ferritik yapı olan çeliklerdir. İçerdikleri alaşımlara göre korozyona karşı gösterdikleri direnç değişmektedir. Östenitik paslanmaz çeliklere oranla daha yüksek bir mukavemete sahiptirler. Bunun sebebi ise %19-28 arasında içerdikleri krom ve %5 oranındaki molibden değeridir [7]. Şekil 3.4'de Dupleks paslanmaz çelik mikro yapısı görülmektedir.



Şekil 3.4. Dupleks paslanmaz çelik mikro yapısı [18].



## BÖLÜM 4

### TALAŞLI İMALAT VE İŞLENEBİLİRLİK

#### 4.1. GİRİŞ

İmalatta amaçlanan hammadde ile işlenmiş ürün arasında dönüşüm sağlamaktadır. Birçok teknolojik yöntem belirtilen dönüşümün sağlanabilmesi için kullanılır. Talaşlı ve talaşsız olmak üzere ikiye ayrılan bu teknolojik yöntemler imal usulleri olarak adlandırılır. Bu iki grup arasında yöntem ve uygulama bakımından farklılıklar vardır. Talaş kaldırma yöntemlerinde (tornalama, frezeleme, taşlama) iş parçasının işlenmesi sırasında hammadde üzerinden talaş kaldırıldığı gibi talaşsız imalat yöntemlerinde (kaynak, döküm, dövme) hammaddeden talaş kaldırılmadan bu işlem gerçekleştirilir [19].

Birçok makine parçası talaşlı imalat tekniği kullanılarak üretildiği için ekonomik etkenler için bu teknik önemli bir etkiye sahip olmaktadır. Talaş kaldırma tekniğini ve etkileyen faktörleri geliştirmek maliyeti düşürmektir. Talaş kaldırmayı etkileyen faktörler; kesici takım, işlenen malzeme, kesme parametreleri ve tezgah durumu gibi başlıklar altında incelenmektedir. Bu faktörler içerisinde, malzemeye göre kesici takım seçimi büyük ölçüde önem arz etmektedir. Kullanılan takım malzemeye uygun olduğu takdirde üretilen malzeme sayısı artar ve verimli üretim ortamının oluşmasını sağlar [19].

Talaşlı imalat işleminde parametrelerin uygun seçilmemesi birçok istenmeyen duruma yol açabilmektedir. Bu durumlar kesici takımın kırılması, deformasyon ve hızlı aşınma gibi durumlardır. Bu durumlar ayrıca tezgahın bekleme zamanının artmasına, iş parçasının istenilen ölçülerin dışına çıkmasına ve iş kalitesinin düşmesine neden olarak yüksek maliyete yol açabilir [19].

Metal kesme işleminin sürekli olarak gelişmesini, talaşlı imalat ile alakası olan endüstri dallarından yapılan katkılar etkilemiştir. Karbon takım çeliklerinin yerine yüksek hız ve sementit karbür kesici takımlar kullanılarak kesme hızları büyük ölçüde ilerlemiştir. Bu işlem sonucunda otomatik makineler, bilgisayar kontrollü makineler kullanılarak işçilik maliyetleri aza indirgenmiştir. Takım ömrünü ve kesme hızlarını arttırmayı amaçlayan takım tasarımcıları ve talaşlı imalat uzmanları kesici takımların geometrilerini ileri seviye taşımak için çalışmalar yapmaktadır.

Bununla beraber soğutma sıvıları ve yağlayıcıların özelliklerini geliştirerek kesici takımın ömrünün ve yüzey kalitesinin artırılması hedeflenerek bu yönde çalışmalar devam etmektedir [19].

#### **4.2. TALAŞLI İMALAT**

Talaşlı imalat, üretim yöntemleri arasında çok önemli bir paya sahiptir. Talaşlı imalat işleminde iş parçasının istenilen ölçü ve boyutsal tamlığını sağlamak için fazlalıkların uygun görülen takım tezgahları (matkap, torna, freze) ve kesici uçlar vasıtasıyla talaşlar şeklinde uzaklaştırılması, planlanan boyut ve yüzey kalitesinin sağlanması işlemidir [20].

Döküm, dövme, haddeleme ve diğer şekillendirme yöntemleriyle üretilen malzemelerin hazır hale getirilebilmesi için genellikle talaşlı imalat işlemleri uygulanmaktadır. Uzay ve havacılık, otomotiv ve kalıp gibi birçok endüstriyel alanlarda çoğu ürün talaşlı imalat aşamalarından geçerek istenilen son haline ulaşır. Bu işlemlere tornalama, frezeleme, planyalama ve delme talaşlı imalat işlemlerine örnek olarak verilebilir [19].

Talaşlı imalat işlemiyle;

- Düzgün geometrik şekiller elde edilebilir. Birden fazla talaşlı imalat işlemi kullanılarak neredeyse tüm karmaşık geometrilere ulaşılabilir.

- Bir çok malzeme talaşlı imalat kullanılarak şekil alabilir. Tüm katı malzemeler işlenebilmeye uygundur. Polimer ve polimer esaslı kompozitlere de talaşlı imalat uygulanabilir.
- Talaşlı imalat ile iş parçası ölçüleri çok yakın toleranslarda ve çok iyi yüzey kalitesi elde edilebilir [21].

Talaşlı imalat işleminde üç temel kavram mevcuttur. Bunlar;

Kesme hızı (V), işlem uygulanmamış parçanın üzerindeki herhangi bir noktanın kesici takım önünde birim zamanda aldığı yoldur ve genel olarak birimi m/dk'dır.

İlerleme hızı (f), kesici takımın işlemden kullanılan hammaddenin her bir dönme hareketinde kesici takımın bu parçaya paralel bir şekilde aldığı mesafedir ve birimi mm/dev'dir.

Talaş derinliği (a), işlenen malzemeden kaldırılan talaş derinliğidir ve iş parçasına dik yönde ölçüm yapılması gerekir [19].

Talaşlı imalat işlemlerinde kesme hızı kullanılarak takım tezgahlarının iş milinin devir sayısı hesaplanır. Eşitlik 4.1 'de devir sayısı hesabı gösterilmektedir.

$$n = 1000.V\pi.d \text{ (dev/dk)}$$

V : Kesme hızı (m/dk)

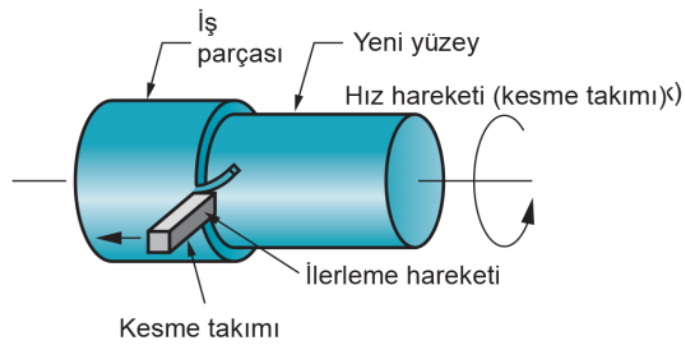
d : İşlenecek parçanın çapı (mm)

n : Torna tezgahının devir sayısı(dev/dk) (4.1)

#### 4.2.1. Tortalama

Talaşlı imalat çalışmalarında en sık olarak yapılan işlem tornalamadır. Tortalama işleminde dairesel malzemelerin işlenmesinde kullanılır. Dönen silindirik bir iş parçasının yüzeyinden tek noktali kesici ile malzeme kaldırılır. Verilen dönme hızlarında iş parçasına güç sağlanır, kesicinin belirtilen kesici ilerlemesi ve kesme derinliğinde hareket etmesini sağlar. Talaşlı imalatın gerçekleşebilmesi için iş parçası ve kesici takımın bağıl hareket oluşturması gerekmektedir. İlk hareket kesme hızı olarak ifade edilir. İş parçası torna tezgahında dev/dk cinsinden belirlenmiş olan bir

ana mil hızı ( $n$ ) ile döner. Belirtilen dönme hızı iş parçasının işlendiği noktada, işlenen çapa bağlı olarak, bir kesme hızının veya çevresel hızın ( $V_c$ - m/dk) meydana gelmesine sebep olmaktadır. İşlem esnasında takım iş parçası üzerinde yana doğru hareket etmelidir. Bu hareket ilerleme ( $f$ ) olarak ifade edilir. Devir başına düşen ilerleme miktarı ( $f$ - mm/dev) ise takımın iş parçasının bir devrinde yaptığı ilerleme olarak tanımlanmaktadır. Hız, ilerleme ve kesme derinliği toplu olarak kesme parametreleri olarak belirtilmektedir [22]. Şekil 4.1'de tornalama işlemi parametreleri şematik olarak gösterilmiştir.

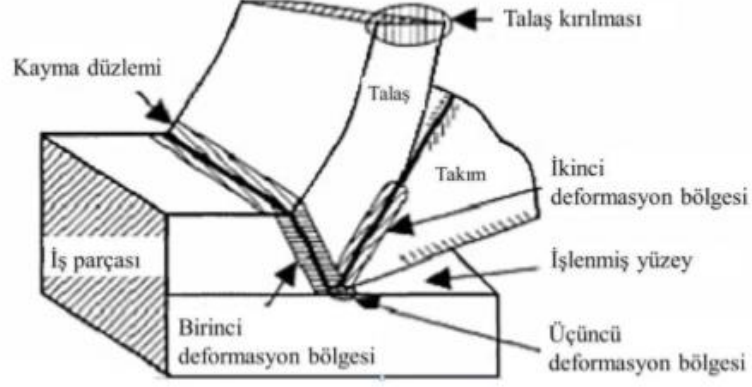


Şekil 4.1. Tornalama işlemi için parametreler [1].

### 4.3. TALAŞLI İMALAT MEKANİĞİ VE TALAŞ OLUŞUMU

İş parçası yüzeyindeki talaşlar; frezeleme , delme ve vida açma , tornalama benzeri talaşlı imalat işlemleriyle kaldırılır. Talaşlı imalat işlemleri farklı olsa da ( tornalama, frezeleme vb.) talaş oluşumu temel olarak benzerdir. Talaşın çok dar bir alandan bölgesel bir kayma işlemi yapması sonucu oluşan bölge birinci deformasyon bölgesi olarak tanımlanır. Öncelikle oluşan elastik (geçici) deformasyon ise kesici takımın iş parçası ile temasa geçmesiyle meydana gelir. Devam eden kesme sürecinde parçasının akma dayanımı geçilir ve iş parçası malzemesi kalıcı olarak şekil değiştirir. Tavlanmış iş parçası malzemesinde yüksek dislokasyon birikmesi kesici takım ile iş parçasının devam eden hareketi sonucu plastik şekil değiştirmenin devam etmesi sırasında meydana gelir. Bu biriken yüksek dislokasyonlar iş parçasında deformasyon sertleşmesinin ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. İş parçasının kaymaya maruz kaldığı durum da ise deformasyon sertleşmesinin bir doyum noktasına ulaştığı anlaşılır. Daha sonrasında kesici takım talaş yüzeyinden

deformasyona uğrayan bölge koparak talaşlar şeklinde uzaklaştırılır [23]. Şekil 4.2'de talaş oluşumu şematik olarak gösterilmiştir.



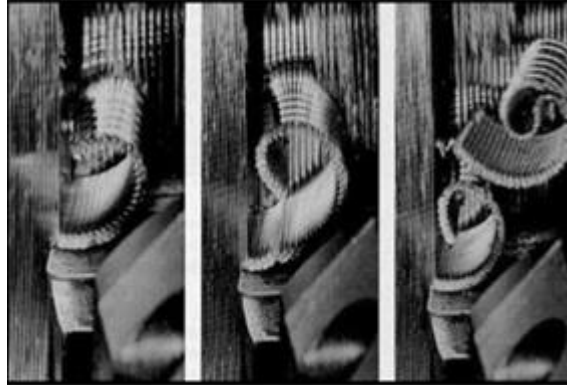
Şekil 4.2. Talaş oluşumu [23].

Talaşın oluşabilmesi için üç temel unsur bulunmaktadır. Bunlar şu şekilde ifade edilir ;

- Kullanılacak olan kesici takımların, iş parçasına göre yüksek sertlikte ve aşınmaya karşı direncinin daha fazla olmalıdır,
- Kesici uçun geometrisi talaş derinliğini ayarlayarak, ilerleme sonucu iş parçası ve takım arasındaki dalmaya uygun olmalıdır,
- Takım ve iş parçası arasında nispi hareket oluşmalı veya kesme hızı ayarlanarak yeterli bir kuvvet elde edilerek iş parçası malzemesinin direncini yenmelidir [24,25].

Talaş oluşumu ilk olarak kırılma ile başlar ve kesme verileri (özellikle ilerleme değeri ve talaş derinliği), talaş açısı, iş parçasının tipi ve koşulları, köşe radüsünün büyüklüğü gibi faktörlerden etkilenir [25].

Kaliteli bir tasarıma sahip olan kesici takımlar ile en uygun talaş kesitleri (helisel) ve belirli bir uzunluğa kadar dairesel şekiller elde edilebilir [26]. Şekil 4.3'te tipik bir talaş kırma gösterilmiştir.

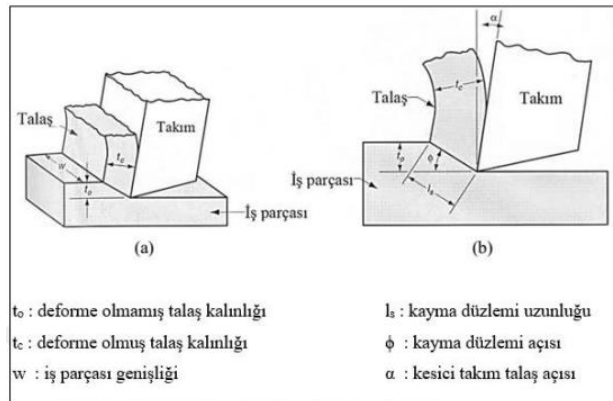


Şekil 4.3. Tipik bir talaş kırma [6].

#### 4.3.1. Dik (Ortogonal) Kesme

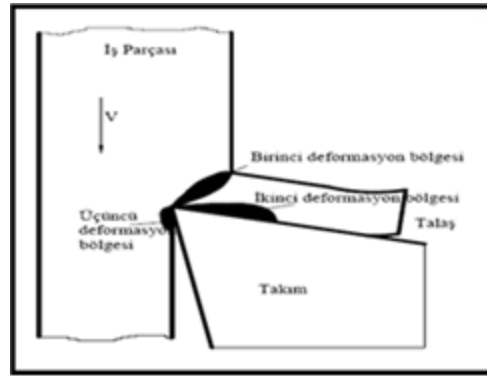
Merchant dik (ortogonal) kesme ismini taşıyan bir model oluşturarak talaş kaldırma ile ilgili ilk büyük gelişmeyi sağlamıştır. Talaş kaldırma ile ilgili fiziksel ve teorik analizler bu model örnek alınarak yapılır. Kesme ağzı kesme hız vektörüne dik olan takım; talaş yüzeyi ve serbest yüzey ile sınırlıdır.

Talaşın temas ettiği yüzey talaş yüzeyi olarak tanımlanır. İş parçasının işlenmiş yüzeyine dönük yüzey serbest yüzey olarak tanımlanır. Bu yüzeylerin kesilmesi takım ucunu oluşmasını sağlar. Şekil 4.4'te dik kesme modelinin şematik şekli görülmektedir [6].



4.4. a) İzometrik görünüş b) Önden görünüş [26].

Kesme işlemi kesme kenarı boyunca standart olacak şekilde düşünülmektedir. Şekil 4.5'te görüldüğü gibi kesme işleminde üç farklı deformasyon bölgesi bulunmaktadır. İlk kayma bölgesi, bir talaş formu oluşmasıyla başlar. Bu talaş formu iş malzemesi içerisine dalan takım kenarının hareketi sonucu meydana gelir. Malzeme kesimi sonrasında şeklindeki değişik meydana gelir. İkinci deformasyon bölgesi ise takımın talaş yüzeyindeki hareketi esnasında meydana gelir. Üçüncü bölge ise takımın yan yüzeyindeki sürtünme ile oluşur. Başlangıçta talaşın takımın yan yüzeyine yapışmasıyla burada yapışma bölgesi meydana gelir. Malzemenin kayma gerilmesi yaklaşık olarak kayma alanındaki sürtünme gerilmesine eş değerdir. Talaş yapışma olayı bittikten sonra talaş yüzeyinde talaş akma olayı başlar bunun sebebi ise sürekli kayma sürtünmesidir. Kesici takım ile talaş arasındaki temas son bulur. Deformasyon geometrisi Şekil 4.5'te ortogonal kesmenin kesitiyle gösterilmektedir [19].



