

**AISI 52100 RULMAN ÇELİĞİNİN  
TORNALANMASINDA UYGUN KESİCİ TAKIM  
VE KESME PARAMETRELERİNİN  
BELİRLENMESİ**

**2013  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ**

**Ahmet KUŞ**

**AISI 52100 RULMAN ÇELİĞİNİN TORNALANMASINDA UYGUN KESİCİ  
TAKIM VE KESME PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ**

**Ahmet KUŞ**

**Karabük Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında  
Yüksek Lisans Tezi  
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK**

**Eylül 2013**

Ahmet KUŞ tarafından hazırlanan “AISI 52100 RULMAN ÇELİĞİNİN TORNALANMASINDA UYGUN KESİCİ TAKIM VE KESME PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ

Tez Danışmanı, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 25/09/2013

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. İhsan KORKUT (GÜ)

Üye : Prof. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Halil DEMİR (KBÜ)



...../...../2013

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Mustafa BOZ

Fen Bilimleri 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.”*

Ahmet KUŞ

## **ÖZET**

**Yüksek Lisans Tezi**

### **AISI 52100 RULMAN ÇELİĞİNİN TORNALANMASINDA UYGUN KESİCİ TAKIM VE KESME PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ**

**Ahmet KUŞ**

**Karabük Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Prof. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ**

**Eylül 2013, 90 sayfa**

Bu çalışmada, AISI 52100 (100 Cr6) rulman çeliğinin ısıtılıp işlemlenmiş olarak işlenmesinde karbür ve sermet kesici takımların performansını belirlemek amacıyla tornalama yöntemiyle işleme deneyleri yapılmıştır. Tornalama deneyleri karbür kesici takımlar için 150, 200, 250, 300 m/dk kesme hızlarında ve sermet kesici takımlar için 200, 250, 300, 350 m/dk kesme hızlarında, 0,1 mm/dev ilerleme hızı ve 0,5 mm kesme derinliğinde yapılmıştır. Deneyler sonucunda kesici takımında oluşan aşınma miktarları ve işlenmiş yüzeylerin yüzey pürüzlülük değerleri belirlenmiştir. Ayrıca, tarama elektron mikroskobu (SEM) ile kesici takım aşınmaları ve etkin aşınma mekanizmaları incelenmiştir. Farklı üreticilerden temin edilen karbür kesici takımların performanslarında farklılıklar görülmüştür. Sermet kesici takımlarda kesici uç kırılmaları ve çok miktarda çentik aşınması görülmüştür.

**Anahtar Sözcükler** : Talaşlı imalat, karbür, sermet, yüzey pürüzlülüğü.

**Bilim Kodu** : 708.3.028

## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **DETERMINATION OF SUITABLE CUTTING TOOLS AND MACHINING PARAMETERS IN TURNING OF AISI 52100 BEARING STEEL**

**Ahmet KUŞ**

**Karabük University**

**Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**Department of Manufacturing Engineering**

**Thesis Advisor:**

**Prof. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ**

**September 2013, 90 pages**

In this study, machining tests through single point turning method were carried out on AISI 52100 (100Cr6) bearing steel in order to determine the performances of various carbide and cermet cutting tools. The turning tests were conducted dry at four different cutting speeds (150, 200, 250 and 300 m/min for carbides and 200, 250, 300 and 350 m/min for cermets), 0,1 mm/rev feed rate and 0,5 mm depth of cut. The carbide tools were obtained from four different producers while the cermet tools were obtained from two different producers. Cutting tool wear and surface roughness values were determined. In addition, cutting tool wear and wear mechanisms were examined using a SEM. The carbide cutting tools obtained from the different producers exhibited differences in their performances. Cermet cutting tools were subjected to edge fractures and heavy notch wear.

**Key Word** : Machining, carbide, sermet, surface roughness.  
**Science Code** : 708.3.028



## TEŞEKKÜR

Bu tez çalıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım değerli danıőman hocam Prof. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ'ye sonsuz teőekkürlerimi sunarım. Çalıőmalarım esnasında her zaman yanımda olan ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Doç. Dr. Halil DEMİR'e ve deneyler sırasında, yine bilgisinden yararlandığım desteğini esirgmeden alıőmalarımında yardımcı olan sayın hocam Öğretim Görevlisi Mehmet BOY'a teőekkürlerimi sunarım.

Yüksek Lisans çalıőmalarım boyunca benden desteklerini hiç esirgemeyen arkadaşım Kardökmak A.Ő. alıőanlarından Hasan YAVUZ'a ve mikroyapı çalıőmalarında benden yardımlarını esirgemeyen Kardökmak A.Ő. alıőanlarından değerli büyüğüm Formen Cihan DEĞİRMENCİ'ye ve arkadaşım Adem UVADAR'a teşekkür ederim. Ayrıca, tez çalışmasında hep yanımda hissettiğim, varlıklarını destek bildiğim biricik eşim ve kızlarıma, yine beni bugünlere getiren anne ve babama őükranlarımı sunarım.

## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

KABUL.....	ii
ÖZET .....	iv
ABSTRACT .....	vi
TEŞEKKÜR .....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvi
BÖLÜM 1. ....	1
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2. ....	3
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	3
2.1. Kesme Parametreleri, Takım Aşınması ve Yüzey Pürüzlülüğü Üzerine Yapılan Çalışmalar .....	4
BÖLÜM 3. ....	12
TALAŞLI İMALAT .....	12
3.1. GİRİŞ .....	12
3.2. TALAŞLI İMALAT .....	13
3.3. TORNALAMA .....	15
3.4. İŞLENEBİLİRLİK.....	16
3.5. TALAŞLI İMALAT MEKANİĞİ VE TALAŞ OLUŞUMU .....	17
3.5.1. Dik (Ortogonal) kesme .....	19
3.5.2. Eğik kesme.....	21
3.6. TALAŞLI İMALAT İŞLEMİNDE ISI VE SICAKLIK .....	22
3.7. TALAŞ KALDIRMA OLAYINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER .....	24
3.7.1. Takım Geometrisi .....	25

	<b><u>Sayfa</u></b>
3.7.2. Kesme Hızı .....	26
3.7.3. Kesme Kuvveti ve Kesme Gücü .....	28
3.7.4. Takım Ömrü .....	29
3.7.5. Talaş Derinliği ve İlerleme Miktarı .....	30
3.8. KESİCİ TAKIMLAR .....	31
3.8.1. Kesici Takım Malzemeleri.....	31
3.8.1.1. Giriş.....	31
3.8.1.2. Sementit Karbür Kesici Takımlar .....	32
3.8.1.3. Sermetler .....	34
3.9. TAKIM AŞINMASI .....	35
3.9.1. Aşınma.....	35
3.9.2. Takım Aşınma Türleri .....	38
3.9.2.1. Abrziv Aşınma .....	38
3.9.2.2. Difüzyon Aşınması .....	39
3.9.2.3. Oksidasyon Aşınması .....	39
3.9.2.4. Yorulma ile Aşınma .....	35
3.9.2.5. Adhesiv Aşınması .....	40
3.10. TAKIM AŞINMA TİPLERİ.....	41
3.10.1. Yan Kenar Aşınması .....	41
3.10.2. Krater Aşınması.....	42
3.10.3. Plastik Deformasyon .....	43
3.10.4. Temel Çatlaklar .....	44
3.10.5. Çentik Aşınması .....	45
3.10.6. Yığılma – Sıvanma (BUE).....	46
3.10.7. Mekanik Yorulma Kırılmaları.....	47
3.10.8. Kırılma .....	48
3.10.9. Çıtlama (Tanecik Kopması) .....	48
3.11. TAKIM AŞINMASININ KONTROLÜ.....	49
3.12. TALAŞLI İMALAT İŞLEMİNDE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ .....	50
3.12.1. Yüzey Pürüzlülüğünün Önemli Olduğu Durumlar.....	52
3.12.2. Yüzey Pürüzlülüğüne Etki Eden Faktörler .....	52
3.12.3. Yüzey Pürüzlülüğünün Oluşumu .....	53