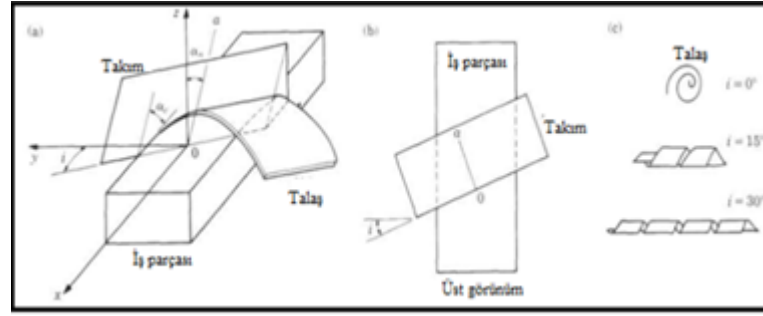
Şekil 4.5. Ortogonal kesmede oluşan deformasyon bölgeleri [6].

#### 4.3.2. Eğik (Oblique) Kesme

Talaş kaldırmada dik model ile birlikte takımın kesme kenarı kesme hız vektörüne eğik olan eğik modelde kullanılmaktadır. Takım kullanılarak parçadan kaldırılan malzemeye talaş denir. Şekil değiştirmemiş talaş derinliği ve genişliği teorik hesaplamalarda esas alınarak kullanılır. Parçadan ayrılan talaş ile teorik talaş boyutları birbirinden farklılık gösterir. Parçadan ayrılan talaş daha kısa olmakla beraber daha kısadır [6].

Merchant talaşlı imalatta kesme kuvvetleri ile ilgili ilk çalışmaları ve matematiksel ifadeleri 1940 yılında geliştirmiştir. Talaş kaldırmayı fiziksel olarak incelemiş ve talaşın nasıl meydana geldiği hakkında bilgiler öne sürmeye çalışmıştır.

Bu çalışmalar sonucunda dik bir modeli öne sürmüştür ve takımın etkisiyle beraber kaldırılması hedeflenen malzemenin ilk elastik ve sonrasında ise plastik bir şekil değiştirme gösterdiğini varsaymıştır. Bununla beraber takımın kesme yönü ile belli bir açı yapan düzlemde talaş olarak ana malzemedan ayrıldığını gözlemlemiştir [6]. Insert kesme kenarının iş parçası kesici takım hareketine açılı olması durumunda eğik (oblique) kesme olarak tanımlanmaktadır. Şekil 4.6'da eğik kesme görülmektedir.



Şekil 4.6. Eğik kesme [26].

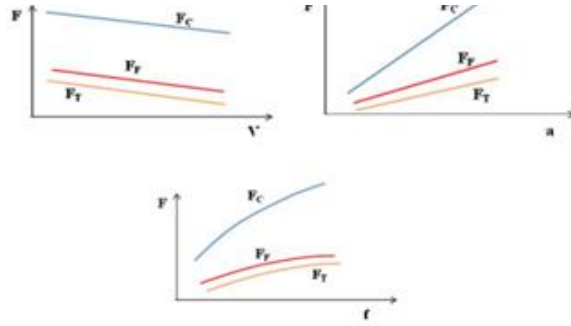
#### 4.4. TALAŞ OLUŞUMUNA ETKİ EDEN FAKTÖRLER

Kesici takımın iş parçasından daha sert olması malzeme üzerinden talaş kaldırmak için gerekli olan bir şarttır. Uygun kesme parametreleri ile iş parçasına belirli bir yük uygulanması kesicinin belirli bir kesme geometrisine sahip olmasını sağlar. İş parçasına uygulanan yük, ilerleme yönünde malzemeyi deforme etmeye çalışır. İş parçasından malzeme ayrılması için belirli bir bölgeye kadar deforme olması gerekir. Bu ayrılan malzeme talaş olarak adlandırılır. Talaş oluşumuna talaş kaldırma sırasında kullanılan kesme parametreleri doğrudan etki eder [6].

Şekil 4.7'de talaş kaldırma işleminde en etkili olan üç kesme parametrenin (ilerleme miktarı, talaş derinliği ve kesme hızı) kesme kuvvetleri üzerindeki etkisi



gösterilmektedir. Şekil 4.7'de görüldüğü gibi bu üç kuvvetten en büyüğü esas kesme kuvvetidir. Bu kuvvet kesme esnasından meydana gelir. Kesme hızının artmasıyla iş parçası birinci deformasyon bölgesinden daha hızlı bir şekilde deformasyona maruz kalır. Bu durumdan dolayı şekil değiştirme hızı da artmaktadır. Bununla kesme sıcaklığı artar. Artan kesme sıcaklığı malzemenin daha kolay kesilmesine yardımcı olur. Bu durum ise kesme kuvvetinin düşmesine sebep olur [6].

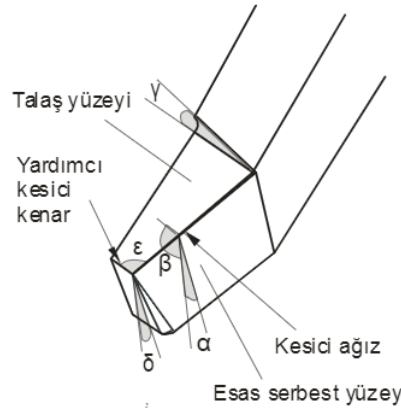


Şekil 4.7. Kesme parametrelerinin kesme kuvvetleri üzerine etkisi [1].

Artan ilerleme miktarı her üç kuvvetin birden artmasına neden olur. Bunun sebebi ise birim zamanda kaldırılan talaş hacminin çok fazla olmasıdır. Artan talaş derinliği de kaldırılan talaş kesitinin artmasına sebep olur. Bu durum kesme kuvvetlerinin artmasına neden olur [6].

#### 4.4.1. Kesici Takım Geometrisi

Kesici takımın uygun bir geometriye sahip olması, talaşlı imalatta etkin bir şekilde kesme işleminin yapılması için önemli bir faktördür. Kesici takım geometrileri talaşlı imalat işlemlerine göre daha farklıdır. Kesici takımlar tek ve çok noktadan kesme işlemi yapan takımlar olmak üzere iki başlıkta incelenir. Tüm talaşlı imalat işlemlerinde talaş oluşum olayı birbiriyle benzerlik gösterir. Bundan dolayı tek noktadan kesme işlemi yapan kesici takımlar için uygun görülen şartlar çok noktadan kesme işlemi yapan kesici takımlar içinde uygundur. Tornalama işlemlerinde genel olarak Şekil 4.8'de gösterilen tek noktadan kesme yapan kesici takımlar kullanılmaktadır [21].



Şekil 4.8. Sağ yönlü kesme işlemi yapan, sağ yan kesici takım [21,26].

İş parçası malzemesine ve takımın özelliklerine bağlı olarak kesici takımın geometrisi belirlenmektedir. Şekil 4.8'de kesici takım üzerindeki çeşitli açılar gösterilmiştir. Talaş açıları ve boşluk açıları bunların arasında en önemlileridir. Malzemenin kesilmesi sırasında oluşan kayma ile talaş oluşumu talaş açlarına bağlıdır. Bu açılar pozitif ya da negatif olabilir. Pozitif açılar kesme kuvvetlerini düşürür ve işlenen malzemede, kesici takımda ve takım tezgahında daha az bir sapmaya sebep neden olmaktadır. Sert iş parçalarının işlenmesinde talaş açılarının küçük olması gerekmektedir. Karbür, sementit, seramik ve elmas kesici takımlarda ise negatif olması daha uygundur. Genellikle sertlik derecesi fazla olan parçaları işlerken kullanılan kesici takımların talaş açısının daha düşük olması gerekir. Yüksek hız çelikleri, kesici takımların talaş açlarına, kesici takım tipine (tornalama, frezeleme ve vargelleme gibi) ve iş parçası malzemesine uygun olarak pozitif belirlenmelidir [19].

Genel olarak, talaşlı imalat işlemlerinde güç tüketimi her bir derece talaş açısı için yaklaşık olarak %1 azalır. Kesici takımın dayanımını ve ısı iletme kabiliyetini ise kama açısı (90, talaş açısı, boşluk açısı), belirler.

Takım ömrüne ve iş parçası yüzey kalitesine ise boşluk kaliteleri etki eder. Büyük boşluk açıları, kesici takımdaki ve iş parçasındaki sapmaları (eğilmeleri) azaltmak için önemli bir yere sahiptir. Yüksek hız çeliği için 5-10 derece arasındaki boşluk

açıları normal kabul edilir. Küçük değerler ise sert malzemelerde tercih edilir. Küçük boşluk açıları , sementit karbürlerde dayanımı artırmak için gereklidir [25].

#### 4.4.2. Kesme Hızı

Torna tezgahında kesme hızı (V) , işlem uygulanmamış parçanın üzerindeki herhangi bir noktanın kesici takım önünde birim zamanda aldığı yol olarak açıklanır. Genellikle m/dk olarak tanımlanır [25] .Kesme hızının hesaplanması Eşitlik 4.2’de verilmiştir.

$$V = \frac{\pi .d .n}{1000}(\text{m/dk})$$

V : Kesme hızı (m/dk)

d : İşlenecek parçanın çapı(mm)

n : Torna tezgahının devir sayısı (dev/dk) (4.2)

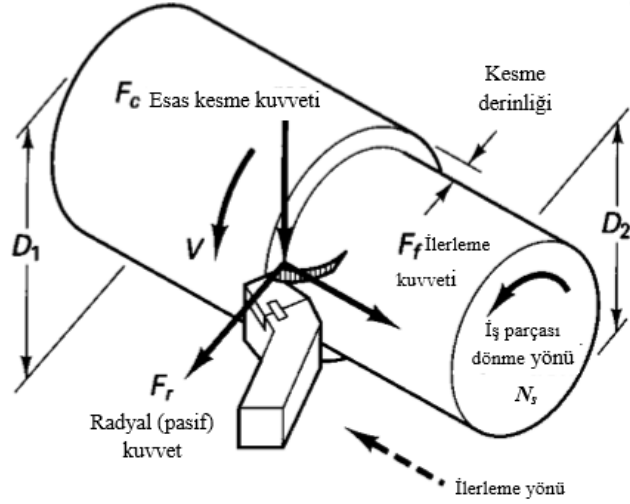
Kesme hızı, iki kesme konumunun dış çapına göre ayarlanır. Kesme hızları ideal seçilmelidir. Kesme hızı çok düşük seçilirse, daha az iş parçası üretilir ve düşük hızlarda takım ucunda talaş sıvanması oluşur. Bu durum oluşursa takımın değişmesi gerekir [6].

Kesme hızı çok yüksek olursa da takım hızla bozulur ve sıklıkla takımın değişmesi gerekir. Bu sebeplerden dolayı takım ömrü ve kesme hızı talaş kaldırma işlemi yapılırken, talaş kaldırma miktarını dengeleyecek şekilde ayarlanmalıdır [6].

Sıcaklığın oluşmasını etkileyen etkenlerden en önemlisi kesme hızının büyümesidir bu durum sıcaklığın önemli bir derecede artmasını sağlar. Diğer etkenler ise iş parçası malzemesi, kesme sıvısı, kesme derinliği, ilerleme miktarı ve takım geometrisidir. Sertliklerini sertleştirme yolu ile kazanan takımların kesme hızları belirli bir limite dayanır. Kesme sıvısı kullanılması, sıcaklığın azalmasına ve daha büyük kesme hızları kullanmasına olanak sağlar [26,27].

#### 4.4.3. Kesme Kuvveti ve Kesme Gücü

Kesici takımın ömrü, oluşan ısı, işlenmiş malzemenin yüzey kalitesi bunların yanında iş parçasının boyutları üzerinden talaş kaldırma işlemi esnasında oluşan kesme kuvvetleri önemli bir rol oynar. Kesme kuvvetleri bununla beraber gerekli bağlama kalıplarının tasarımında, kesici takımlarda ve takım tezgahlarında kullanılmaktadır [28]. Şekil 4.9'da tornalama işleminde kesme kuvvetlerinin şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.9. Tornalama işleminde kesme kuvvetleri [28].

Üç tane kesme kuvveti bileşeni vardır. Bunlar ;

- Esas kesme kuvveti( $F_c$ ): Etkisi kesme hızı yönündedir. Metal kesmek için kullanılan kuvvetin yaklaşık %99'unu karşıladığı için en büyük kuvvettir.
- İlerleme kuvveti ( $F_f$ ): Etkisi kesici takımın ilerlemesi yönündedir. Kesme kuvvetinin yaklaşık olarak %50'si kadarıdır.
- Radyal kuvvet ( $F_r$ ): İşlenmiş olan yüzeylere dik etki eder. İlerleme kuvvetinin yaklaşık olarak %50'sine karşılık gelir [28].

#### 4.4.4. Takım Ömrü

Kesici takımın kesme işlemine başlamasından kesme işlemi etkin olarak yapamayacak hale gelinceye kadar geçen süre takım ömrü olarak adlandırılır [25].

Kesme kuvveti ve bağıl hareket talaş oluşumu için çok önemlidir. Hareket, kuvvet ve ısı etkisiyle oluşan sürtünme artışı sağlar. Takımlar ömürlerinin sonuna gelinceye kadar talaş kaldırma işlemi esnasında aşınırlar. Kesici takımın ömrü her zaman bellidir. Talaş yüzeyindeki ve serbest yüzeydeki aşınma kesici takımın kırılmasına sebep olabilir. Takım ömrü kriterleri genellikle takım aşınmasına göre belirlenir. Takım malzemesi ve kesme geometrisi seçimi çok önemli bir tutmaktadır. Fakat doğru takım seçilse bile özellikle kesme verileri ve işlemin rijitliğiyle ilgili koşullar olağan dışı ise takım ömründe uygunluk sağlanamaz [26].

Bağlama elemanlarının rijit olmaması ve titreşimler birçok kesici kenarın ömrünü hesaplanan süreden önce tamamlamasına sebep olur [26]. Takım ömrü aşağıda belirtilen etkenlere göre değişir.

- İş parçası ve takım bağlama aparatlarının rijitliği,
- Takım tezgahındaki titreşimler,
- Kesme hızı,
- Kesme sıvısı,
- Talaş derinliği,
- İş malzemesi,
- Takım geometrisi,
- İlerleme hızı [26].

#### 4.4.5. Talaş Derinliği ve İlerleme Miktarı

Talaş kaldırma işlemi etkileyen diğer önemli etkenlerde kesme derinliği (a) ve ilerleme değeri (f)'dir. Kesme işlemi mekaniği yani takım ömrü açısından değerlendirme yapıldığında; talaş kaldırma miktarıyla bitirilmemiş iş parçasından kaldırılan malzeme miktarı birbirine eşittir. Bunlardan herhangi biri değiştirildiğinde

talaş kaldırma miktarı da değişir .Bütün değerdeki değişiklikler, kesici takım ömrüne ayrı olarak yansır [26,27].

Düşük ilerleme ve en derin talaş değerleri seçilerek en uygun f ve a oluşturulur. Bu değerlerin takım ömrüne etkisi takım ömrüne kıyasla daha azdır. Talaş kaldırma miktarını ve kesici takım ömrünü en uygun f değeri dengede tutar [26,27].

1. Talaş kaldırma yöntemi,
  - Kaba talaş kaldırma,
  - İnce talaş kaldırma,
2. Malzeme çifti,
  - Kesici aletin cinsi,
  - Kesilecek malzemenin cinsi,
3. Kesme hızı,
4. Kesme oranı,
5. Talaş derinliği,
6. Tezgahın gücü ve kapasitesi,
7. Fener (iş) mili devir sayısı,
8. İş parçasının fiziksel durumu ve ölçüleri,
9. İş parçasının bağlama tarzı,
10. Kesici aletin fiziksel durumu ve bağlama tarzı [6].

## **4.5. KESİCİ TAKIMLAR**

### **4.5.1. Kesici Takım Malzemeleri**

Talaşlı imalatın maliyetinin düşük, ürün kalitesinin iyi olabilmesi için kullanılan kesici takım önemli bir faktördür. Bundan dolayı kesici takım keskinliğini uzun bir süre korumalı, kesme hızının ilerleme miktarının ve talaş derinliğinin fazla olması gerekmektedir.

Takımların, kesme işlemlerini aktif biçimde yapabilmeleri için talaşlı imalat işlemi sırasındaki yüksek gerilme, sıcaklık ve sürtünme etkilerine uzun süre dayanabilmelidirler [29].