	<b><u>Sayfa</u></b>
3.12.4. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçme Teknikleri .....	54
3.12.5. Yüzey Pürüzlülük Parametreleri .....	56
3.12.5.1. Örnekleme Uzunluğu ve Örnekleme Sayısı .....	56
3.12.5.2. Ortalama Çizgisi .....	56
3.12.5.3. Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü (Ra) .....	57
BÖLÜM 4. ....	59
MALZEME VE METOD .....	59
4.1. DENEY NUMUNELERİ .....	59
4.2. KESİCİ TAKIMLAR VE TAKIM TUTUCU .....	60
4.3. KULLANILAN TAKIM TEZGAHLARI.....	61
4.4. TAKIM AŞINMASI .....	61
4.5. METALOGRAFİ VE MİKRO YAPI .....	62
4.6. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜK ÖLÇÜM CİHAZI .....	62
4.7. SERTLİK .....	63
4.8. DENEY DEĞİŞKENLERİ .....	64
BÖLÜM 5. ....	65
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA .....	65
5.1. MİKRO YAPI ANALİZİ .....	65
5.2. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜK .....	67
5.3. KESİCİ TAKIM AŞINMASI .....	80
BÖLÜM 6 .....	85
6.1. SONUÇLAR .....	85
KAYNAKLAR.....	86
ÖZGEÇMİŞ.....	90

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 3.1. Torna tezgahı ve tornalama işleminin şematik olarak gösterimi .....	16
Şekil 3.2. Talaş oluşumu .....	18
Şekil 3.3. Tipik bir talaş oluşumu .....	19
Şekil 3.4. Dik kesme modeli .....	19
Şekil 3.5. Ortogonal kesmede oluşan deformasyon bölgesi .....	21
Şekil 3.6. Eğik kesme modeli .....	22
Şekil 3.7. Kesme bölgesinde ısı oluşumu.....	23
Şekil 3.8. Sağ yönlü kesme işlemi yapan, sağ yan kesici takım .....	25
Şekil 3.9. Tornalama işleminde kesme kuvvetleri .....	28
Şekil 3.10. Kesici takımdaki aşınmalar.....	36
Şekil 3.11. Kesici takım ucundaki aşınmalar .....	37
Şekil 3.12. Metallerin işlenmesi sırasında temel aşınma mekanizmaları .....	38
Şekil 3.13. Yan kenar aşınması .....	42
Şekil 3.14. Krater aşınması .....	43
Şekil 3.15. Plastik deformasyon .....	44
Şekil 3.16. Termal çatlak .....	45
Şekil 3.17. Çentik aşınması .....	46
Şekil 3.18. BUE oluşumu .....	47
Şekil 3.19. Mekanik yorulmadan kaynaklanan kırılmalar .....	47
Şekil 3.20. Kırılma.....	48
Şekil 3.21. Çıtlamanın oluşumu .....	49
Şekil 3.22. Takım aşınma kontrolünün yapılacağı bölgeler.....	50
Şekil 3.23. Yüzey pürüzlülüğünü etkileyen faktörler .....	53
Şekil 3.24. İlerleme ve takım uç yarıçapının yüzey pürüzlülüğüne etkisi .....	54
Şekil 3.25. Örnekleme uzunluğu ve sayısı ile ölçüm uzunluğu .....	56
Şekil 3.26. Ortalama yüzey pürüzlülüğünün grafiksel ifadesi .....	57
Şekil 3.27. Ra yüzey pürüzlülük değerinin gösterimi.....	58

Şekil 4.1. AISI 52100 Rulman Çeliği İş Parçası .....	60
Şekil 4.2. Tornalama deneylerinde kullanılan takım tutucu özellikleri.....	61
Şekil 4.3. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı .....	62
Şekil 4.4. Equatıp 3 portatif sertlik ölçme cihazı.....	64
Şekil 5.1. Deneylerde kullanılan 52100 rulman çeliğinin mikro yapısı.....	66
Şekil 5.2. Karbür kesici takımlarda ortalama yüzey pürüzlülük değerleri.....	68
Şekil 5.3. Sermet kesici takımlarda ortalama yüzey pürüzlülük değerleri.....	70
Şekil 5.4. V=150 m/dk kesme hızında farklı kesici takım malzemelerine göre yüzey pürüzlülüğü .....	70
Şekil 5.5. V=200 m/dk kesme hızında farklı kesici takım malzemelerine göre yüzey pürüzlülüğü .....	71
Şekil 5.6. V=250 m/dk kesme hızında farklı kesici takım malzemelerine göre yüzey pürüzlülüğü .....	72
Şekil 5.7. V=300 m/dk kesme hızında farklı kesici takım malzemelerine göre yüzey pürüzlülüğü .....	72
Şekil 5.8. Kyocera firmasına ait karbür kesici takımın 4 farklı kesme hızındaki yüzey pürüzlülük değerleri.....	73
Şekil 5.9. Korloy firmasına ait karbür kesici takımın 4 farklı kesme hızındaki yüzey pürüzlülük değerleri.....	74
Şekil 5.10. Sandvik firmasına ait karbür kesici takımın 4 farklı kesme hızındaki yüzey pürüzlülük değerleri.....	74
Şekil 5.11. Kennametal firmasına ait karbür kesici takımın 4 farklı kesme hızındaki yüzey pürüzlülük değerleri.....	75
Şekil 5.12. Kyocera firmasına ait sermet kesici takımın 4 farklı kesme hızındaki yüzey pürüzlülük değerleri.....	76
Şekil 5.13. Korloy firmasına ait sermet kesici takımın 4 farklı kesme hızındaki yüzey pürüzlülük değerleri.....	76
Şekil 5.14. V=200 m/dk kesme hızında Kyocera ve korloy sermet kesici takımlarının 4 farklı kesme hızında yüzey pürüzlülük değerlerinin karşılaştırılması ..	77
Şekil 5.15. V=250 m/dk kesme hızında Kyocera ve korloy sermet kesici takımlarının 4 farklı kesme hızında yüzey pürüzlülük değerlerinin karşılaştırılması.....	78
Şekil 5.16. V=300 m/dk kesme hızında Kyocera ve korloy sermet kesici takımlarının 4 farklı kesme hızında yüzey pürüzlülük değerlerinin karşılaştırılması.....	78
Şekil 5.17. V=350 m/dk kesme hızında Kyocera ve korloy sermet kesici takımlarının 4 farklı kesme hızında yüzey pürüzlülük değerlerinin karşılaştırılması.....	79

Şekil 5.20. Sermet kesici takımdaki kırılmalar.....	80
Şekil 5.19. Karbür kesici takımların SEM görüntüleri a) Korloy, b) Kyocera, c) Sandvik ve d) Kennametal. ....	82
Şekil 5.20. Karbür kesici takımların yan yüzey aşınması. ....	84

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Çizelge 4.1. AISI 52100 Rulman Çeliğinin Kimyasal Bileşimi .....	59
Çizelge 4.2. Kesici Takımların Özellikleri .....	60
Çizelge 4.3. Yüzey Pürüzlülük Ölçme Cihazının Teknik Özellikleri .....	63
Çizelge 4.4. Kesici Takımların Deney Değişkenleri .....	64
Çizelge 5.1. Karbür kesici takımlarda elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri .....	67
Çizelge 5.2. Sermet kesici takımlarda elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri .....	69
Çizelge 5.3. Karbür kesici takımların kesme hızına göre yan kenar aşınma miktarları .....	83



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

V	: Kesme hızı
f	: İlerleme hızı
a	: Talaş kalınlığı
$F_C$	: Esas kesme derinliği
$F_F$	: İlerleme kuvveti
$F_R$	: Radyal kuvvet
$F_t$	: Kesme kuvveti
VBmax	: Maksimum serbest yan yüzey aşınması
VB	: Serbest yan yüzey aşınması
KT	: Krater derinliği
KB	: Krater genişliği
KM	: Krater orta eksen mesafesi
Ra	: Ortalama yüzey pürüzlülük değeri
Rt	: Pürüzlülük derinliği
Rsk	: Genlik dağılım eğrisi
$\alpha$	: Talaş açısı
L	: Örnekleme uzunluğu
Ln	: Ölçüm uzunluğu
r	: Takım uç radyüsü
fz	: Dış başına ilerleme miktarı
fn	: Devir başına ilerleme miktarı

## KISALTMALAR

- BUE : Built up edge  
C : Karbon  
Cr : Krom  
HSS : Yüksek hız çeliği  
HRc : Rockwell-C sertlik birimi  
HB : Brinel Sertlik  
SEM : Tarama elektron mikroskobu  
AISI : Amerikan Demir Ve Çelik Enstitüsü  
CNC : Bilgisayarlı Sayısal Denetim

## **BÖLÜM 1**

### **GİRİŞ**

Talaşlı imalat işlemleri en önemli imalat yöntemlerinden biridir. Döküm, dövme, haddeleme ve diğer şekillendirme yöntemleriyle üretilmiş mühendislik malzemelerinin kullanıma hazır hale getirilmesi için çoğunlukla talaşlı imalat işlemleri gereklidir. Talaşlı imalat işleminde iş parçasını (yarı mamul; döküm, dövülmüş, haddelenmiş) istenilen geometriye getirmek için üzerindeki fazlalıklar uygun takım tezgahı (torna, freze, matkap) ve kesici takım kullanılarak talaşlar şeklinde uzaklaştırılıp, istenilen boyutlar ve yüzey kalitesi sağlanır [1].

Talaşlı imalatta her türlü talaş kaldırma işleminde istenilen yüzey kalitesine sahip olabilmek için birçok kesme parametresinin uygun şekilde ayarlanması gerekmektedir. İşlenecek malzeme ve istenilen geometriye bağlı olarak kesme hızı, ilerleme, talaş derinliği, kesici takım talaş açısı, kullanılacak kesicinin cinsi, malzemesi ve geometrisinin önemli bir etkisi görülmektedir [2]. Talaşlı imalat sırasında iş parçası için uygun olmayan kesme parametreleri, iş parçasının yüzey kalitesinin yanı sıra kesicilerin kırılması, hızlı aşınması ve yanması gibi ekonomik kayıplara, tezgah boş zamanının artması veya iş parçasının bozulmasına gibi bir dizi ekonomik kayıplara neden olur [3].

Endüstriyel alanda yapılan bilimsel çalışmalar sonucu yeni teknolojik gelişmeler sağlanmaktadır. Bu teknolojik gelişmeler sayesinde endüstriyel ürünlerin üretiminde kullanılan makine ve teçhizatla birlikte üretim yöntemleri de değişmekte ve bunun doğal sonucu olarak da üretilen ürünlerin maliyeti düşmekte ve kalitesi artmaktadır [4]. Bu çalışmalar sonucu son yıllarda takım tezgahları ve kesici takımlar geliştirilerek kesme hızları daha yüksek hızlara çıkmış ve bunun neticesinde de üretim artışı meydana gelmiştir. Kesme parametrelerinden özellikle kesme hızının artırılması, en çok tercih edilen tekniktir. Çünkü kesicinin kullanılma süresini kesme

hızı doğrudan etkilemektedir. Bundan dolayı daha rijit ve güçlü ekipman (tezgah ve avadanlıklar) gerekmektedir [3].

Rulmanların üretiminde genellikle 52100 çeliği kullanılır. Ülkemizde yılda yaklaşık muhtelif boyutlarda 70 milyon rulman üretildiği düşünülürse bu rakam bilezik ve bilye üretimi de göz önüne alındığında büyük rakamlara ulaşmaktadır. Ayrıca 52100 çeliği; kollu kılavuzlarda, freze çakılarında, millerde, hassas enstrüman parçalarında, burçlarda, yataklarda, rulman bileziği ve bilyelerde, damgalama araçlarında, dişli takımlarda, ölçü aletlerinde, pimlerde, sıkma bileziklerinde, vidalarda, tezgah motor ve pompa parçalarında, makaralarda, silindir gömleklerinde ve hidrolik ekipman parçalarında kullanımı geniş olan bir çelik türüdür [5].

Bilezikler ve bilyalar, kesiti boyunca sertleşebilen, düşük alaşım, yüksek karbonlu, özel rulman çeliğinden yapılır. 52100 çeliğinin genellikle tornalama yöntemiyle şekillendirilebildiğini düşünürsek tornalamada kesici takım ile kesme parametrelerinin uygun seçilememesi toplamda ciddi kayıplara neden olabilir.

Bu çalışma, rulman üretiminde kullanılan 52100 çeliğinin ısı işlem görmeden önce farklı takımlarla kaba olarak tormalanmasında kesme hızı ve kesici takım malzemelerinin takım ömrüne etkilerini araştırma ve takım uç maliyetinin azaltılmasını sağlamak amacıyla yapılmıştır. Kesici takım olarak karbür ve sermet kullanılarak tornalama yöntemleriyle 52100 rulman çeliği üzerinden talaş kaldırılmıştır. Yapılan işleme deneyleri ile işlenmiş yüzeylerin yüzey pürüzlülük değerleri ve kesici takım aşınmaları incelenmiştir.