Talaşlı imalat sırasında oluşan gerilmeler ile yüksek sıcaklık sonucu kesici takımın etkili olarak daha fazla kesme işlemi yapabilmesi için kesici takım malzemelerinin aşağıda belirtilen kriterlerin olması gerekmektedir [21,30].

- Yüksek sertlik,
- Yüksek tokluk,
- İş parçası ile kimyasal tepkime oluşturmaması,
- Kimyasal- oksidasyon çözünmeye kararlılığı,
- Isıl şok etkenlerine direnci [21].

#### **4.5.1.1. Yüksek Hız Çeliği**

Diğer bir çok çelik çeşidine göre aşırı fazla sıcaklıklarda sertliklerini koruyabilmektedirler. Bu hız çelikleri yüksek alaşımli takım çeliği olmakla birlikte matkap, freze çakıları, kılavuzlar gibi karmaşık geometriye sahip kesicilerin imalatında kullanılmaktadır [31,32].

Bu kesici takımlar, diğer kesici takımlarla kıyaslanıldığında daha iyi tokluk gösterirler. Taşlama operasyonu ile elde edilmek istenen şekillere kolay bir şekilde oluşturulmaları sayesinde, tek noktadan kesme işlemi yapan kesici takım olarak tercih edilirler [21,30].

#### **4.5.1.2. Sementit Karbür Kesici Takımlar**

Sementit karbür kesiciler, çok yüksek sertlik ve yüksek basma mukavemetli bir kitle oluşturacak şekilde bir metal veya demir alaşım grubu ile çok ince taneli metal karbür partiküllerinden meydana gelirler. Bu takım toz metalurjisi yöntemiyle üretilir. Proses esasen tungsten, titanyum veya tantalyum karbür tozlarının

hazırlanmasını kapsar. Bu tozlardan bağlayıcı ile bir araya getirilir. Nadiren nikel ve demirin dışında genel olarak kobalt bağlayıcı metal olarak kullanılır [19].

Sert karbür parçacıkları sebebiyle dökme demir ve çelik dışı metallerin işlenmesinde yüksek hız çeliğinden daha yüksek kesme hızlarında etkin bir şekilde kullanılmaktadır [21,30].

#### **4.5.1.3. Kaplamalı Sementit Karbür**

Talaşlı imalat endüstrisinde kaplamalı kesici takımlar yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Şuan kullandığımız sementit karbür kesici takımların % 75' ini kaplamalar oluşturmaktadır. Kaplama yapılan kesici takımın ömrü iki kat ya da daha fazla artırılabilir [19].

$Al_2O_3$  ya da TiN, TiC gibi aşınmaya dayanıklı malzemeleri sementit karbürlerin kaplamasında kullanmak kesici takımlarla alakalı çok önemli bir gelişmedir. Kesici takımı yukarıda belirtilen malzemelerle kaplamak performansını olumlu yönde artırmıştır [21,30].

#### **4.5.1.4. Sermetler**

Sermetler, seramik (ser) ve metal (met) malzemelerinden oluşmuş bir kompozit yapıdır. Sementit karbür gibi toz metalurjisi, tekniği kullanılarak üretilmektedir. Yüksek aşınma ve korozyona karşı gösterdiği direnç sebebiyle tungsten karbür (WC) yerine testere ve diğer taşlama cihazlarında tercih edilmektedir. Sermetler aşınma ve sürtünmeye dayanıklı olup yığıntı talaş oluşturma eğilimi azdır. Bunlara ek olarak kimyasal kararlılığın yüksek olduğunun bilinmesiyle birlikte oksitlenmeye yönelik eğilimi çok düşüktür [33].

Bu takımlar sementit karbür kesicilere göre daha yüksek hızlarda kullanılmaktadır. Düşük ilerleme değerinde yüzey kalitesi daha iyi olduğundan dolayı taşlama işlemine gerek duyulmaz [33].



#### **4.5.1.5. Seramik**

Seramik kesici takımlar esas olarak oksitli ( $Al_2O_3$ ) ve oksitsiz ( $Si_3N_4$ ) olmak üzere iki gruba ayrılır. Seramikler çok kırılğan olmakla birlikte yüksek sıcaklıklara dayanım gösterirler. Metal malzemelerden daha hafif ve daha ucuz olmalarına rağmen sertlikleri çok fazla olabilir.

Seramiklerin kimyasal kararlılıkları çok yüksektir ve erozyon, aşınma gibi olaylara dayanıklıdır. Oksitlenmeye karşı dirençleri çok fazladır. Bu özelliklerin yanında gevreklik gibi bir dezavantajı vardır [19].

#### **4.5.1.6. Çok Sert Kesici Takımlar**

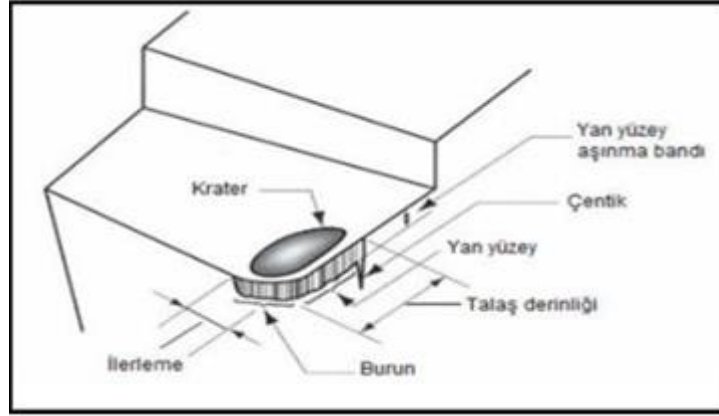
Doğal elmas (tek kristalli), çok kristalli elmas (PCD) ve kübik bor nitrür (CBN) çok sert kesici takımlardır. Yüksek sertliği ve aşınma direnci, düşük sürtünme katsayısı ve genişleme katsayısı, ısıl şok direncini artıran yüksek iletkenliği, iyi uç keskinliği tek kristalli elması takım malzemesi olarak kullanım alanlarını arttırmıştır [21,30].

Elmas kesici takımlar yüksek sertliklerinden dolayı karbür ve seramik kesici takımlardan, aşınma direnci abrasiv aşınma mekanizmasının hakim olduğu yerlerde çok daha yüksektir [21,30].

### **4.6. TAKIM AŞINMASI**

#### **4.6.1. Aşınma**

Aşınma, katı cisimlerin birbiriyle etkileşimde olan kısımları arasındaki malzeme kaybıdır ve aşınma sonucu malzemenin ilk şekline göre yüzeyinde bozulmalar oluşur. Tüm kesici takımlar takım ömrünü tamamlayana kadar aşınırlar. Bu aşınmalardan dolayı meydana gelen malzeme kaybı kesme özelliğinin azalmasına hatta tamamen yok olmasına neden olabilir. Kesici takım; kırılma, plastik deformasyon ve tedrici takım aşınması sonucu kesme kabiliyetini yitirir [19,32]. Şekil 4.10'da kesici takımda oluşan aşınmalar görülmektedir .



Şekil 4.10. Kesici yan kenarda meydana gelen aşınmalar [1].

Talaş kaldırma işleminde kesici yan kenar aşınmasının anlaşılabilmesi için aşağıda bahsi geçen durumlardan biri veya birkaçının gözlenmesi gerekmektedir [26,27].

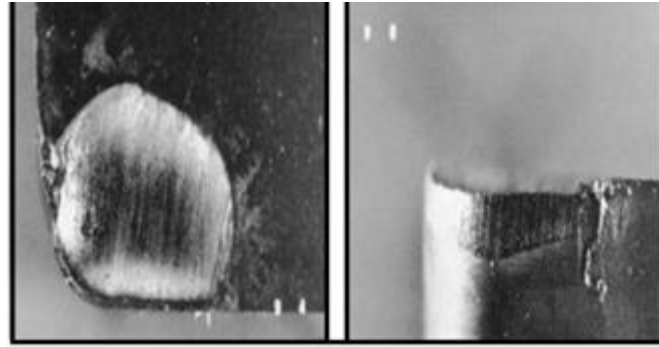
- Kesme kuvvetlerinin fazla yüklenmesi,
- Sıcaklık artışı,
- Titreşimin çok fazla artması,
- Gürültünün artması,
- İşlenen malzemelerin boyutlarında değişimin olması,
- İşlenen yüzeyin bozulması,

Kesici takım; kırılma, plastik deformasyon ve tedrici takım aşınması sonucunda kesme yeteneğini kaybeder.

- Kırılma: Kesici takıma anlık gelen yüksek kuvvetlerden dolayı meydana gelen kırılmalar ya da kesme işleminin (frezeleme işlemi gibi) sürekli olmamasından dolayı mekanik ve ısıl yorulmalar sonrasında oluşan kırılma, pullanma soyulmalar şeklinde meydana gelmektedir [14].
- Plastik deformasyon: Yüksek basınç ve sıcaklık etkisiyle kesici takımda meydana gelir. Plastik deformasyon sonrasında kesici takımda değişiklikler meydana geldiği için kesici takım görevini düzgün bir şekilde gerçekleştiremez [14].

- Sıcaklık yükselir ve talaş akışında değişiklikler meydana gelir. Kesici takımların sıcak sertlik özelliklerinin yüksek oldukları durumlarda plastik deformasyona karşı direnç gösterdikleri bilinmektedir. Plastik deformasyon direncinin artırılabilmesi için uç yarıçapı ve kesme geometrisi iyileştirilebilir [14].
- Tedrici takım aşınması: Takımda oluşan tedrici aşınmalar yan ve talaş yüzeyi aşınmaları olarak iki kısımda meydana gelmektedir. Yan yüzeydeki aşınma da “yan yüzey (yanak) aşınması” ve talaş yüzeyindeki aşınma “krater aşınması” şeklinde bilinmektedir [14].

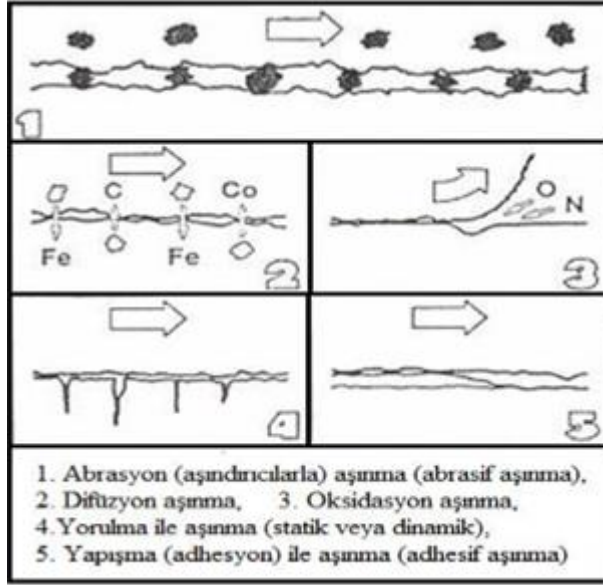
Şekil 4.11'de bazı aşınma tipleri ve Şekil 4.12'de kesici takım aşınma mekanizmaları gösterilmiştir .



a) Krater aşınması      b) Yan yüzey aşınması

Şekil 4.11. Kesici takım aşınması türleri [1].

Bazı temel aşınma mekanizmaları metalden talaş kaldırma işleminde çok önemli bir yere sahiptir. Bunlar; abrazyon aşınması, difüzyon aşınması, oksidasyon aşınması, yorulma ile aşınma ve yapışma ile aşınma olarak bilinmektedir [33,34].

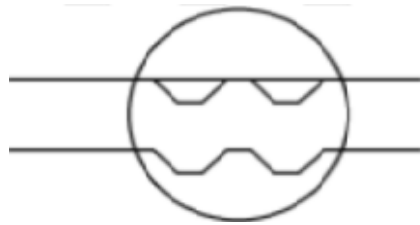


Şekil 4.12. Metallerin işlenmesi sırasındaki temel aşınma mekanizmaları [33].

## 4.6.2. Takım Aşınma Türleri

### 4.6.2.1. Adhezyon (Yapışma) Aşınması

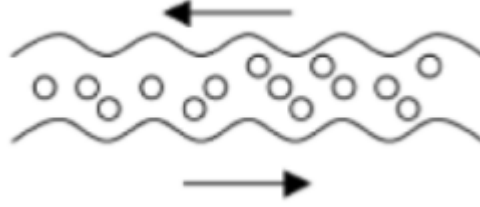
Kesici takımın kenarında oluşan yapışma aşınması, kesici takım ve iş parçasının birbirine değdiği yerlerde oluşan mikro kaynakların, kesici takımın hareketinin sonrasında kırılmasının bir sonucu olarak meydana gelmektedir. Adhezyon aşınmasında kesme esnasında oluşan talaşın veya küçük parçacıkların, kesme takımına yapışmasına sebep olmaktadır [34,35,36]. Şekil 4.13’de adhezyon aşınmasının meydana gelişi gösterilmiştir.



Şekil 4.13. Adhezyon aşınması [1].

#### 4.6.2.2. Abrazyon (Sürtünme) Aşınması

Abrazyon aşınması diğer bir adıyla sürtünme aşınması, talaş altındaki sert parçacıkların takım yüzeyi ile iş parçası arasında taşlamaya sebep olarak kesici takımda oluşturduğu aşınma veya iki yumuşak yüzey arasına sert parçacıkların girmesi sebebiyle sürtünmeden dolayı oluşan aşınma tipidir. Çoğu zaman takım ömrü kriteri olarak kullanılan serbest yüzey aşınmasının, çentik aşınmasının ve burun yarıçapı aşınmasının bir kaynağı olarak gerçekleşmektedir [34,35,36]. Şekil 4.14'te abrazyon aşınmasının meydana gelişi gösterilmiştir .



Şekil 4.14. Abrazyon (sürtünme) aşınması [1].

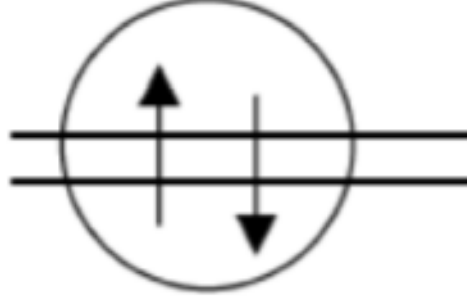
#### 4.6.2.3. Difüzyon Aşınması

İşleme esnasında, kesici takım ve iş parçasının birbirine temas eden yüzeylerinde oluşan sıcaklık ve basıncın etkisi sonucu kimyasal reaksiyonla birbirini aşındırması difüzyon aşınma mekanizması olarak tanımlanmaktadır [34,35,36].

İşleme esnasında yüksek sıcaklıklardan ve basınçtan dolayı, kesici takım ve iş parçası malzemesinin atomları karşılıklı olarak birbirleri üzerine nüfuz ederler veya talaş malzemesiyle katı bir çözelti meydana getirirler. Bu işlem, iki malzeme arasında ara yüzeyde ya iş parçasının atomlarının difüzyona uğraması ya da takımın yüzey katmanıyla reaksiyon bölgesinde meydana gelerek takım yüzeyini zayıflatır ve takımın talaş yüzeyinde krater aşınmasının meydana gelmesine neden olur [34,35,36].

Difüzyon aşınma hızı, takım malzemesinin iş malzemesi içinde çözülme kabiliyetine ve yüksek sıcaklıkta takım ile talaş arasındaki temas süresine bağlı olmaktadır.

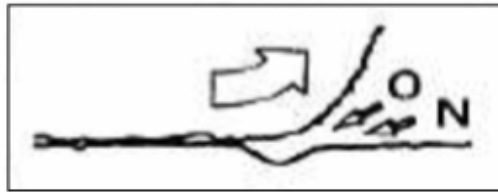
Difüzyon aşınma hızı, kesme hızına bağlı olarak artan kesme sıcaklığının, üssü olarak artar. Şekil 4.15'te difüzyon aşınmasının meydana gelişi gösterilmiştir .



Şekil 4.15. Difüzyon aşınması [1].

#### 4.6.2.4. Oksidasyon Aşınması

Atmosferde bulunan oksijenle tepkime gösteren takım bileşenlerinin üzerinde oksit tabakası meydana gelir. Bu oksit tabaka, kesme işlemi esnasında kopar ve kesici takımda aşınmaya neden olur. Neden olan bu aşınma oksidasyon aşınma olarak tanımlanır. Bu aşınmanın görüldüğü bölgeler sıklıkla kesici takımın üzerinde talaşla doğrudan temasta olmayan yüzeylerde oluşmaktadır. İş parçasının oksidasyonla aşınması nedeniyle oluşan sert oksit parçacıklar, abrazyon aşınmasına yol açar. Şekil 4.16'da oksidasyon aşınmasının meydana gelişi gösterilmiştir [36].