## BÖLÜM 2

### LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Rulman çelikleri üzerinde çok sayıda çalışma yapılmıştır. Ancak bunların önemli kısmı sertleştirilmiş rulman çelikleri üzerinedir. 52100 Rulman çelikleri ısıtılma işlemi gördüğünde oldukça sert işlenmesi zor bir malzemeye dönüşmektedir. Dolayısıyla bu çelikler ısıtılma işlemi uygulanmadan önce uygun kesici takımlarla kaba olarak işlenmektedir.

Talaşlı imalat yöntemleri (tornalama, frezeleme) imalatla önemli bir üretim metodu olup çok çeşitli parçaların işlenmesinde kullanılır. 52100 rulman çeliği de sertleştirme işlemi öncesinde önemli derecede tornalama işlemine tabi tutulmaktadır. Orta ve düşük karbonlu çeliklere ve dökme demirlere göre işlenebilirliği nispeten düşük olan 52100 rulman çeliği malzemesinin işlenmesinde kesici takımlar hızlı aşınmaktadır.

Günümüzde 52100 rulman çeliği sertleştirilmemiş durumda iken çoğunlukla karbür ve sermet kesici takımlarla işlenmektedir. Teknolojik gelişmelere paralel olarak kesici takımlar alanında da gelişmeler söz konusudur. Kesici takımların her geçen gün yeni kaliteleri üretilmektedir. Dolayısıyla rulman bilezikleri gibi çok sayıda üretilen parçaların işlenmesinde yapılabilecek en küçük bir iyileştirme dahi toplamda ciddi kazançlara neden olabilmektedir. Bu nedenle 52100 rulman çeliği malzemesinin işlenmesinde bu iyileştirme oldukça önemlidir. Uygun kesici takım kalitesi ve işleme koşullarının belirlenmesi ile bu iyileştirme gerçekleştirilebilir.

Takım ömrünü etkileyen en önemli parametreler olan, kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesme derinliği ile ilgili birçok çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalarda uygun takım ve işleme koşullarının belirlenmesi amaçlanmaktadır. İş parçası malzemesine

göre yapılan kesici takım seçimlerinde aynı malzemeyi işleyebilecek çeşitli takım seçenekleri mevcuttur.

## **2.1. AISI 52100 RULMAN ÇELİĞİ, KESME PARAMETRELERİ, TAKIMAŞINMASI VE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALAR VE DEĞERLENDİRME**

Ballıkaya, yaptığı çalışmada yeni bir yöntem olan teğetsel tornalama-frezeleme yönteminde 100Cr6 rulman çeliğinin kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerinin belirlenmesini amaçlamıştır. Bu amaç doğrultusunda deneysel çalışmalar tam faktöriyel yöntemi kullanılarak deneysel tasarım yapılmıştır. Deneysel çalışmalarda, iş parçası devri, kesici takım devri, aksenal ilerleme ve talaş derinliği gibi kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Kesme parametrelerinden kesici takım devri ve iş parçası devrinin belirli bir değere kadar artırılması ile yüzey pürüzlülüğünün iyileştiği bu değerden sonraki değerlerde tekrar arttığı belirlenmiştir. Kesme derinliğinin ve aksenal ilerleme hızının artması ile yüzey pürüzlülüğünün arttığı tespit edilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda 100Cr6 rulman çeliğinin teğetsel Tornalama-Frezeleme yöntemi ile işlenmesinde kesme parametrelerinin etkili olduğu elde edilen yüzey kalitesinin taşlamaya yakın olduğu belirlenmiştir [5].

Motorcu, Ç1050, Ç4140 ve Ç52100 çeliklerinin kaplamalı karbür, sermet, seramik ve KBN takımlar kullanılarak haddelenmiş ve ısıl işlem görmüş durumda işlenebilirliğini değerlendirdiği çalışmasında Yanıt Yüzey Tekniği (YYT), Merkezi Kompozit Tasarım (MKT) ve Taguchi Tekniği (TT) kullanılarak sistematik bir yaklaşımla deneysel veriler elde etmiş ve değerlendirmiştir. Deneysel veriler kullanılarak tahminsel takım ömrü denklemleri çıkarılmıştır. Takımların seçilen kesme şartları altında takım ömürleri belirlenmiş ve aşınma mekanizmaları incelenerek aşınma tipleri belirlenmiştir. Çeliklere uygulanan ısıl işleme değişen mikro yapılarının ve sertlik değerlerinin; işlenebilirlik ve kesici takımların performansı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Farklı kesme parametrelerinde, işlenmiş yüzeylerin yüzey pürüzlülükleri ölçülerek tahminsel yüzey pürüzlülük denklemleri çıkarılmıştır. Ayrıca, işlenebilirlik deneylerinden alınan talaş örnekleri

incelenerek iş parçası, kesici takım ve kesme parametrelerine bağlı olarak oluşan talaş tipleri belirlenmiştir. Belirtilen malzemelerinin bu takımlarla işlenmesinde kullanılacak optimal kesme şartları belirlenmiştir. Yapılan doğrulama testleri, tatminkar sonuçların elde edildiğini göstermiştir [6].

Motorcu, Isıl işlemsiz ve küreselleştirilmiş Ç52100 rulman çeliğinin farklı takımlarla işlenmesinde ana kesme parametreleri ile iş parçası ve takım sertliklerinin, takım ömrü ve takım aşınması üzerindeki etkileri araştırmıştır. Üç farklı kesici takım kullanılmıştır. Bunlar; %70 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + %30 TiC matris esaslı kaplamasız karma alümina seramik, %70 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + %30 TiC matris esaslı ve PVD yöntemiyle TiN kaplı seramik ve CVD tekniğiyle Ti(C,N)+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+Ti(C,N)+TiN kaplı karbürdür. İşlenebilirlik deneyleri kuru kesme şartları altında yapılmıştır. Taguchi deneysel tasarım tekniği kullanılmış ve probleme uygun ortogonal dizi L18(21x37) seçilmiştir. Kontrol faktörleri ve etkileşimlerinin takım ömrü üzerindeki etkileri üç boyutlu (3D) yüzey kontur grafikleri ile açıklanmıştır. Aşınmış uçların tarama elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri incelenerek takım aşınma tipleri belirlenmiştir. Isıl işlemsiz Ç52100 rulman çeliğinin işlenmesinde en iyi takım ömrü performansını kaplamalı seramik takımlar sağlamış bunu kaplamasız seramik ve kaplamalı karbür takımlar izlemiştir. Küreselleştirilmiş Ç52100 rulman çeliğinin işlenmesinde ise kaplamalı karbür takımlar daha iyi takım ömrü performansı sergilemiştir. Küreselleştirilmiş rulman çeliğinin işlenmesinde genel olarak tüm takımlarda düzenli yanak aşınması oluşmakta iken, ısıl işlemsiz rulman çeliğinin işlenmesinde yanak ve krater aşınması anlamlı bir şekilde artmıştır [7].