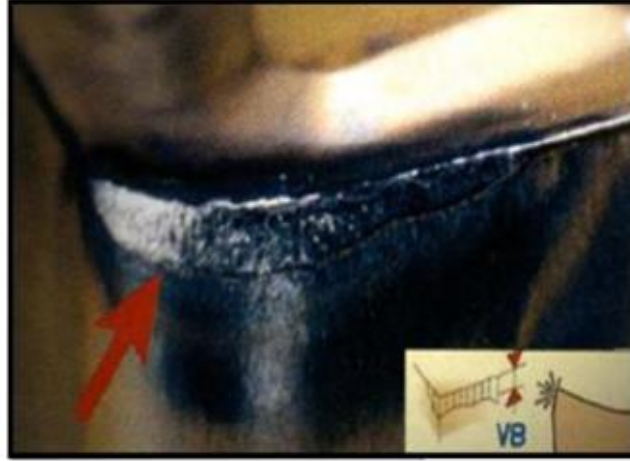
Şekil 4.16. Oksidasyon aşınması [37].

#### 4.6.2.5. Yorulma Aşınması

Yorulma talaş kaldırma işlemi esnasında meydana gelen termik ve mekanik olayların etkisi ile oluşan bir çok bozulma olayını içermektedir. Sıcaklığın değişmesi ve ara verilerek yapılan kesme işleminde kesici ucun ısınması ve soğuması sonucu oluşan



Serbest yüzeyde aşınma çoğaldıkça, kesme kuvveti artacak, kesme sırasında oluşan ısı da artacağı için ortaya kötü bir yüzey kalitesi meydana gelecektir. Bu yüzden yan kenar aşınmasının daha hızlı bir şekilde oluşmasından kaçınılmalıdır [1]. Şekil 4.18'de kesici takımda talaş kaldırma sonrası meydana gelen yan kenar aşınması görülmektedir .



Şekil 4.18. Yan kenar aşınması [40].

#### 4.6.3.2. Krater Aşınması

Krater aşınmasındaki en önemli etken kesici takım ve sıcaklık ile iş parçasının birbirlerine karşı olan kimyasal ilgileridir. Bu etkinin yanı sıra yan yüzey aşınmasına neden olan etkenler krater aşınmasına da neden olmaktadır. Sık görülmemekle birlikte yüksek hızlarda kaymaya maruz kalmakla birlikte, talaş yüzeyi yüksek seviyelerde sıcaklık ve gerilmeye maruz kalmaktadır. Talaş yüzeyinde krater aşınmasının en fazla olduğu yer sıcaklığın en yüksek olduğu bölgeye tekabül etmektedir [25].

Sıcaklığın krater aşınmasına etkisi difüzyon (kesici takım ve talaş ara yüzeyi boyunca atomların hareketi) mekanizması şeklinde tanımlanmaktadır. Difüzyon, kullanılan kesici takım ve iş parçası malzemelerine, sıcaklık, basınç ve zamana bağlıdır. Kesici takım ve iş parçası arasındaki ilgi, sıcaklık, basınç ve zamanın artmasıyla difüzyon hızı artarak krater aşınması da artar. Kesme hızı arttıkça, artan sıcaklık nedeniyle krater aşınması ve kesici ucun plastik deformasyonu



gerçekleşmektedir [25]. Şekil 4.19'da kesici takımda talaş kaldırma sonrası meydana gelen krater aşınması görülmektedir.



Şekil 4.19. Krater aşınması [40].

#### 4.6.3.3. Plastik Deformasyon

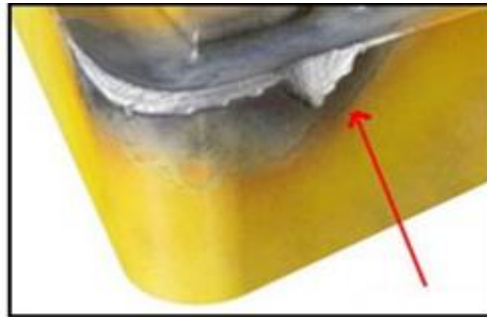
Yüksek basınç ve yüksek sıcaklığın birleşimi plastik deformasyonu ortaya çıkarır. Kesme kenarların deformasyonu genellikle yüksek ilerleme hızlarında, kesme kenar kuvvetlerinde veya takım sertliğinin artmakta olan kesme hızı ve sıcaklıkla birlikte azaldığı yüksek kesme hızlarında meydana gelir. Kesme kenarlarında meydana gelen aşırı deformasyon boyutsal doğruluğunda azalmasına neden olurken, kötü bir yüzey kalitesine, serbest yüzey aşınmasına veya kesici takımın kırılmasına neden olabilmektedir. Takımın bu şekilde deformasyona uğraması ise daha fazla sıcaklık oluşumu ile kesici takım geometrisinin deformasyonuna ve talaş akışının değişmesine neden olmaktadır [41]. Şekil 4.20'de kesici takımında talaş kaldırma sonrası meydana gelen plastik deformasyon görülmektedir .



Şekil 4.20. Plastik deformasyon [40].

#### 4.6.3.4. Çentik Aşınması

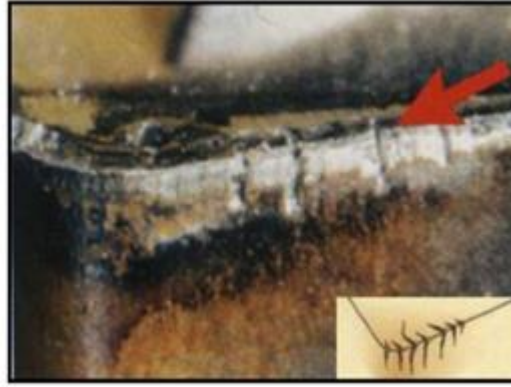
Bu aşınma biçimi yan yüzey aşınması ve bunun yanında, iş parçası yüzeyiyle kesişen ana kesici kenardaki noktaya bitişik bölgede oluşan aşınma durumunda oluşabilen bir aşınma şeklidir. Tahmini sebebi kırılğan kesici takım kullanılması, zayıf kesici takım geometrisi ya da köşede oluşan sıvanmalardır. Kenar üzerinde derin oyuk, kanal, derin çukur şeklinde belirtiler görülüyorsa bu durum iş parçası üzerinde sert veya aşındırıcı bir bölge olduğunun belirtisidir. Bu aşındırıcı bölge, dövme kalıplama veya sıcak şekillendirme sonucunda oluşmuş bir bölge olabilir. Tornalamada iş parçasının yüzeyinde mekanik yüklenmeler sonucunda gereksiz ve olağanın dışında sertleşmeler olması muhtemeldir. Bu sebeple başlangıçta sert tabaka veya kaplanmış yüzey olarak isimlendirilen tabakadan toz talaş adını verdiğimiz bir miktar talaş kaldırılması ve alttaki temiz beklenen sertlikteki tabakaya ulaşılması gereklidir [41]. Şekil 4.21'de kesici takımında talaş kaldırma sonrası meydana gelen çentik aşınması görülmektedir.



Şekil 4.21. Çentik aşınması [40].

#### 4.6.3.5. Termal Çatlaklar

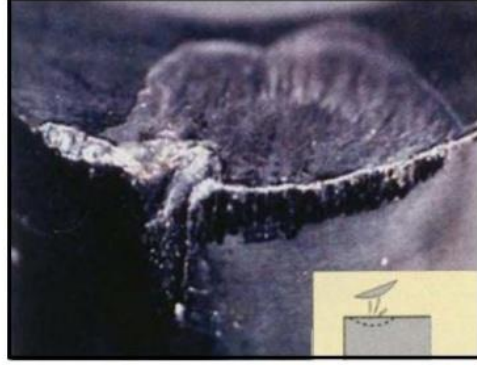
Genel olarak ısı değişkenlerinden kaynaklanan yorulmalara termal çatlaklar ismi verilir. Bu aşınmalara oluşan sıcaklık değişimleri neden olmaktadır. Kesici takımın kenarına dik olacak şekilde gerçekleşir ve aradaki takımın malzemesi de kesici takımın kenardan koparak ayrılmaktadır. Bu da takımın kırılma olasılığını artırır ve kesici kenar bozulmasına neden olur. Yüksek kesme hızında, büyük hacimde talaş kaldırılması bu aşınma tipinin oluşmasında rol alır. Aşınmaya dayanıklı (termal şoklara dayanıklı) kesici uç seçilmesi, pozitif açılı takım kullanılması, kesici ucun köşe radyüsünün artırılması, kesme hızı, ilerleme miktarının ve kesme derinliklerinin azaltılmasıyla aşınma önlenebilir [41]. Şekil 4.22’de kesici takımda talaş kaldırma sonrası meydana gelen termal çatlaklar görülmektedir.



Şekil 4.22. Termal çatlaklar [40].

#### 4.6.3.6. Mekanik Yorulma Kırılmaları

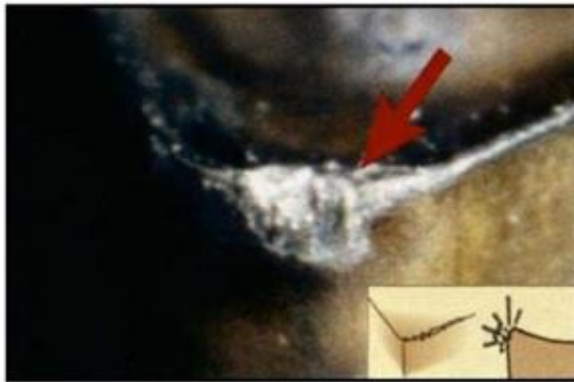
Mekanik yorulma kırılmaları kesme kuvvetlerindeki anlık değişimlerin sonucunda meydana gelmektedir. Mekanik yükün kendi başına çatlak oluşturacak büyüklükte olmamasına rağmen mekanik yükteki sürekli değişim çatlak oluşturur. Kesmenin başlangıcında ve kesme kuvvetinin büyüklüğü ve yönündeki değişimler kesici ucun mukavemetinden ve tokluğundan fazla olduğunda bu tip aşınma görülmektedir [42,43]. Şekil 4.23’te kesici takımda talaş kaldırma sonrası meydana gelen mekanik yorulma kırılmaları görülmektedir.



Şekil 4.23. Mekanik yorulmadan kaynaklanan kırılmalar [40].

#### 4.6.3.7. Çıtlama (Tanecik Kopması)

Kesici takımın kenarında oluşan çentikler, aşınmanın aksine çok kesici kenardaki küçük boyutlardaki kırılmalar olarak görülmektedir. Kesici kenardaki mekanik gerilmeler fazla ise ve uç aşırı bir şekilde sıcaklık değişimlerine uğruyorsa, ucun kesici kenarında küçük parçalar halinde kopmalar görülecektir. Bu durumun önüne geçmek için, daha esnek bir sert metal seçilmesi, büyük uç yarıçapı kullanılması, kesme hızı ve ilerleme miktarının artırılması, kesme derinliğinin artırılması, daha rijit takım kullanılması, profil takım geometrisi seçilmesi gibi yollar denenmelidir [1]. Şekil 4.24'te kesici takımda talaş kaldırma sonrası meydana gelen tanecik kopması görülmektedir .



Şekil 4.24. Çıtlamanın oluşumu [40].

#### 4.6.3.8. Kırılma

Kesici kenarın görevinin sona ermesi kırılma olarak adlandırılır. Daha önce meydana gelmiş şişkinlik kırılmanın en büyük tehdidi olarak görülerek imkanlar zorlanarak bu durumdan kaçınılması gerekir. Bu aşınma genel olarak diğer aşınma türlerinin en son bölümüdür. Kesici takımının kesmekte olan kenar dayanımının azalması, geometrisinin değişiklikler göstermesi, kuvvet ve sıcaklığın yükselmesi çok sayıda sorunların gerçekleşmesine neden olmaktadır. Takım malzemesinde oluşan farklı gerilmeler gevrek kırılmaya sebep olur bununla birlikte kesme değerlerinin de normalin üzerinde olması ya da iş parçasının malzemesinden kaynaklanan ani kırılmalarda bunun sonucudur [6]. Şekil 4.25'te kesici takımda talaş kaldırma sonrası meydana gelen kırılmalar görülmektedir.



Şekil 4.25. Kırılma [40].

#### 4.6.3.9. Yapışma

Kesici takım üzerinde iş parçası malzemesinin katmanlar şeklinde tedrici olarak birikmesi ile yapışma şeklinde meydana gelen yığıntı talaşa (BUE) denir. Talaş kaldırma işlemi sırasında kesici takımın ucunda meydana gelir. Çoğunlukla BUE'nin bir kısmı, kesici takıma temas eden talaş yüzeyi ile uzaklaştırılır kalan kısmı da iş parçası yüzeyinde kalır. BUE'yi azaltmak için önlem alınmadıkça BUE oluşumu ve kırılması işleme esnasında sürekli olarak tekrarlanır [25]. Şekil 4.26'da kesici takımda talaş kaldırma sonrası meydana gelen yığılma görülmektedir.



Şekil 4.26. Yapışma ve BUE oluşumu [40].

Talaşlı imalat işlemlerinde BUE çoğunlukla görülür. BUE işlenen yüzeyi kötü yönde etkilemekle birlikte kesici ucun geometrisini değiştirerek kaba bir bitirme yüzeyine neden olur.

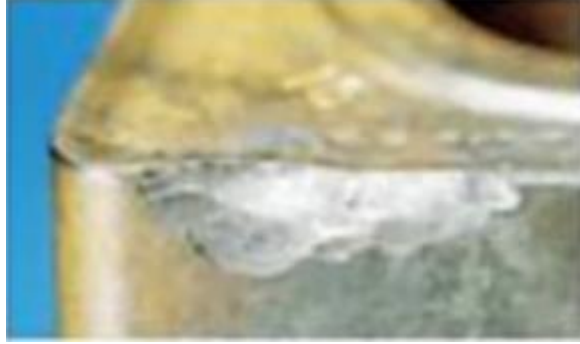
Deformasyon sertleşmesi ve katmanların birikmesi sonucu oluşan BUE'nin sert olması iş parçası malzemesine göre çok daha önemlidir. Kesme hızı arttıkça BUE küçülür ve oluşumu ortadan kalkabilir. BUE oluşumunu engellemek veya azaltabilmek için aşağıdaki önlemler alınabilir.

- Talaş derinliği azaltılarak,
- Talaş açısı arttırılarak,
- Keskin bir takım kullanılarak,
- Etkin bir soğutma sıvısı kullanılarak [25].

#### 4.6.3.0. Talaş Vurması

Talaş vurması tok veya abrasiv talaş oluşumuna sebep olan malzemelerin seramik takımlarla işlenmesi durumunda ortaya çıkmaktadır. Talaş vurması, talaş geriye doğru kıvrıldığında ve kesme kenarından uzakta takım yüzeyine temas ettiği durumlarda meydana gelir. Sonrasında takım yüzeylerinde küçük çukurlar meydana gelir, devamı durumunda takımın hasar görmesinin sebebidir. Doğru olmayan talaş kontrolü bu durumun ortaya çıkmasına sebep olur. Talaş akış yönünü değiştirmek için, ilerleme miktarı, dalma açısı, kesme derinliği veya takım burun yarıçapı

değiştirilerek talaş vurması ortadan kaldırılabilir [36]. Şekil 4.27'de talaş vurması sonucu kesici takım aşınması gösterilmektedir.



Şekil 4.27. Talaş vurması [40].

#### 4.7. TAKIM AŞINMA KONTROLÜ

Bir takımın yararlı çalışma süresi, kesici ucun iş parçası üzerinde kaldığı toplam zamandır. Bu zaman zarfında uçta meydana gelen aşınmaların kontrol edilmesi ile takım ömrünün azalması ölçülerde sapmaların ortaya çıkması ölçü kontrolünü zorlaşması ve işlenmiş yüzeylerin bozuk çıkması engellemiş olur [6].