Koçak, biyel kolu olarak kullanılan GGG 90 sınıfı küresel grafitli dökme demir malzemesinin kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması açısından ISO 3685'e uygun olarak işlenebilirliğini araştırmıştır. Deneyler, 250 mm uzunluğunda ve 90 mm çapında numuneler üzerinde, dört farklı kesme hızında (250, 300, 350 ve 400 m/dk), üç farklı ilerleme (0,2-0,25-0,3 mm/dev) ve 1,6 mm sabit kesme derinliğinde kuru kesme şartlarında tornalanarak gerçekleştirilmiştir. Deneylerde, küresel grafitli dökme demirler için tavsiye edilen K10/20 kalite kaplamasız sementit karbür, K10/20 kalite CVD yöntemiyle kaplanmış (TiN-MT/TiCN) sementit karbür,

K05/10 kalite PVD yöntemiyle kaplanmış (TiN-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiCN-TiN) sermet ve K10/20 kalite CVD yöntemiyle kaplanmış (TiN-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) seramik takımlar kullanılmıştır. Kesme deneyleri sonrası kesici takımlar karşılaştırıldığında kaplamasız karbür takımla en iyi yüzey pürüzlülüğü elde edilmiştir. En düşük kesme kuvvetleri ise kaplamalı karbür takımla yapılan deneylerde ölçülmüştür. Sermet takım; aşınma deneylerinde en iyi performansı gösterirken, seramik takımın kesici kenarında yivler oluşmakta ve kırılarak aşınmaktadır [8].

Can, Makine imalat sektöründe sıkça kullanılan AISI 5140 çeliğinin işlenmesi sırasında, kesme değişkenlerinin, kaplama değişkenlerinin ve takım aşınmasının yüzey pürüzlülüğü üzerine etkilerini deneysel olarak incelediği çalışmada; uç yarıçapının büyümesiyle yüzey pürüzlülüğünün nispeten azaldığını gözlemlemiştir. Talaş derinliğindeki artışın yüzey pürüzlülüğüne fazla etkisinin olmadığı, yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en önemli parametrelerin ilerleme, burun kavisi ve kesme hızı olduğunu saptamıştır. Kaplama kalitesi TiAlN kaplanmış kesicilerin, sermetlerden sonra en iyi yüzey pürüzlülüğü oluşturduğu anlaşılmıştır [9].

Ulusoy, Otomotiv sektöründe kullanılan bağlantı rekorlarının imalatı için en kısa sürede, en kaliteli ve en fazla ürünü daha ucuza üretmek amacıyla yaptığı çalışmada; Bağlantı rekoru imalatında 11SMnPb37 otomat çeliğini kullanmış ve bu çeliğin tercih nedeni olarak kolay işlenmesini belirtmiştir. Çalışmada, Üretim açısından, orta karbonlu çeliklerin yerine kullanılıp kullanılmayacağını araştırmıştır. Üretimde farklı ilerleme ve kesme hızlarını kullanmıştır. Ayrıca malzeme çeşidine göre kesme hızı, ilerleme hızı, yüzey pürüzlülüğü, üretim süreleri ve yıllık üretim adetlerini hesaplamış ve birbiri ile karşılaştırmıştır. Sonuç olarak, ilerleme hızının artmasıyla imalat sürelerinin azaldığı ve yüzey pürüzlülüğünün arttığı görülmüştür. Ç1040 çeliği kullanımında takım ömrü azalırken yüzey kalitesi artmıştır. Malzemelere göre yıllık üretim adetleri değerlendirildiğinde ise, Ç1040 çeliği kullanımının daha avantajlı olduğu tespit edilmiştir [10].

Çevik, tornalama işlemi esnasında hızlı kesici takım aşınmasına neden olan malzemelerin işlenmesinde kesici takım ömrünü iyileştirmeye yönelik bir yaklaşım önermiştir. Bu yaklaşımda, aşınmış kesici takımın yan boşluk açısının değiştirilmesi



amaçlanmıştır. Bu şekilde, kesici takım yan yüzeyindeki yan yüzey aşınma bandının ikinci bir yan boşluk açısı olarak işlem yapacağı düşünülmüştür. Bu amaçla, sementit karbür bir kesici takım kullanılarak küresel grafitli dökme demirler üzerinde talaş kaldırma deneyleri yapılmıştır. Kesici takım yan boşluk açılarını 3, 5, 7 ve 9° olarak değiştirecek şekilde takım tutucu altına kamalar yerleştirilmiştir. Boşluk açısının değiştirilmesi sonucu aşınmış bir kesici takımın kesme işlemini tekrar etkin olarak yapabileceğinin belirlemek için deneyler esnasında kesme kuvvetleri ölçülmüştür. Elde edilen kesme kuvvetleri sonuçları, aşınmış bir kesici takımın boşluk açısının değiştirilmesi ile bu takımın belirli bir süre daha etkin olarak kesme işlemi yapabileceğinin göstermiştir [11].

Altinkaya, yaptığı çalışmada; üç değişik kaplama ve formda kesici uç kullanarak AISI 316 östenitik paslanmaz çeliği frezeleme metoduyla soğutma sıvısı kullanmadan işlemiştir. İşleme esnasında her bir kaplamalı takımla üç değişik kesme hızı (180, 225, 270 m/dk) ve üç değişik ilerleme oranı, (0,05, 0,1, 0,15 mm/dev) talaş derinliği sabit tutularak ayrı ayrı uygulanmıştır. Sonuç olarak kullanılan kesici takımlardan TiAlN malzemesiyle kaplanmış takımın diğer takımlardan daha iyi aşınma ve yüzey pürüzlülük sonuçları verdiği ortaya çıkmıştır. TiAlN kaplı kesici takım sırasıyla TiN/TiCN/TiN kaplanmış takım ve TiN/TiCN/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplanmış takım takip etmiştir. Takım aşınmaları genel olarak kesme hızının artmasıyla artmış, ilerleme değerlerinin artmasıyla azalmıştır. Yüzey pürüzlülük değerleri ise genel olarak kesme hızının artmasıyla azalmış, ilerlemenin artmasıyla artış eğilimi göstermiştir [12].

İşbilir, Talaş kaldırmada kesme hızının ve değişken yüklemenin kesici takım ömrüne etkilerini incelediği çalışmada; Sabit ve değişken yükleme koşullarında talaş kaldırma testleri gerçekleştirmiştir. Oluşturulan kuvvet ölçüm sistemi ile esas kesme kuvvetleri ölçülmüş ve takım aşınması incelenerek takım ömürleri belirlenmiştir. Testler sonucunda, kesme hızındaki artışın ve değişken yüklemenin takım ömrünü azalttığı tespit edilmiştir [13].