$V_{BMax}$  = Maksimum serbest yan yüzey aşınması,

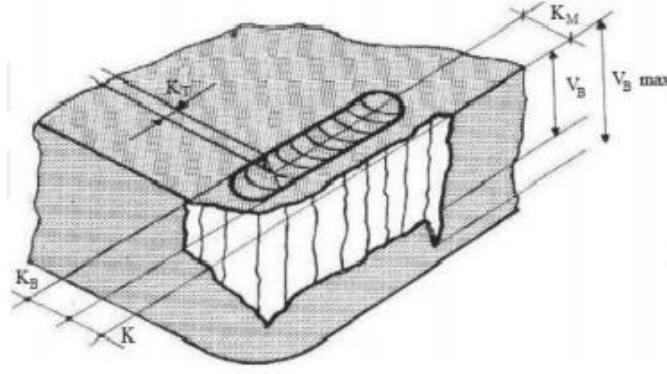
$V_B$  = Serbest yan yüzey aşınması,

$K_T$  = Krater derinliği,

$K_B$  = Krater genişliği,

$K_M$  = Krater orta eksen mesafesi [6].

Kontrol ve muayene yöntemleri, aşınma belli bir düzeye gelmeden önce geçen işleme anına bağlı olarak gelişirse saptanabilir. Sıklıkla kontrol aleti olarak mikroskop veya büyüteç kullanılmaktadır. Yan yüzey aşınması esas kesme kenarından ölçülmektedir. Aşınan bölge üçe ayrılarak ölçüm işlemi yapılır. Uzunluk toplamı dört eşit parçaya bölünerek, 1/4' lük kısımlar iki başta ve 1/2' lik kısım ortada kalacak biçimde üçe ayrılır ve inceleme yapılır [6,25]. Şekil 4.28'de takım aşınma kontrolünün yapılacağı bölgeler görülmektedir .



Şekil 4.28. Takım aşınma kontrolünün yapılacağı bölgeler [25].

#### 4.8. TALAŞLI İMALAT İŞLEMİNDE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ

İşleme metodu, kesicinin cinsi ve işlenen malzemeye bağlı olarak, işlem esnasındaki fiziksel, kimyasal ve ısıl faktörlerle, kesen ve kesilen arasındaki mekanik hareketlerin de etkisiyle işlenmiş yüzeylerde, genellikle istenmediği halde ortaya çıkan bazı izler oluşur. Nominal (anma) yüzey çizgisinin altında ve üstünde düzensiz sapmalar meydana gelmesine neden olan bu duruma yüzey pürüzlülüğü denir [6].

Farklı talaşlı imalat yöntemleriyle aynı yüzey pürüzlülük değerinde işlendiği, bazı durumlarda korozyon, sürtünme, aşınma ve yorulma dayanımı olarak farklı davranışlar gösterdiği görülmektedir. Yüzey pürüzlülüğünün dışında, yüzey üzerinde meydana gelen işleme izlerinin dağılımı ile izleri malzeme performanslarını yüksek ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle talaşlı imalat ile işlem göreceği bazı parçalarda yüzey pürüzlükleri değeri ile birlikte işleme yönteminin de belirtilmesi istenir. Bununla birlikte pürüzlülüğün; yüzey sürtünmesine neden olan teması, aşınması, ısı iletimi, ışık yansıtması, yağ filminin tutulması ve dağıtılması kabiliyeti, kaplama veya direnç ömürleri gibi parçaların birçok özellikleri de etkilemektedir. Bu sebeplerden, makine parçalarının yüksek veya istenen kalitede imalatı için uygun bir yüzey pürüzlülük değeri elde etmek gerekmektedir [44].

Talaş kaldırarak şekillendirme sonucunda oluşan yüzey pürüzlülüğüne birden çok parametrenin etkisi bulunmakla beraber, talaş kaldırmada etkili olan faktörleri şu şekilde özetleyebiliriz;



- Bağlama nedeniyle iş parçasında bozulmaların ortaya çıkması,
- İlerleme mekanizmasındaki düzensiz olması,
- İş parçasındaki yapısal bozukluk meydana gelmesi,
- Kırılgan malzemelerin işlenmesi sırasında düzensiz talaş meydana gelmesi,
- Kolay şekillendirilebilir malzemelerin düşük kesme hızlarında işlendiğinde, iş parçası yüzeyindeki yırtılmaların oluşması,
- Talaş akışından kaynaklı bozuklukların oluşması,
- Kesme hızında kaynaklı düzensizlikler,
- İlerleme miktarında meydana gelen düzensizlikler,
- Kesme derinliği,
- Kesici takımın soğutulma ve yağlanma durumu,
- Kesicinin tasarımı, geometrisi ve kesme kapasitesi,
- Kalıp ve bağlama aparatları,
- İşlenen malzemedен talaş kaldırma şekli,
- Yatak ve takımlarda oluşacak geometrik bozukluklar, vb. [1].

## BÖLÜM 5

### MALZEME METOD

#### 5.1. DENEYSEL NUMUNELER

Bu çalışmada AISI 430 Paslanmaz çeliği iş parçası malzemesi olarak kullanılmıştır. İş parçaları Ø15 mm çapında ve 3 m çubuk şeklinde ticari olarak elde edilmiştir. Spektral analiz incelemeleri Karabük Üniversitesi Teknoloji fakültesi laboratuvarında bulunan GNR S3 MiniLab 300 spektral analiz cihazı kullanılarak yapılmıştır. İş parçasına ait kimyasal kompozisyon Çizelge 5. 1’de gösterilmektedir.

Çizelge 5.1. AISI 430 paslanmaz çeliğine ait kimyasal kompozisyon.

C(%)	Si(%)	Mn(%)	S(%)	Cr(%)	Mo(%)	Ni(%)	Fe(%)
0,167	0,377	1,263	0,500	16,338	0,271	0,257	80,050

#### 5.2. DENEYLERDE KULLANILAN MAKİNE VE TEÇHİZAT

İşlenebilirlik testleri Bolu Serdar Makine A.Ş.' de bulunan HYUNDAI KIA KIT 45 marka CNC torna tezgahında yapılmış olup metal işleme sıvısı olarak Houghton ADRANA E 3205 kullanılmıştır. Çizelge 5.2’de tezgahın teknik özellikleri, Çizelge 5.3’te kullanılan soğutma sıvısının özellikleri verilmektedir.

Çizelge 5.2. CNC torna tezgahının teknik özellikleri.

<b>Torna Tezgahının Teknik Özellikleri</b>	
<b>Ayna Ölçüsü :</b>	6 inç
<b>Çevirme Çapı :</b>	530 mm
<b>Torlanama Çapı :</b>	165 mm
<b>Tornalama Boyu :</b>	320 mm
<b>Çubuk Kapasitesi :</b>	45 mm
<b>Fener Mili Devri :</b>	6000 rpm
<b>Fener Mili :</b>	52 mm
<b>X Ekseni Hareketi :</b>	450 mm
<b>Z Ekseni Hareketi :</b>	300 mm
<b>X Ekseni Seri Hareket :</b>	30 m/dk
<b>Z Ekseni Seri Hareket :</b>	36 m/dk
<b>Motor Gücü :</b>	15 kw

Houghton ADRANA E 3205 soğutma sıvısı dökme demirin genel talaşlı imalat operasyonlarında kullanılan su ile karışabilen metal işleme yağı olarak tanımlanır. Merkezi sistem ve tek dolumlu makinelerde kullanılabilir. Dökme demirin talaşlı imalat operasyonlarında kullanılması tavsiye edilen bir mikroemülsiyondur. Adrana E 3205 sıvının özellikleri aşağıda belirtilmektedir;

- Yüksek stabilite, minimum sıvı bakım maliyeti ve maksimum sıvı ömrüne sahiptir,
- İyi korozyon önleme, korozyon sorunlarına ilişkin düşük ret oranı ve bakım maliyetine sahiptir,
- İyi köpük kontrolü, yüksek basınç ve iyi hava tahliye uygulamaları gerektiğinde problemsiz çalışma operasyonları sağlamaktadır ,

- İstekleri karşılaya bilen takım ömrü ve parça geometrisi sağlayan iyi soğutma özelliklerine sahiptir.

Çizelge 5.3. Houghton ADRANA E 3205 özellikleri.

<b>Mineral yağ içeriği,%</b>	10
<b>Özgül ağırlık @ 20° C</b>	1020 kg/m <sup>3</sup>
<b>Emülsiyon pH'ı @ %5</b>	9,2
<b>Min.korozyon önleme limiti (0-0,%)</b>	4
<b>Refraktometre faktörü</b>	2,9
<b>Asitle ayırıştırma faktörü</b>	5,5

### 5.3. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜK ÖLÇÜMLERİ

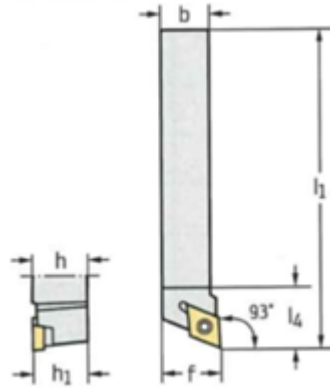
İşlenen iş parçalarının yüzey pürüzlülük değerlerinin ölçümünde Çizelge 5.4'te özellikleri verilen Mahr marka yüzey pürüzlük cihazı kullanılmıştır. İş parçaları işleme sonrası yüzey pürüzlülükleri parça yüzeyinden 120° lik açılarla üçer defa ölçülerek ölçümlerin ortalama değerleri alınmıştır.

Çizelge 5.4.Mahr yüzey pürüzlülük cihazının teknik özellikleri.

<b>Model</b>	Mahr (Marsurf PS1)
<b>Ölçme Yöntemi</b>	İzleyici Uçlu (Stylus)
<b>Tarama Hızı</b>	0.5 mm/sn( ölçme yaparken) 1 mm/sn( geri dönerken )
<b>Ölçme Kuvveti</b>	4mN (0.4 gf)
<b>Uç Malzemesi</b>	Elmas
<b>Ölçme Sıcaklığı</b>	20° C ± 1° C
<b>Numune Uzunluğu</b>	0,8 mm
<b>İzleyici Uç Yarıçapı</b>	5µm
<b>Tarama Boyu</b>	1,75 - 5,6 - 17,5 mm(ISO)

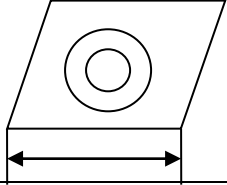
#### 5. 4. KESİCİ TAKIMLAR

Deneysel çalışmada Iscar ve Walter firmalarına ait DCMT 11T302-SM ve DCMT11T302-FM4 kodlu kesici takımlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Iscar IC807 ve Walter WSM20S DCMT kesici uçlara ait boyut ve toleransları aşağıda gösterilmektedir. Kullanılan katere ait ölçüler Şekil 5.1'de ve Çizelge 5.5'te gösterilmektedir.

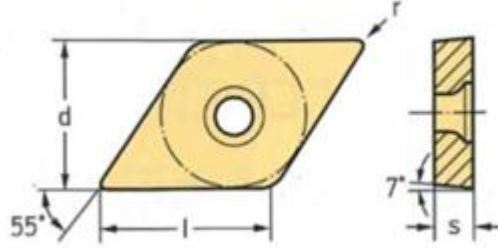


Şekil 5.1. Kullanılan kater açıları.

Çizelge 5.5. Kullanılan kater ölçüleri.

	$h=h_1$ mm	b mm	f mm	$I_1$ Mm	$I_4$ mm	$\gamma$	$\lambda_s$
11	20	20	25	125	21,9	0°	0°

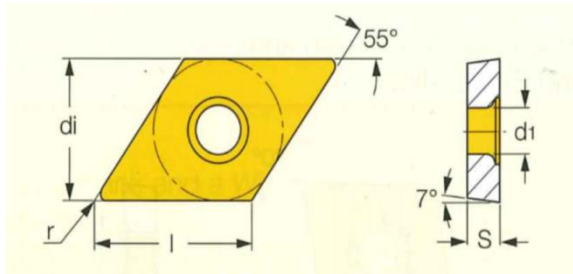
Deneysel çalışmalarda Iscar IC807 ve Walter WSM20S DCMT kesici uçlar kullanılmıştır. Uçlara ait boyut ve toleranslar Şekil 5.2'de gösterilmektedir.



Şekil 5.2. DCMT11T302-FM4 kesici takım ölçüleri.

Çizelge 5.6. Kullanılan kater ölçüleri.

DCMT11T302- FM4	I mm	R mm	F mm	$a_p$ mm
	11,63	0,2	0,04-0,12	0,1-1,0



Şekil 5.3. DCMT 11T302-SM kesici takım ölçüleri.

Çizelge 5.7. DCMT 11T302-SM kesici takım ölçüleri.

DCMT	L	di	S	r	d <sub>1</sub>
11T302-SM	11,60	9,52	3,97	0,20	4,40

### 5.5. STEREO MİKROSKOP İNCELEMELERİ

İşlenebilirlik deneyleri sonrası kesici uçta meydana gelen takım aşınmaları Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Bölümü metalografi laboratuvarında bulunan Nikon SMZ745 marka Stereo mikroskop kullanılarak incelenmiştir. Şekil 5.4'te stereo mikroskoba ait görüntü verilmiştir.



Şekil 5.4. Stereo mikroskop.

### 5.6. TARAMALI ELEKTRON MİKROSKOBU (SEM) İNCELEMELERİ

İşlenebilirlik deneyleri sonrası kesici uçta meydana gelen takım aşınmaları, Karabük Üniversitesi Demir Çelik Enstitüsünde bulunan ZEISS ULTRA PLUS (FEG) tarama elektron mikroskopunda (SEM) incelenmiştir.

### 5.7. DENEY TASARIMI

Taguchi tekniği kullanılarak yapılan deney tasarımında işlenebilirlik kriterleri üzerinde doğrudan etkisi olan kesme parametreleri belirlenmiştir. Bu amaçla, kesici

uç tipi, kesme hızı (V, m/dk), ilerleme miktarı (f, mm/dev) olmak üzere üç faktör seçilmiştir. Belirlenen faktörler ve seviyelerine göre yapılan deney tasarımı için L18 dikey dizini kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan faktör ve seviyeleri Çizelge 5.8'de verilmiştir.

Çizelge 5.8. Deney parametreleri ve seviyeleri.

Parametre	Birim	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
Kesici uç cinsi		WSM	IC807	
Kesme hızı	m/dk	80	140	200
İlerleme	mm/dev	0,75	1,5	2,25

Kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve kesici yan kenar aşınması üzerindeki etkilerinin analizi için, Taguchi deney tasarımında kesme parametreleri bağımsız değişken, ortalama yüzey pürüzlülüğü ve kesici yan kenar aşınması bağımlı değişken olarak tanımlanmıştır. Taguchi deney tasarım metodunda kalite karakteristiklerinin ölçülmesinde ve değerlendirilmesinde kullanılan ölçüt S/G oranıdır. Sinyal (S), sistemin verdiği ve ölçülmek istenen gerçek değerdir. Gürültü (N) ise ölçülen değer içerisindeki kontrol edilemeyen, istenmeyen faktörlerin payını gösterir. Üç tip S/G oranı vardır [45].

Tip N: Hedef değer en iyi, hedef nominal bir değere ulaşmak

$$S/G = -10 \cdot \log(y^2/s) \quad (5.1)$$

Tip S: En küçük en iyi, hedef en düşük değere ulaşmak

$$S/G = -10 \cdot \log\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i^2\right) \quad (5.2)$$

Tip B: En büyük en iyi, hedef en yüksek değere ulaşmak

$$S/G = -10 \cdot \log\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 1/Y_i^2\right) \quad (5.3)$$

Bu formüllerde Y: performans karakteristiklerinin değerlerinin ortalamasını, S: Y değerlerinin standart sapmasını, n ise Y değerlerinin sayısını belirtir. Bu üç koşulda da amaç S/G oranını maksimize etmektir. Bu oranların maksimize edilmesi, sinyali arttırırken, varyansı azaltmaktadır. Bu çalışmada yüzey pürüzlülüğü



ve kesici kenar aşınması değerlerinin en iyi işlenebilirlik verilerinin belirlenmesi için deneylerin analizinde en küçük en iyi yaklaşımına göre hesaplanan S/G oranı kullanılmıştır [45].

## BÖLÜM 6

### DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, AISI 430 paslanmaz çeliğinin işleminde iki farklı kesici uç, üç farklı kesme hızı ve ilerleme miktarı parametreleri girdi olarak kullanılmıştır. Deneysel çalışmalar soğutma sıvısı kullanılarak yapılmış olup, deneysel çalışma sonucunda ortalama yüzey pürüzlülüğü ve kesici yan kenar aşınma değerleri incelenerek, optimizasyon çalışması yapılmıştır. Deneysel çalışma Taguchi L18 ortogonal düzen kullanılarak yapılmıştır. Deney sonuçlarının istatistiksel olarak değerlendirilmesinde, Minitab 17 yazılımı kullanılarak yapılmıştır.