Çiftçi, Sıvı metal karıştırma- basınçlı döküm yöntemiyle ortalama 30, 45 ve 110 µm boyutlu SiC parçacıklardan ağırlıkça %8, 16 ve 32 oranlarında içeren 2014-Al esaslı metal matrisli kompozit (MMS) malzemeler üretmiştir. Üretilen MMK malzemelerin mikroyapı ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Kaplamasız sementit karbür, kaplamalı sementit karbür, kübik bor nitrit (CBN) ve elmas kaplamalı sementit karbür kesici takımlar kullanılarak MMK malzemeler işlenebilirlik deneylerine tabi tutulmuştur. İşlenebilirlik deneyleri tornalama yöntemiyle, soğutma sıvısı kullanılmadan yapılmış ve işlenebilirlik kriterlerinden kesici takım aşınması ve iş parçası yüzey pürüzlülüğü incelenmiştir. Ayrıca, elmas kaplamalı sementit karbür kesici takımlarla işleme esnasında kesme kuvvetleri de ölçülmüştür. Deneyler farklı kesme hızları, sabit talaş derinliği ve sabit ilerleme hızında yapılmıştır. Artan parçacık oranı ve boyutu ile kullanılan bütün kesici takımlarda aşınma artmıştır. CBN kesici takımlar haricinde artan kesme hızıyla da kesici takım aşınması artmıştır. CBN kesici takımlar sergilemiştir. Elmas kaplamalı sementit karbürler diğer sementit karbürlerden daha iyi aşınma direnci gösterirken en düşük aşınma direncini de kaplamasız sementit karbürler göstermiştir. Kaplamasız ve kaplamalı sementit karbür kesici takımlarla elde edilen yüzeyler arasında bir karşılaştırma yapıldığında kaplamasız sementit karbürlerin ortalama yüzey pürüzlülük değerine (Ra) göre özellikle düşük kesme hızlarında daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Kaplamalı sementit karbür kesici takımlarda daha kararlı bir yığıntı talaş oluştuğu ve bununda daha yüksek (Ra) değerlerine sebep olduğu düşünülmüştür. Aşınmış kesici takımlar optik ve tarama elektron mikroskoplarında (SEM) incelenerek aşınma biçimleri ve mekanizmaları belirlenmeye çalışılmıştır. Bütün kesici takımlarda etkin olan aşınma biçimi yan yüzey aşınması olmuştur. Kaplamasız ve kaplamalı sementit karbürlerde abrasif aşınma mekanizmasının etkili olduğu ve yüksek kesme hızlarında da ilave olarak kesici uçta kırılmalar görülmüştür. Elmas kaplamalı sementit karbürler ve CBN kesici takımlarda ise abrasif ve adhesiv aşınma mekanizmalarının birlikte etkili oldukları görülmüştür. Ayrıca, en büyük boyutlu parçacıklarla (110 µm ) takviyeli MMK malzemenin CBN kesici takımla işlenmesinde kesici uçta yoğun bir şekilde kırılmalar görülmüştür [14].

Taylan, ISO 1.2842 (90MnCrV8)'nin delinebilirliği için kuru kesme koşulları altında optimum delme şartlarını tespit etmek amacıyla yaptığı çalışmada; sertleştirilmiş

çelik 90MnCrV8'in kaplamalı ve kaplamasız karbür matkaplarla delinmesi esnasında kesme parametrelerinin; kesme kuvvetleri ve takım aşınması üzerindeki etkisi incelenmiştir. Kaplamasız, AlTiN ve TiAlN kaplı karbür matkaplar kullanılarak kuru kesme şartlarında CNC dik işleme merkezinde talaş kaldırılmıştır. Yapılan deneyler Taguchi Deney Tasarımı yöntemiyle planlanmış ve deney sonuçlarına göre optimizasyon ve doğrulama deneyleri yapılmıştır. Kesme parametreleri olarak üç farklı kesme hızı 40, 45, 50 m/dk ve üç farklı ilerleme 0.006, 0.008, 0.01 mm/dev kullanılmıştır. Bu kesme parametreleri kullanılarak 3 mm çapında matkaplarla 12 mm derinliğinde kör delikler delinmiştir. Kesme kuvvetleri ve takım aşınma değerleri ölçülmüş ve bu ölçümler ışığında kesici takımlar arasında mukayese yoluyla bir değerlendirme yapılmıştır. 90MnCrV8'in kuru kesme şartlarında (7 bar basınçlı hava soğutma ile) delinmesinde en iyi performans AlTiN kaplı takımlardan alınırken, en kötü sonuçlar ise kaplamasız takımlardan alınmıştır [15].

Demirayak, yaptığı çalışmada; kesme parametreleri (kesme hızı, ilerleme oranı, talaş derinliği) ve kesici takım kaplama tabakasının, kesici takımında meydana gelen serbest yüzey aşınması ve iş parçası yüzey kalitesi üzerindeki etkileri araştırmıştır. İncelemeler sonrasında TiAlN kaplamalı uçların T(C,N)+ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + TiN kaplamalı uçlara göre hem kesici kenarda meydana serbest yüzey aşınmasında hem de iş parçası yüzey kalitesi üzerinde çok olumlu etkilerinin olduğu gözlemlenmiştir [16].

Gürbüz ve Arkadaşları, kesici takım kesici kenar formu ve talaş kırıcı formlarının, talaş kaldırmayla oluşan kesme kuvvetlerine ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi deneysel olarak araştırmışlardır. Deneylerde AISI 316L paslanmaz çelik malzemesi için ISO 3685'e uygun 75 derece yanaşma açısına sahip SNMG 120408 formunda, CVD kaplı (M25) kalitesinde sementit karbür kesici takımlar ile buna uygun PSBNR 2525M12 formunda takım tutucu kullanılmıştır. Üç farklı talaş kırıcı ve kesici kenar formu (MR-MM-QM) için de kesme derinliği ve ilerleme değeri arttığında kesme kuvvetlerinin arttığı, buna karşın kesme hızındaki artışla birlikte kesme kuvvetlerinin azaldığı görülmüştür. Genellikle en yüksek kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü değerleri MR talaş kırıcı formunda, en düşük kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü değerleri QM talaş kırıcı formunda elde edilmiştir. MR-MM-QM talaş kırıcı ve

kesici kenar formu için, kesme hızındaki artışa bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü değerlerinin düştüğü, fakat kesme derinliği ve ilerlemedeki artışla birlikte yüzey pürüzlülüğü değerlerinin arttığı görülmüştür [17].

Yazman, yaptığı çalışmada; Kaplamasız ve yüksek kesme hızlarında kaplamalı kesici takımlar kullanılarak kesme parametrelerinden, kesme hızı, talaş derinliği değişken değerlerde alınarak ÖKGDD'lerin işlenmesinde en uygun koşulların belirlenmesi amaçlamıştır. ÖKGDD'lerin işlenebilirliğinin değerlendirilmesinde, kesici takım aşınması, kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü, talaş morfolojisi ve yığıntı talaş oluşumu gibi kriterler baz alınmıştır. İşlenebilirlik deneyleri ISO 3685'te belirtilen şartlara uygun olarak yapılmıştır. KGDD numuneler ilk olarak 900 °C'de 90 dakika östenitlemeden sonra, tuz ergiyiğinde 380 °C'de 90 dakika östemperlenmiştir. Talaş kaldırma işlemlerinde kullanılan kesici takımlar ISO 1832'ye uygun SCMT 120408–19 formunda seçilmiş olup, takım tutucu biçimleri ise ISO 5608'e göre SSBCR 2525M–12 olarak seçilmiştir. Kaplamasız takımlarda K10, K10/20, K20 ve kaplamalı (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve TiC) takımlarda K05/K20 kaliteleri seçilmiştir. İşlenebilirlik deneyleri sonucunda, kaplamalı takımlarla yüksek kesme hızlarında yapılan talaş kaldırma işlemlerinde aşınma ve yüzey pürüzlülüğü açısından kaplamasız takımlara göre daha iyi bir performans elde edilmesine rağmen, fakat kaplamalı takımlarda ani uç kırılmaları gözlenmiştir. Düşük kesme hızlarında meydana gelen yığıntı talaş kesme kuvvetlerini ve yüzey pürüzlülüğünü olumsuz yönde etkilemektedir. Talaş derinliğinin artmasıyla kesme kuvvetlerinde artış gözlenmiş olup, talaş derinliğinin yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınmasına fazla bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Kaplamalı takımlarla yapılan deneylerde talaş derinliği arttıkça yüzey pürüzlülüğü iyileşmiştir, bunun tam tersi olarak kaplamasız takımlarla yapılan deneylerde talaş derinliği arttıkça yüzey pürüzlülüğünde artış görülmüştür [18].