#### 6.1. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ OPTİMİZASYONU

Deneysel çalışma sonunda işlenmiş yüzeylerin üç farklı noktada ölçüm yapılmıştır. Elde edilen değerlerin ortalaması alınarak  $R_a$  değeri hesaplanmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen  $R_a$  değerleri ve Eşitlik 5.2 kullanılarak hesaplanan S/G oranları Çizelge 6.1'de verilmiştir.

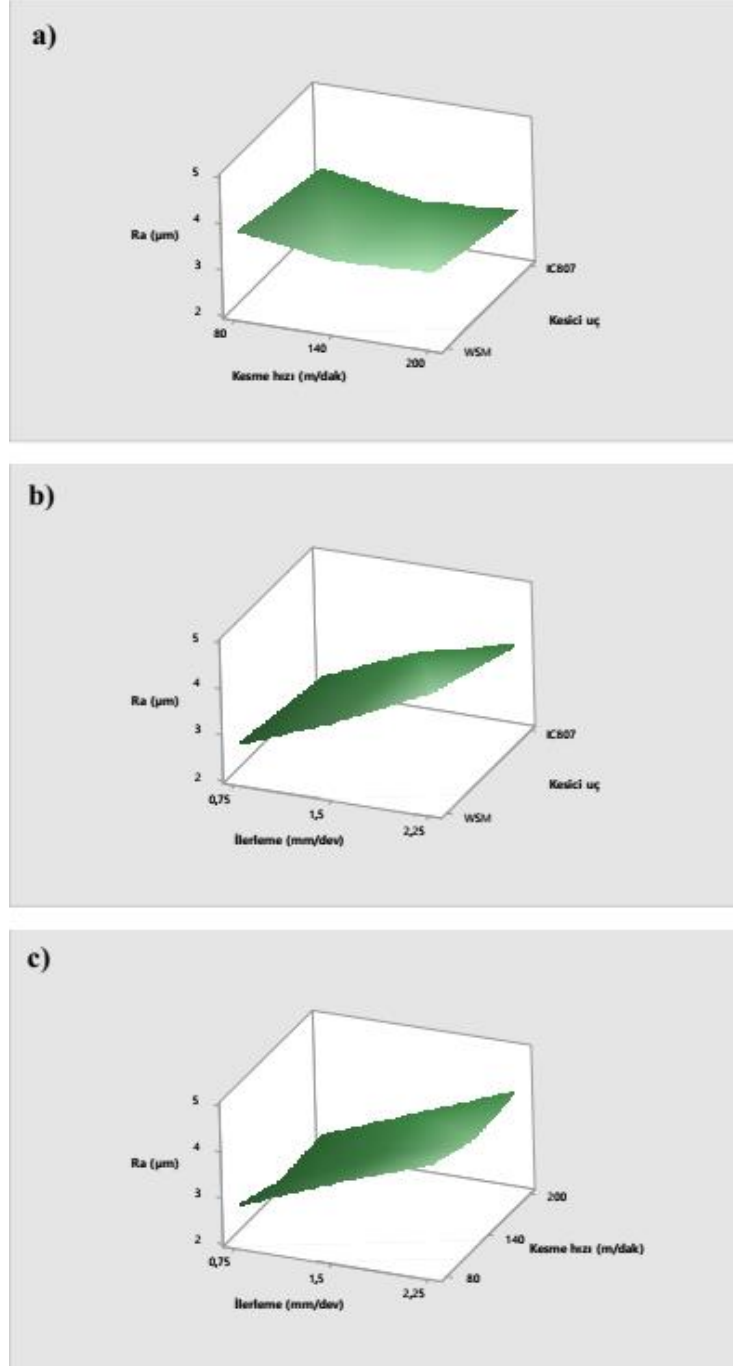
Çizelge 6.1. Ortalama yüzey pürüzlük değerleri ve S/G oranları.

Deney sırası	Kesici uç cinsi	Kesme hızı (Vc) m/dk	İlerleme miktarı (f) mm/dev	Ra (µm)	S/G oranı
1	WSM	80	0,75	2,93	-9,33735
2	WSM	80	1,5	3,75	-11,4806
3	WSM	80	2,25	4,71	-13,4604
4	WSM	140	0,75	2,64	-8,43208
5	WSM	140	1,5	3,44	-10,7312
6	WSM	140	2,25	4,38	-12,8295
7	WSM	200	0,75	2,66	-8,49763
8	WSM	200	1,5	3,49	-10,8565
9	WSM	200	2,25	4,54	-13,1411
10	IC 807	80	0,75	2,64	-8,43208
11	IC 807	80	1,5	3,48	-10,8316
12	IC 807	80	2,25	3,95	-11,9319
13	IC 807	140	0,75	2,18	-6,76913
14	IC 807	140	1,5	3,12	-9,88309
15	IC 807	140	2,25	3,64	-11,222
16	IC 807	200	0,75	2,38	-7,53154
17	IC 807	200	1,5	3,17	-10,0212
18	IC 807	200	2,25	3,73	-11,4342

Şekil 6.1'de yüzey pürüzlülüğü değerinin kesici uç, kesme hızı ve ilerleme miktarına göre değişimi gösterilmektedir. Şekil 6.1.b ve Şekil 6.1.c incelendiğinde, WSM ve IC807 kodlu kesici takımla yapılan işleme deneylerinde yüzey pürüzlülüğünün kesici uç tipine bağlı olarak değişiminin düşük seviyelerde olduğu görülmektedir. IC807 kodlu uçla nispeten daha düşük Ra değerleri elde edildiği görülmektedir. Şekil 6.1.b ve Şekil 6.1.c'de kesme hızının artmasıyla Ra değerinin azaldığı görülmektedir. Kesme hızının artmasıyla beraber işleme süresi kısalmakta, talaş takım yapışması meydana gelmemektedir. Bu nedenle talaş kırılmasının azalması yüzey pürüzlülük değerinin azalmasına neden olmaktadır [46].

Şekil 6.1.c'de İlerleme hızındaki artış yüzey pürüzlülük değerini arttırdığı görülmektedir. İlerleme hızının artması artan talaş kesit alanı ve talaşın kısmen biçimlendirilmesine sebep olduğu için ilk deformasyon bölgesindeki kırılmalar

sonucu yüzey pürüzlülüğü değerini de artmasına neden olmaktadır. Düşük yüzey pürüzlülüğü değeri elde etmek için kesme hızının artarken ilerleme hızının düşük tutulması önerilmektedir [46].



Şekil 6.1. Parametrelerin yüzey pürüzlülüğüne etkisi a)Kesici uç ve kesme hızı b)Kesici uç ve ilerleme miktarı c)Kesme hızı ve ilerleme miktarı.

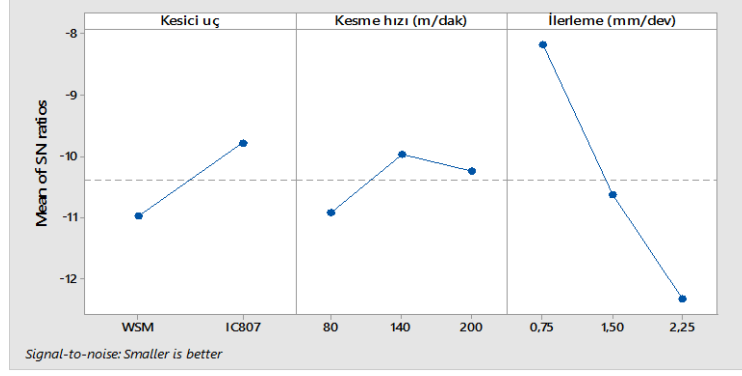
Kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkileri varyans analizi tekniği ile hesaplanmıştır. Elde edilen varyans analiz sonuçları Çizelge 6.2’de gösterilmektedir. Varyans analizi sonucuna göre ilerleme miktarı %82,53; kesici uç tipi %10,96 ve kesme hızının etkisi %4,11 oranında yüzey pürüzlülüğüne etki etmektedir.

Çizelge 6.2. Yüzey pürüzlülüğü ANOVA analiz sonuçları.

Varyans	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Ortalama kareler	P	% Etki
Kesici uç	1	1,0035	1,00347	0	10,95536
Kesme hızı (m/dak)	2	0,3771	0,18857	0,002	4,116857
İlerleme (mm/dev)	2	7,56	3,78002	0	82,53365
Hata	12	0,2192	0,01827		2,393039
Toplam	17	9,1599			100

Şekil 6.2’de AISI 430 Paslanmaz çeliğinin belirlenen işleme koşulları altında tornalanmasında kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi görülmektedir. Böylece her bir parametre için hesaplanan Sinyal/Gürültü oranının en yüksek olduğu değer, yüzey pürüzlülüğü değerinin en düşük olduğu deney şartını göstermektedir.

Şekil 6.2’de kesici uç cinsinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi görülmektedir. S/N grafiği incelendiğinde IC807 kodlu uç ile daha düşük  $R_a$  değerleri ölçüldüğü görülmektedir. Kesme hızı değerindeki artışa paralel olarak Şekil 6.2’de S/G oranının arttığı görülmektedir. Bu durum kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülüğü değerinin azalmakta olduğunu göstermektedir. İlerleme miktarının artmasıyla beraber S/G oranında düşüş olduğu gözlemlenmektedir. İlerleme hızındaki artışın yüzey pürüzlülük değerini azaltmakta olduğu görülmektedir.



Şekil 6.2. Kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi.

Optimizasyon çalışmaları sonucunda ideal yüzey pürüzlülüğü sonucu için deney şartı  $A_2B_2C_1$  şeklindedir. Deney şartı IC807 uç ile 140 m/dk kesme hızı ve 0,75 mm/dev ilerleme hızı olarak hesaplanmıştır. Bu deney şartında yüzey pürüzlülüğü sonucu 2,18  $\mu\text{m}$  olarak ölçülmüştür. Çizelge 6.3'te her bir parametrenin S/G oranları gösterilmektedir.

Çizelge 6.3. Yüzey pürüzlülüğü sonuçları için işleme parametrelerine ait oranlar.

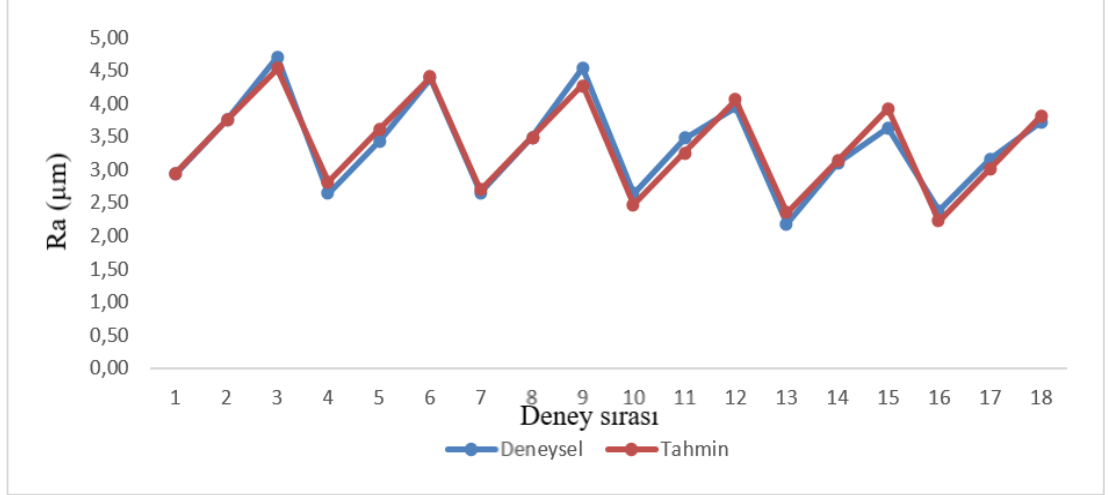
Seviye	Kesici uç	Kesme hızı	İlerleme
1	-10,974	-10,912	-8,167
2	-9,784	-9,978	-10,634
3		-10,247	-12,337
Fark	1,19	0,935	4,17
Sıralama	2	2	1

İşlenebilirlik parametreleri olan kesici uç tipi, kesme hızı ve ilerleme miktarı ile yüzey pürüzlülüğü arasında tahmini denklem oluşturma ve deneysel ve tahmini değerler arasındaki ilişkiyi tanımlayabilmek için doğrusal denklem oluşturulmuştur. Yüzey pürüzlülüğü tahmini için hesaplanan denklem Eşitlik 6.1'de gösterilmektedir.

$$Ra(\mu\text{m}) = 2,791 - 0,4722 \text{ Kesici uç} - 0,002069 \text{ Kesme hızı (m/dk)} + 1,0578 \text{ İlerleme (mm/dev)} \quad (6.1)$$

Denklemin  $R^2$  değeri %95,43 olarak hesaplanmıştır.  $R^2$  değerinin %80'den büyük olması matematiksel modelin istatistiksel olarak yeterli olduğunu göstermektedir. Şekil

6.3'de yüzey pürüzlülük değerinin deneysel sonuçlar ile regresyon analizi ile tahmin sonuçlarının karşılaştırılması gösterilmektedir.



Şekil 6.3. Deneysel ve tahmin sonuçlarının karşılaştırılması.

## 6.2. KESİCİ YAN KENAR AŞINMASI OPTİMİZASYONU

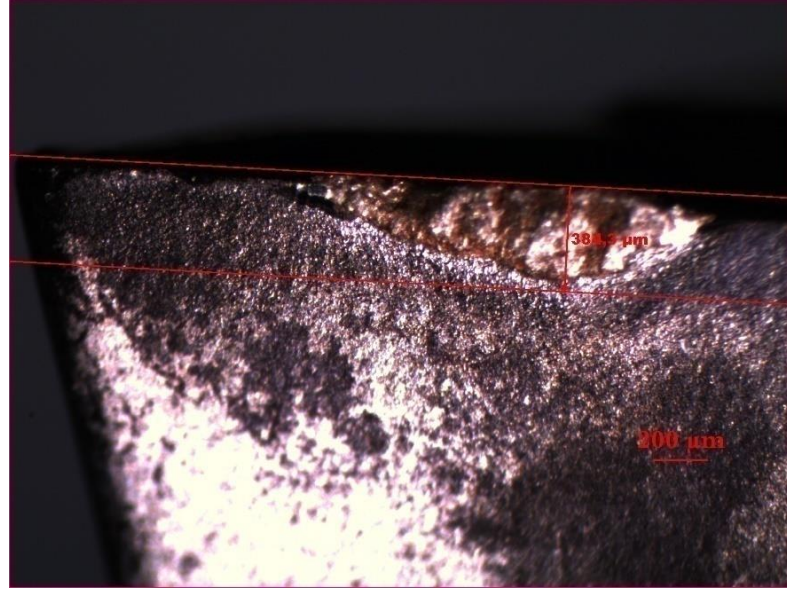
İki farklı kesici uç, üç farklı kesme hızı (80, 140, 200 m/dk) ve üç farklı ilerleme miktarı (0,75- 1,5- 2,25 mm/dev) kullanılarak gerçekleştirilen deneysel çalışma sonunda kesici takımlarda yan kenar aşınma miktarları ölçülmüştür. Her deney şartında her bir kesici uç ile toplam 801,900 mm<sup>3</sup> talaş kaldırılarak kesici takımlar aşındırılmıştır. Deney şartlarına bağlı olarak işleme deneyleri sonucunda kesici takımlarda ölçülen aşınma miktarları ve S/G oranları Çizelge 6.4'te verilmektedir.

Çizelge 6.4. Kesici takımlarda ölçülen aşınma miktarları ve S/G oranları.

Deney Sırası	Kesici uç	Kesme hızı (m/dk)	İlerleme (mm/dev)	Vb (µm)	S/G oranı
1	WSM	80	0,75	173,50	-44,786
2	WSM	80	1,5	259,50	-48,283
3	WSM	80	2,25	369,40	-51,35
4	WSM	140	0,75	191,70	-45,652
5	WSM	140	1,5	272,10	-48,695
6	WSM	140	2,25	359,20	-51,107
7	WSM	200	0,75	217,40	-46,745
8	WSM	200	1,5	288,40	-49,2
9	WSM	200	2,25	384,30	-51,693
10	IC 807	80	0,75	117,30	-41,386
11	IC 807	80	1,5	203,10	-46,154
12	IC 807	80	2,25	274,40	-48,768
13	IC 807	140	0,75	133,20	-42,49
14	IC 807	140	1,5	205,50	-46,256
15	IC 807	140	2,25	293,20	-49,343
16	IC 807	200	0,75	157,30	-43,935
17	IC 807	200	1,5	222,40	-46,943
18	IC 807	200	2,25	311,50	-49,869

Çizelge 6.4 incelendiğinde en düşük yan kenar aşınma değerinin IC807 kodlu kesici takım ile 80 m/dk kesme hızı ve 0,75 mm/dev ilerleme miktarının kullanıldığı deney şartında 117,3 µm olarak ölçülmüştür. Şekil 6.4’de kesici takıma ait mikroskop görüntüsü gösterilmektedir. En yüksek aşınma miktarı WSM kodlu kesici takımın kullanıldığı 200 m/dk kesme hızı, 2,25 mm/dev ilerleme miktarının kullanıldığı deney şartında 384,3 µm olarak ölçülmüştür.