Literatür araştırmasında çalışmanın amacı dikkate alınarak bir değerlendirme yapılmıştır. Bu değerlendirme sonucunda aşağıda belirtilen hususların ön plana çıktığı görülmektedir

Kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne ve takım aşınmasına etkisi ile ilgili çalışmalarda, farklı malzemeler kullanılarak kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği

gibi kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisinin araştırılması, kesme parametrelerinin takım aşınmasına etkisinin tespiti ve uygun kesici takımın bulunması gibi konuların incelendiği ve elde edilen sonuçların değerlendirildiği görülmüştür.

Bu deneysel çalışmada AISI 52100 rulman çeliğinin tornalama operasyonlarındaki bitirme işlemlerinde, istenilen yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınmasını tespit etmek bakımından en uygun kesici takım malzemesi ve uygun kesme değişkenlerini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Çalışmalara başlamadan önce daha önce yapılan çalışmalar incelenmiş ve bu çalışmalardaki öneriler de dikkate alınmıştır.

## BÖLÜM 3

### TALAŞLI İMALAT VE İŞLENEBİLİRLİK

#### 3.1. Giriş

İmalatın amacı, hammadde ile ürün arasındaki dönüşümü sağlamaktır. Bu dönüşümün sağlanabilmesi için pek çok değişik teknolojik yöntemler kullanılabilir. İmal Usulleri adı verilen bu teknolojik yöntemler, talaşlı imalat ve talaşsız imalat yöntemleri olarak iki temel gruba ayrılabilir. Bu iki temel grup arasındaki fark; talaşlı imalat yöntemlerinde (tornalama, frezeleme, planyalama) hammadde-ürün dönüşümü sırasında hammadde üzerinden talaş kaldırılması, talaşsız imalat yöntemlerinde (kaynak, döküm, dövme) ise hammadde üzerinden talaş kaldırmadan bu dönüşümün sağlanabilmesidir [19].

Makine parçalarının büyük çoğunluğu talaşlı imalat yöntemiyle elde edildiğinden dolayı ekonomik faktörler üzerinde bu yöntem önemli bir etkiye sahiptir. Bu doğrultuda talaş kaldırmayı etkileyen faktörleri optimize etmek demek maliyeti de optimize etmek demektir. Talaş kaldırmayı etkileyen faktörler: kesici takım, işlenen malzeme kesme parametreleri ve tezgah durumu gibi başlıklar altında toplanılabilir. Talaşlı imalatı etkileyen faktörler içerisinde, malzemeye göre kesici takım seçimi önemlidir. Malzeme için seçilen kesici takımın performansı yüksek olursa, takımla işlenen parça sayısı artar ve maliyet düşer. Takım ömrü açısından bakıldığında, aynı malzeme için her bir kesici kenarın işlediği iş parçası sayısı, takımın hız çeliği olması halinde 2,5 iken çok katlı, kaplamalı sinterlenmiş karbür takımlarla 60 civarındadır [8].

Talaşlı imalat işleminde işleme parametrelerin malzemeye uygun seçilmemesi kesicilerin kırılması, hızlı aşınması ve deformasyonu gibi istenmeyen sıkıntılara neden olur. Bu durum, tezgah boş zamanının artması, iş parçasının ölçü tamlığının

bozulması veya işin kalitesinin yeni bir işlem gerektirecek derecede yetersizliği gibi bir dizi ekonomik kayıplara sebep olacaktır. Malzemenin işlenebilirlik özelliği önceden iyi tespit edilmemişse bu kayıplar kaçınılmazdır [20].

Metal kesme işlemi teknolojisi, talaşlı imalat işlemi ile ilgisi olan bütün endüstri dallarından yapılan katkılarla arttırılmıştır. Karbon takım çeliklerinin yerine yüksek hız ve sementit karbür kesici takımlar kullanılarak kesme hızları önemli derecede arttırılmıştır. Bu işlemler sonucu da makine takım imalatçıları kesici takımdan en üst düzeyde yararlanılacak şekilde kesici takım tasarlamaya başlamışlardır. Bunun sonucu olarak da otomatik makinalarla ve bilgisayarlı sayısal kontrollü makinalarla İşçilik maliyetleri azalmıştır. Takım tasarımcıları ve talaşlı imalat uzmanları kesici takım ömrünü ve kesme hızlarını arttırmak için kesici takım geometrilerini optimize etmişlerdir. Aynı zamanda soğutma sıvısı imal edenler de soğutma sıvıları ve yağlayıcılar geliştirerek takım ömrünü ve yüzey kalitesini iyileştirmeye çalışmışlardır [21].

Günümüzde talaşlı imalat, endüstrinin çok çeşitli dallarında önemli bir üretim yöntemi olarak kullanılmaktadır. Otomobil ve motor, kalıp, elektrik, demiryolu gemi, uçak ve uzay araçları, savunma sanayi ve benzer endüstriyel alanlar talaşlı imalat işlemlerinin yaygın olarak kullanıldığı endüstri dallarıdır [21].

### **3.2. Talaşlı İmalat**

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

Döküm, dövme, haddeleme ve diğer şekillendirme yöntemleriyle üretilmiş mühendislik malzemelerinin kullanıma hazır hale getirilmesi için çoğunlukla talaşlı imalat işlemlerine maruz kalmaları gerekir. Uzay ve havacılık, otomotiv ve kalıp gibi endüstriyel alanlarda çoğu ürüne son şekli talaşlı imalat işlemleriyle verilir.

Tornalama, frezeleme, planyalama ve delme talaşlı imalat işlemlerine örnek olarak verilebilir [21].

Talaşlı imalat işlemiyle;

1. Çok çeşitli malzemeler talaşlı imalat yöntemiyle şekillendirilebilir. Gerçekte bütün katı malzemeler işlenebilir. Polimer ve polimer esaslı kompozitler de talaşlı imalat yöntemiyle işlenebilir.
2. Talaşlı imalat işlemiyle düz ve dairesel yüzeyler gibi düzenli geometriler oluşturulabilir. Birkaç talaşlı imalat işlemi sırasıyla uygulanarak hemen hemen bütün karmaşık geometriler elde edilebilir.
3. Talaşlı imalat işlemiyle iş parçası ölçüleri çok yakın toleranslarda elde edilebilir ve çok iyi yüzey kalitesi elde edilebilir [11, 21].

Bu özellikler dikkate alındığında talaşlı imalatın en önemli imalat yöntemlerinden biri olduğu anlaşılmaktadır.