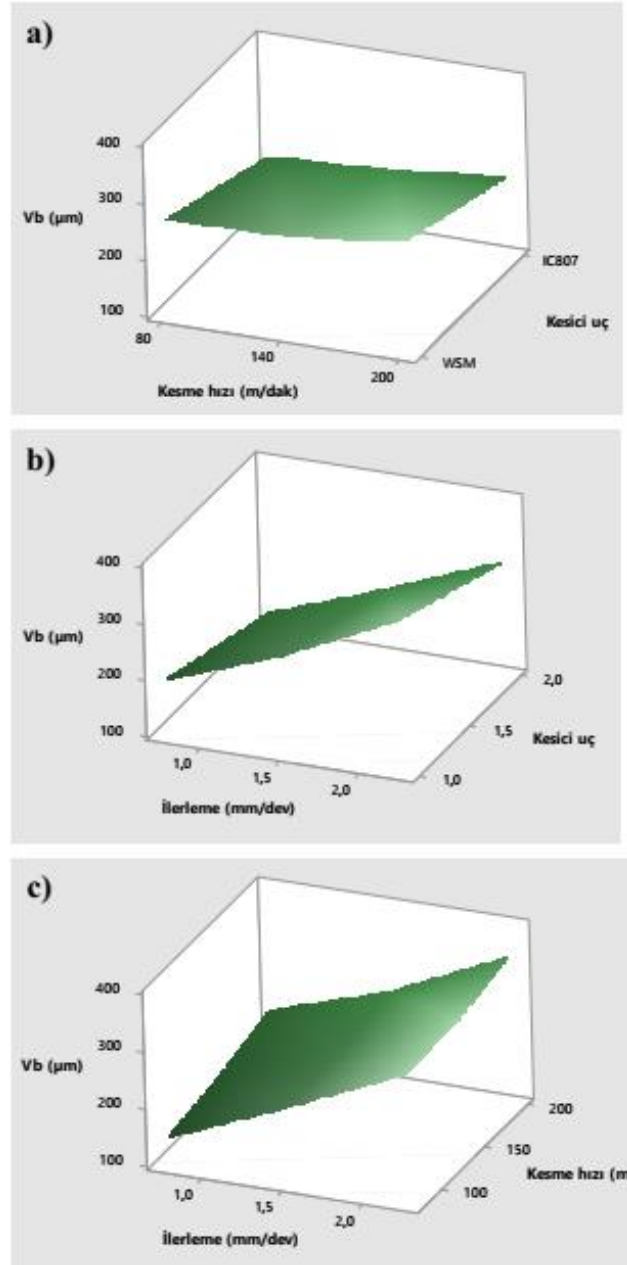




Şekil 6.4. Kesici takım yan kenar aşınma miktarı (WSM, 200 m/dk, 2,25 mm/dev).

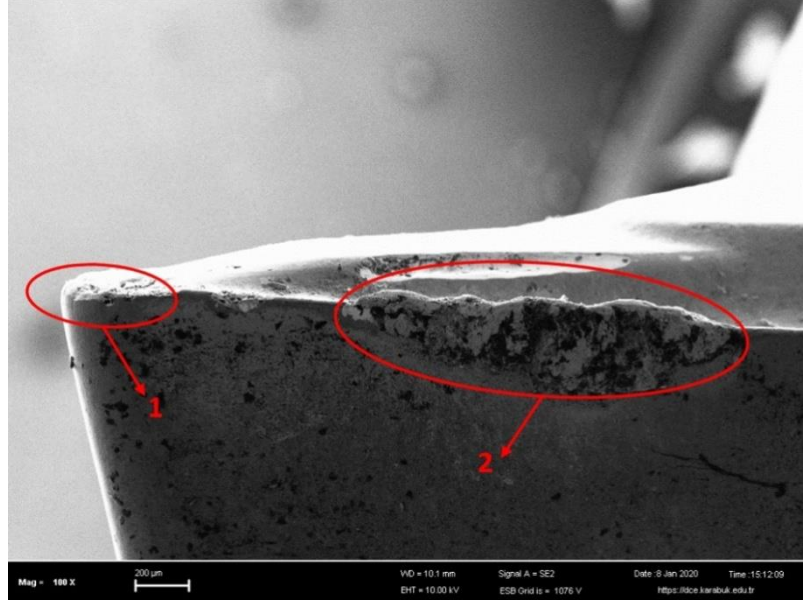
Şekil 6.5'te parametrelerin kesici takım yan kenar aşınmasına etkisi gösterilmektedir. Kesici uç tipinin yan kenar aşınması etkisi Şekil 6.5.a'da görüldüğü üzere düşük seviyede olduğu görülmektedir. Kesme hızındaki artışın ise kesici yan kenar aşınması üzerinde olumsuz etkisi olduğu görülmektedir. Kesme hızı arttıkça kesici yan kenar aşınma miktarı artmaktadır. Kesme işlemi sırasında artan kesme hızı ile birlikte artan ısının ve basıncın etkisi, kesici takımın daha fazla aşınmasına ve aşınma mekanizmalarının oluşumunun hızlanmasına neden olmaktadır [47].

Şekil 6.5.b ve Şekil 6.5.c'de ilerleme miktarına bağlı olarak kesici takımda yan kenar aşınmasının artmakta olduğu görülmektedir. İlerleme miktarının artmasıyla talaş kesit alanındaki artış sebebiyle, takım ucuna yığılan talaş miktarında da artış görülmesi normal bir sonuç olarak değerlendirilmektedir. Bu durumu, düşük ilerleme miktarlarında takım ucundaki talaş yığılmasının daha az olmasına ve kesintili talaş formuna bağlı olarak, talaşın takım ucundan daha rahat uzaklaşmasına atfedebiliriz. Ayrıca, ilerleme miktarındaki artışın takım ucundaki sıcaklığı arttırdığı ve aşınmayı kolaylaştırdığı ikinci bir sebep olarak söylenebilir [48].



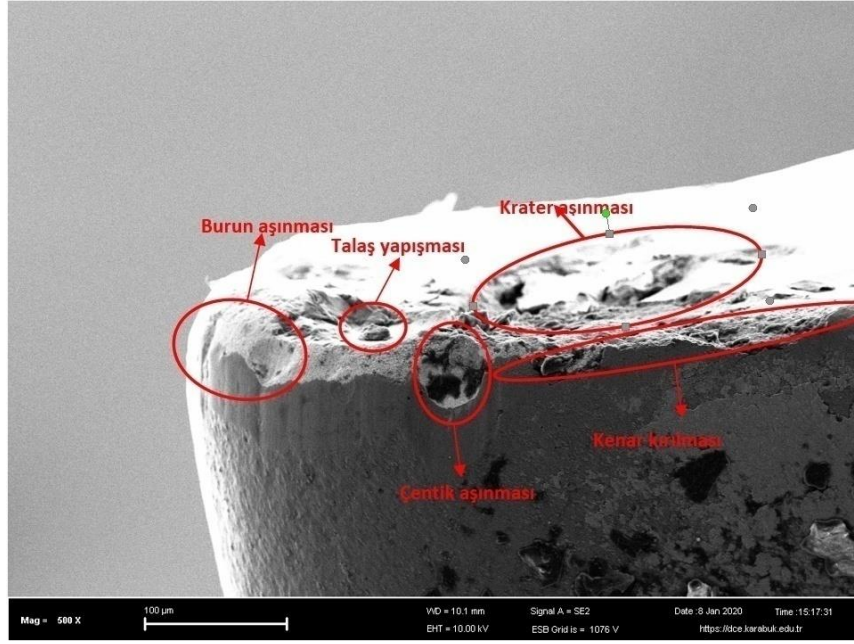
Şekil 6.5. İşleme parametrelerinin kesici yan kenar aşınma miktarının etkileri. a) Kesici uç ve kesme hızı. b) Kesici uç ve ilerleme miktarı. c) Kesme hızı ve ilerleme miktarı.

Şekil 6.6'da WSM, 200 m/dk, 2,25 mm/dev ilerleme hızlarında WSM kodlu kesici takım ile yapılan işleme sonrası takıma ait SEM görüntüsü verilmektedir. Kesici takımın burun kısmı ve kenar kısmı iki belgeye ayrılarak SEM cihazında görüntü alınmıştır. Kesici takımın ucunda burun aşınması meydana geldiği görülmektedir. İş parçasına ait talaşlarında kesici takımın üzerinde yapışmış olduğu görülebilmektedir [49].



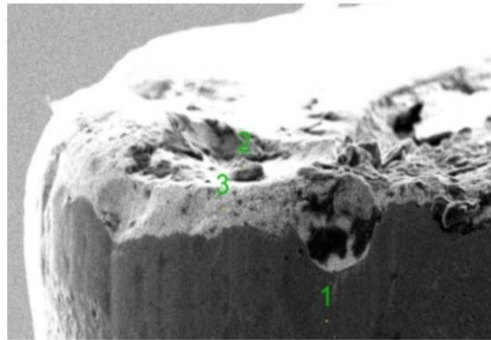
Şekil 6.6. Kesici takıma ait SEM görüntüsü.

Şekil 6.7'de gösterilen bölgelerden alınan EDS sonuçlarına bakıldığında 2 numaralı bölgeden alınan kısımda diğer bölgelere oranla daha fazla C içeriği olduğu görülmektedir. Aynı şekilde 1 nolu bölgenin Al ve Ti elementleri açısından zengin olması bu bölgede kesici takım kaplamasının olduğu, 3 nolu bölgenin kesici takım kaplamasının aşınarak W ve C elementleri bakımından zengin olan kesici takım yapısına ait olduğu anlaşılmaktadır. Kesici takım ile iş parçası arasında kimyasal reaksiyon sonucu oluşan krater aşınması Şekil 6.7'de gösterilmektedir. Aşırı krater aşınmasının oluşması kesici kenarı zayıflatmakta ve şekilde görüldüğü üzere kesici takımın kenar kısmında kırılmalara neden olmaktadır [50].



Şekil 6.7. Kesici takımda gerçekleşen aşınmalar.

Şekil 6.8'de 1nolu bölgeden alınan SEM görüntüsü görülmektedir. Kesici takımın kenar kısmında oluşan yan kenar aşınması bu deneysel çalışmada 311,50 µm ölçülmüştür. Aşınma ilerledikçe kesici kuvvetler artar, daha fazla ısının ortaya çıkmasına neden olur. Bununla birlikte aşınma hızlanır, kesici takımın kesme kabiliyeti azalır [51].



Mass percent (%)

Spectrum	C	Al	Ti	Cr	Mn	Fe	Ni	W
1	4.94	34.77	58.87	0.00	0.00	0.00	1.31	0.11
2	96.70	0.00	0.00	0.14	0.57	1.52	0.29	0.78
3	24.45	0.08	0.00	0.00	0.00	2.39	1.45	71.64

Şekil 6.8. 1 nolu bölgeden alınan EDS sonucu.

Şekil 6.9'da kesici takım üzerinde oluşan yığıntı talaş görülmektedir. Talaşlı imalat işlemlerinde iş parçasının, takım talaş yüzeyine yayılarak yapışması yığıntı talaş olarak ifade edilmektedir. Yığıntı talaş çoğunlukla sünek malzemelerin işlenmesinde meydana gelmektedir. Paslanmaz çelik malzemesinin sünek özelliği nedeniyle talaşlı imalat işlemlerinde iş parçası malzemesi ile kesici takım arasında çok güçlü bir yapışma eğilimi göstermektedir [52].



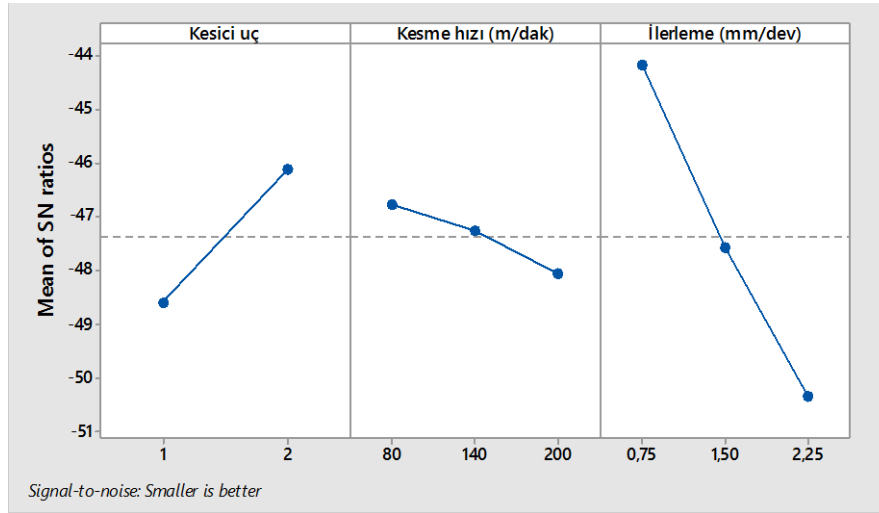
Şekil 6.9. Yığıntı talaş -Yan kenar aşınması SEM görüntüsü.

Kesme parametrelerinin kesici yan kenar aşınma miktarın etkileri varyans analizi tekniği ile incelenmiştir. Elde edilen varyans analiz sonuçları Çizelge 6.5'te gösterilmektedir. Varyans analizi sonucuna göre ilerleme miktarı %78,03 kesici uçtipi %18,47 ve kesme hızının etkisi %2,75 oranında kesici yan kenar aşınmasına etki ettiği hesaplanmıştır.

Çizelge 6.5. Kesme parametrelerinin kesici yan kenar aşınma miktarının etkileri.

Varyans	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Ortalama kareler	P	% Etki
Kesici uç	1	19840	19840,3	0	18,47
Kesme hızı (m/dk)	2	2956	1477,8	0	2,75
İlerleme (mm/dev)	2	83780	41889,9	0	78,03
Hata	12	793	66,1		0,73
Toplam	17	107368			

Şekil 6.10'da kesici uç cinsinin kesici yan kenar aşınmasına etkisi görülmektedir. S/N grafiği incelendiğinde IC807 kodlu uç ile daha düşük  $V_b$  değerleri ölçüldüğü görülmektedir. Kesme hızı değerindeki artışa paralel olarak Şekil 6.3'te S/G oranının azaldığı görülmektedir. Bu durum kesme hızının artmasıyla kesici kenar aşınma değerinin artmakta olduğunu göstermektedir. İlerleme miktarının artmasıyla beraber S/G oranında düşüş olduğu gözlemlenmektedir. Bu ters orantı ilerleme hızındaki artışın kesici kenar aşınma değerini arttırmakta olduğunu göstermektedir.



Şekil 6.10. Kesme parametrelerinin kesici uç yan kenar aşınmasına etkisi.

Optimizasyon çalışmaları sonucunda ideal kesici kenar aşınması değeri için deney şartı  $A_2B_1C_1$  şeklindedir. Deney şartı IC807 uç ile 80 m/dk kesme hızı ve 0,75 mm/dev ilerleme miktarı olarak hesaplanmıştır. Bu deney şartında kesici kenar aşınma miktarı sonucu 117,3  $\mu\text{m}$  olarak ölçülmüştür. Çizelge 6.6'da her bir parametrenin S/G oranları gösterilmektedir.

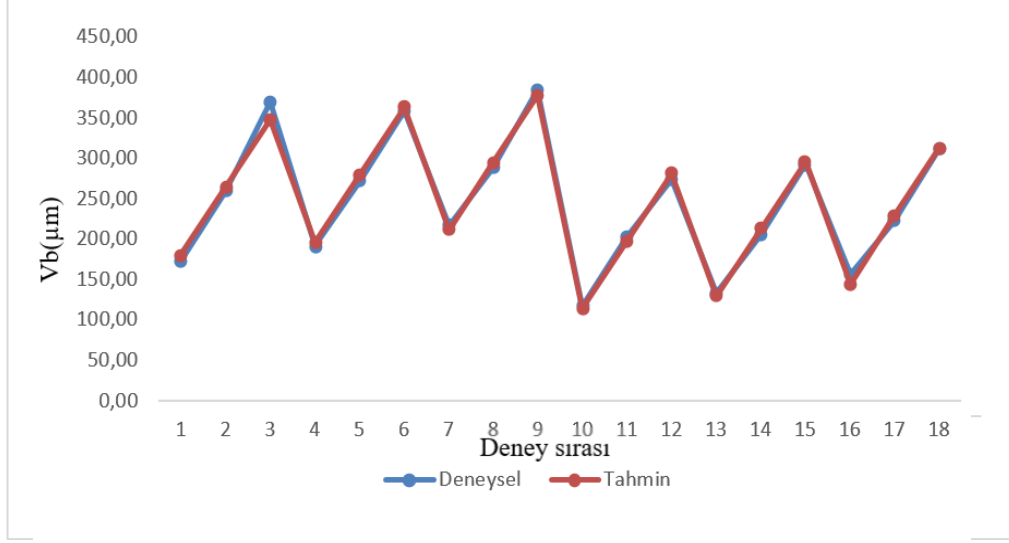
Çizelge 6.6. Kesici uç yan kenar aşınma miktarı için işleme parametrelerine ait S/G oranları.

Seviye	Kesici uç	Kesme hızı	İlerleme
1	-48,61	-46,79	-44,17
2	-46,13	-47,26	-47,59
3		-48,06	-50,36
Fark	2,49	1,28	6,19
Sıralama	2	1	1

İşlenebilirlik parametreleri olan kesici uç tipi, kesme hızı ve ilerleme miktarı ile kesici uç yan kenar aşınma miktarı arasında tahmini denklem oluşturma ve deneysel ve tahmini değerler arasındaki ilişkiyi tanımlayabilmek için doğrusal denklem oluşturulmuştur. Kesici uç yan kenar aşınma miktarı tahmini için hesaplanan denklem Eşitlik 6.2'de gösterilmektedir.

$$V_b(\mu\text{m}) = 143,266,40 \text{ Kesici uç} + 0,2557 \text{ Kesme hızı (m/dk)} + 111,29 \text{ İlerleme (mm/d ev)} \quad (6.2)$$

Denklemin  $R^2$  değeri %98,97 olarak hesaplanmıştır.  $R^2$  değerinin %80'den büyük olması matematiksel modelin istatistiksel olarak yeterli olduğunu göstermektedir. Şekil 6.7'de yüzey pürüzlülük değerinin deneysel sonuçlar ile regresyon analizi ile tahmin sonuçlarının karşılaştırılması gösterilmektedir. Şekil 6.11 incelendiğinde deneysel sonuçlar ile tahmin sonuçlarının birbirine yakın değerler olduğu görülmektedir.



Şekil 6.11. Deneysel ve tahmin sonuçlarının karşılaştırılması.



## BÖLÜM 7

### SONUÇLAR

AISI 430 Paslanmaz çeliğinin kesici uç cinsine, kesme hızına ve ilerleme miktarına göre işlenebilirliğinin üzerindeki etkileri ve kesici takım aşınmaları bu tez çalışmasında incelenmiştir. Deneysel çalışmalar sabit 1,5 mm talaş derinliği ve soğutma sıvısı kullanılarak yapılmıştır. İşlenebilirlik testlerinde parametreler ve seviyeleri için kesme hızı olarak üç farklı (80, 140, 200 mm/dk) , ilerleme miktarı olarak üç farklı (0,75, 1,5, 2,25 mm/dev) olarak kullanılmıştır. İş parçası malzemesinden 801,900 mm<sup>3</sup> talaş hacmi kaldırılarak kesici takım yan kenar aşınması ve iş parçası yüzey pürüzlülüğü incelenmiştir. İşlenebilirlik parametreleri ve seviyeleri için optimizasyon tekniğinin kullanıldığı bu çalışmada aşağıda belirtilen sonuçlar elde edilmiştir.

- Deneysel çalışmalarda en yüksek yüzey pürüzlülüğü değeri 4,71 µm olarak ölçülmüştür. Bu değer WSM kodlu kesici takım ile 80 m/dk kesme hızı ve 2,25 mm/dev ilerleme miktarının kullanıldığı deney şartında elde edilmiştir. En düşük yüzey pürüzlülük değeri ise 2,18 µm olarak ölçülmüştür. Bu değer IC 807 kodlu kesici takım ile 140 m/dk kesme hızı ve 0,75 mm/dev ilerleme miktarı değerinde elde edilmiştir.
- Kesme hızının artması talaş takım yapışmasına engel olmaktadır. Bu durum R<sub>a</sub> değerini olumlu olarak etkilemektedir. İlerleme hızının artması talaş kesit alanını arttırmakta ve ilk deformasyon bölgesinde kırılmalara sebep olmaktadır. Bu durum R<sub>a</sub> değerine olumsuz etki etmektedir.
- Kesici kenar aşınma miktarı en yüksek değer olarak WSM kesici uçun kullanıldığı 200 m/dk kesme hızı, 2,25 mm/dev ilerleme miktarının ile deney şartında 384,3 µm olarak ölçülmüştür. En düşük kesici kenar aşınma miktarı 117,3 µm olarak IC 807 kodlu kesici kenar ile 80 m/dk kesme hızı, 0,75 mm/dev ilerleme miktarının kullanıldığı deney şartında elde edilmiştir.

- Kesme hızının artması ile beraber kesme bölgesinde artan ısı ve basın kesici takımın daha fazla aşınmasına neden olduğu belirlenmiştir. İlerleme miktarının artması aynı şekilde takım ucunda sıcaklığın artmasına ve aşınmayı takım aşınmasını hızlandırdığı belirlenmiştir.
- ANOVA analizi sonucuna göre kesici uç tipi %10,95 kesme hızı %4,11 ve ilerleme miktarı %82,53 yüzey pürüzlülüğüne etki ettiği hesaplanmıştır.
- ANOVA analizi sonucunda kesici uç tipi %18,47 kesme hızı %2,75 ve ilerleme miktarı %78,03 kesici kenar aşınmasına etki ettiği hesaplanmıştır.
- Yüzey pürüzlülüğü ve kesici yan kenar aşınması için Taguchi optimizasyon çalışması sonucunda ideal deney şartı  $A_2B_2C_1$  olarak belirlenmiştir.

## KAYNAKLAR

1. Özcan, M. T., "Caldie soğuk iş takım çeliğinin işlenebilirliğinin deneysel olarak incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 1-46 (2017).
2. Çiftçi, İ., Korkut, İ., Çevik, E., Demir, H., ve Şeker, U., "Tornalama İşlemlerinde Kesici Takım Ömrünün İyileştirilmesine Yönelik Alternatif Bir Yaklaşım" *Karabük Üniversitesi Teknoloji Dergisi*, 11(2): 129-135 (2008).
3. Yontar, A. A., "AISI 304 paslanmaz çeliklerin işlenebilirliğinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalı*, Konya, 144-145 (2011).
4. Choudhury, I. A. and El-Baradie, M. A., "Machining nickel base superalloys: Inconel 718", *ProcInstn Mech Engrs*, 212: 195-205 (1998).
5. Kwon, Y. and Fischer, G.W., "A Novel Approach to Quantifying Tool Wear and Tool Life Measurements For Optimal Tool Management", *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 43(4): 359-368 (2002).
6. Korkmaz, İ., "11SMnPb30 çeliğinin işlenebilirliğinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 12-55 (2015).
7. Balcı, B. "AISI 304 östenitik paslanmaz çelik malzemelerin işlenmesinde yüzey pürüzlülüğünün incelenmesi, Bilim Uzmanlığı Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 20-25 (2008).
8. Korkut, I., ve Dönertaş, M. A., "Kesme Parametrelerinin Frezelemede Oluşan Kesme Kuvvetleri Üzerinde Etkileri", *Politeknik Dergisi*, 6 (1): 385-389 (2003).
9. Topçu, Ç., "P20Ni kalıp çeliğinin işlenebilirliğinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük (2018).
10. Coşkun, M., "AISI P20S kalıp çeliğinin işlenebilirliğinin incelenmesi ", Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük (2017).
11. Akgün, M., "AISI 1040 çeliğinde deformasyon oranının işlenebilirliğe etkisi ", Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük (2013).
12. Kuncan, O., "AISI 52100 çeliğinin talaşlı işlenebilirliğinin araştırılması ", Yüksek Lisans Tezi, *Firat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ (2017).
13. Bilgin, M., "AISI 6150 çeliğinin tornada işlenebilirliğinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (2012).

14. Şirin, E., "AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin frezede işlenebilirliğinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-30 (2010).
15. Aouici, H., Bouchelaghem, H., Yallese, M. A., Elbah, M. and Fnides, B., "Machinability investigation in hard turning of AISI D3 cold work steel with ceramic tool using response surface methodology", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 73 (9–12): 1775–1788 (2014).
16. Fnides, B., Aouici, H. and Yallese, M. A., "Cutting forces and surface roughness in hard turning of hot work steel X38CrMoV5-1 using mixed ceramic", *Mechanika*, 70 (2): 73–77 (2008).
17. Turan, A., "AISI 1040 çeliğin tornalanmasında kesme kuvvetlerinin ve titreşimlerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi", Yüksek Lisans Tezi, *Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Diyarbakır, 4 (2014).
18. İnternet: Sarıtaş, "2004 Paslanmaz Çelik Yassı Mamuller Üretimi Kullanım Standartları", <http://www2.isikun.edu.tr/personel/ahmet.aran/paslanmaz.pdf>, (2014).
19. Kuş, A., "AISI 52100 rulman çeliğinin tornalanmasında uygun kesici takım ve kesme parametrelerinin belirlenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 12-13-14-15-26-30-32-44-47-48 (2013).
20. Karayel, B., "Ç 4140 malzemesinin tornalanmasında ilerleme, kesme hızı ve kesici takımın yüzey pürüzlülüğü, takım ömrü ve aşınmaya etkileri", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-78 (2015).
21. Çiftçi, İ., "Alüminyum esaslı kompozitlerde takviye oranı ve boyutunun mekanik özellikler ve işlenebilirlik üzerine etkisinin araştırılması", Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 33-34-35-36-43 (2003).
22. Groover, M. P., "Fundamentals of Modern Manufacturing", *Journal of Chemical Information and Modeling*, 1-1028 (2013).
23. Sarıkaya, M., "Kobalt esaslı haynes 25 Süper alaşımın işlenebilirliğinin incelenmesi", Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-85 (2014).
24. Koçak, H., "GGG 90 küresel grafitli dökme demirin işlenebilirliğinin kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması açısından değerlendirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 12 (2011).
25. Taylan, F., "Sert malzemelerin frezelenmesinde takım aşınma davranışlarının belirlenmesi", Doktora Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, 1-72 (2009).

26. Çiftçi, İ., “Talaşlı imalat ders notları”, *Karabük Üniversitesi İmalat Mühendisliği Bölümü*, Karabük, (2014).
27. İnternet: Mesleki Eğitim ve Öğretim Sistemini Güçlendirme Projesi, “Temel Tornalama-1”, <http://megep.meb.gov.tr>, (2015).
28. Sur, G., “Karma takviyeli alüminyum matrisli kompozitlerin üretimi, mekanik özellikler ve işlenebilirliklerinin incelenmesi”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 104-106-107 (2008).
29. Çiftçi, İ., “Kesici takımlar ve kesme teorisi”, *Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi*, Lisans Ders Notları, Karabük, 30-34-35-36 (2008).
30. Coromant, S., “Modern Metal Cutting – A Practical Handbook”, English Edition, *Sandvik Coromant*, Sweden, I-III: (1994).
31. Yurtkuran, H., "DIN 1.2344 çeliğinin tornalanmasında oluşan kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğünün modellenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 1- 99 (2013).
32. Özçatalbaş, Y., “1050, 4140, 8620 Çeliklerinin ısıl işlemle değişen mikro yapı ve mekanik özelliklerine bağlı işlenebilirlikleri”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-63 (1996).
33. Pul, M., “Al matrisli MgO takviyeli kompozitlerinin filtrasyon yöntemi ile üretilmesi ve işlenebilirliğinin değerlendirilmesi”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 91-92-95 (2010).
34. Çev:Çakır, M. Ç., “Modern Talaşlı İmalatın Esasları”, *Nobel Yayın Dağıtım*, Ankara, 1-324 (2006).
35. Aslan, N., "Ti-6Al-4V Alaşımının işlenmesinde kriyojenik soğutmanın yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisinin araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Afyon, 1- 78 (2012).
36. Özdemir, U. and Erten, M., "Talaşlı İmalat Sırasında Kesici Takımda Meydana Gelen Hasar Mekanizmaları ve Takım Hasarını Azaltma Yöntemleri", *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, 1 (1), 37–50 (2003).
37. İşbilir, Ö., Talaş kaldırmada değişken yüklemenin takım ömrüne etkisinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 30-31-37 (2008).
38. Gündoğdu, H. E., "Kesme sıvılı ve kuru talaşlı işlemenin iş parçası ve kesici takım üzerindeki etkileri",Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-159 (2007).

39. Motorcu, A. R., “Ç1050, Ç4140 ve Ç52100 çeliklerinin işlenebilirliği ve modeller geliştirilmesi”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 14-15 (2006).
40. Trent, E. M. and Wright, P. K., "Metal Cutting", Metal Cutting, 4. Ed, *Butterworth-Heinemann*, 311-337 (2000).
41. Şenkal, D., "Yüzeyi sertleştirilmiş soğuk iş kalıp çeliklerinin tornalanması işlemlerinde takım ömrü-kesme parametreleri ilişkisinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa, 28-29 (2012).
42. Kaçal, A., Gülesin, M. and Melek, F., "GG 40 Küresel Grafitli Dökme Demirlerin İnce Tornalama Operasyonlarında Kesme Kuvvetlerinin ve Yüzey Pürüzlülüğünün Değerlendirilmesi", *Politeknik Dergisi*, 11 (3): 229–234 (2008).
43. Coromant, S., “Modern metal cutting – A practical handbook”, English Edition, *Sandvik Coromant*, Seden, I,III: (1994).
44. Sherrington , I. and Smith, E. H. , "Parameters for Characterizing The Surface Topography of Engineering Components", *Proceedings of The Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 201 (4): 297-306 (1987).
45. Kalyon, A., Günay, M., and Özyürek, D., "Application of grey relational analysis based on Taguchi method for optimizing machining parameters in hard turning of high chrome castiron." *Advances in Manufacturing* 6.4: 419-429 (2018).
46. Kalyon, A., “Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin aşınma davranışlarının ve işlenebilirliğinin deneysel olarak incelenmesi”, Doktora Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 1-96, Karabük, (2015).
47. Pınar, A. M., ve Fırat, K., "AISI 4140 Çeliğin Çok Yönlü Takımla Tornalanmasında Yüzey Pürüzlülük Performansının Optimizasyonu." *Politeknik Dergisi* 19.4: 491-498, (2016).
48. Günay, M., “ Toz metalurjisi yöntemi ile üretilmiş AlSi/SiCp kompozitlerin mekanik ve işlenebilirlik özelliklerinin araştırılması” Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2009).
49. Kannan, S., and Kishawy, H.A., “Tribological aspects of machining aluminium metal matrix composites”, *Journal of Material Processing Technology*, 198: 399-406, (2008).
50. Çiftçi, İ., Türker, M., and Şeker, U., “ Evaluation of tool wear when machining Si, C, preinforced Al-2014 alloy matrix composites” , *Materials and Design*, 25:251-255, (2004).

51. Sur, G., and Şahin, Y., “The Effect of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiN and Ti(C,N) Based CVD Coating on Tool Wear in Machining Metal Matrix Composites”, *Surface and Coatings Technology*, 179, 349-355, (2004).
52. Özçatalbaş, Y., “Investigation of Machinability Behavior of Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub>, Reinforced All Based Composite produced by Mechanical Alloying Technique”, *Composites Science and Technology*, 63, 53-61, (2003).

## ÖZGEÇMİŞ

Hilmi PEKŞEN 16.06.1993 tarihinde BOLU ilinde dünyaya geldi. İlkokul ile ortaokul eğitimini aynı şehirde tamamladı. Bolu Anadolu Teknik Lisesi Makine Bölümünden mezun oldu. 2012 yılında Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği bölümüne başladı. 2017 yılında mezun olmasının ardından Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İmalat Mühendisliği bölümünde yüksek lisans eğitimine başladı. 2017 yılında özel sektörde başladığı çalışma hayatına hala devam etmektedir.

### **ADRES BİLGİLERİ**

Adres : Akpınar Mahallesi  
Ertan Sokak No:40  
Bolu /Merkez  
Tel : (544) 398 48 21  
E-posta : hilmipeksen@gmail.com