Talaşlı imalat işlemlerinde üç temel kavram mevcuttur. Bunlardan en önemlisi kesme hızıdır. Bu önemli parametrelerin tornalama işlemlerine göre tanımlarını aşağıdaki şekilde yapabiliriz.

Kesme hızı ( $V$ ), kesilmemiş iş parçası yüzeyindeki bir noktanın kesici takım önünde birim zamanda aldığı yol olarak tanımlanır ve çoğunlukla m/dk olarak ifade edilir.

İlerleme hızı ( $f$ ), iş parçası malzemesinin her bir dönüşünde kesici takımın iş parçası eksenine paralel olarak kat ettiği mesafe olup birimi mm/dev 'dir.

Talaş kalınlığı ( $a$ ), iş parçası malzemesinden kaldırılan malzemenin derinliğidir ve iş parçası eksenine dik yönde ölçülür.

Bu üç kesme parametresinin çarpımıyla ekseriyetle metal kesme işleminin verimliliğini ifade eden talaş kaldırma oranı bulunur.



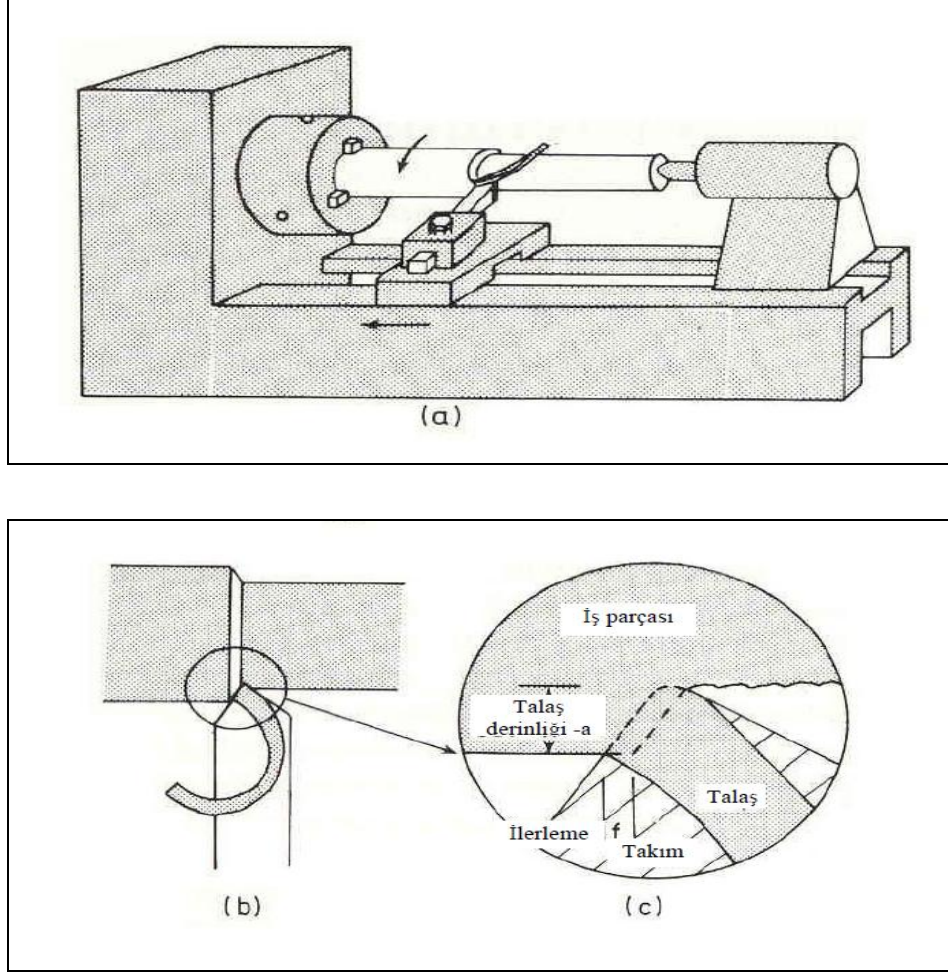
Talaşlı imalat yöntemleriyle farklı geometrilerdeki iş parçalarını şekillendirebilmek için çeşitli talaşlı imalat işlemleri ve bu işlemlere özgü takım tezgâhları geliştirilmiştir. Bu işlemlerin her birisi belirli geometrilerdeki şekilleri ve yüzeyleri oluşturmak amacıyla gerçekleştirilir. Ancak bu tez kapsamında tornalama ayrıntılı olarak incelenecektir.

### **3.3. Tornalama**

Tornalama işlemi talaşlı imalat ile ilgili yapılan deneysel çalışmalarda en çok kullanılan talaşlı imalat yöntemidir. Etkin bir talaşlı imalat işlemi olan tornalama işlemi dairesel iş parçalarının işlenmesinde kullanılır. İşlenecek olan iş parçası genelde bir aynaya bağlanarak döndürülür. Bir takım tutucu üzerine rijit olarak bağlanmış kesici takım dönen iş parçası ekseninde ilerletilerek ve iş parçasından bir katman kaldırılarak, dairesel veya daha karmaşık profilli yüzeyler oluşturulur. Şekil 3.1 torna tezgahı ve tornalama işlemini şematik olarak göstermektedir [14, 22].

Tornalama, belirli geometrik yapıda kesici kenarları olan takımlarla (kalemlerle) dönen iş parçasından dairesel olarak talaş kaldırma işlemidir. Genel olarak İş parçasına dönme hareketi uygulanır. Kesici takım sıkı olarak bağlanır ve işlenmesi gereken yüzey boyunca kesici takıma kumanda edilir. Özel durumlarda, kesici takımada dönme hareketi yaptırılabilir [23].

Torna tezgahında silindirik tornalama, delik delme, raybalama, kılavuz çekme, pafta çekme, konik tornalama, alın tornalama, vida çekme... gibi işlemlerin yanında taşlama, frezeleme, profil tornalama, yay sarma, demir, çelik, ağaç, plastik alaşımlar ve yumuşak gereçlere istenilen şekil ve biçim verme işlemleri uygulanabilir [23].



Şekil 3.1. Torna tezgahı ve tornalama işleminin şematik olarak gösterimi [11].

### 3.4. İşlenebilirlik

İşlenebilirlik “bir malzemenin istenilen biçimde, boyutta ve yüzey kalitesinde işlenmesinin kolaylığını veya zorluğunu gösteren bir kavramdır” [24].

Bir başka araştırmacıya göre ise “ işlenebilirlik, bir malzemenin talaş kaldırma işlemini etkileyen özelliklerinin tamamı ve talaş kaldırma yöntemleri ile üretimin kolaylığı veya zorluğudur” [24].

İş parçasının kimyasal bileşimi, mikro yapısı, ısıl işlem, saflık vb. bütün değişkenler işlenebilirliği etkiler. Talaş oluşumu, takım aşınması, bitirme yüzeyi kalitesi ve kesme kuvvetleri gibi işlenebilirlik karakteristikleri ile iş parçasının işlenebilirliği

belirlenebilir. Fakat bu karakteristiklerin işleme parametrelerine de bağımlılığı önemlidir.

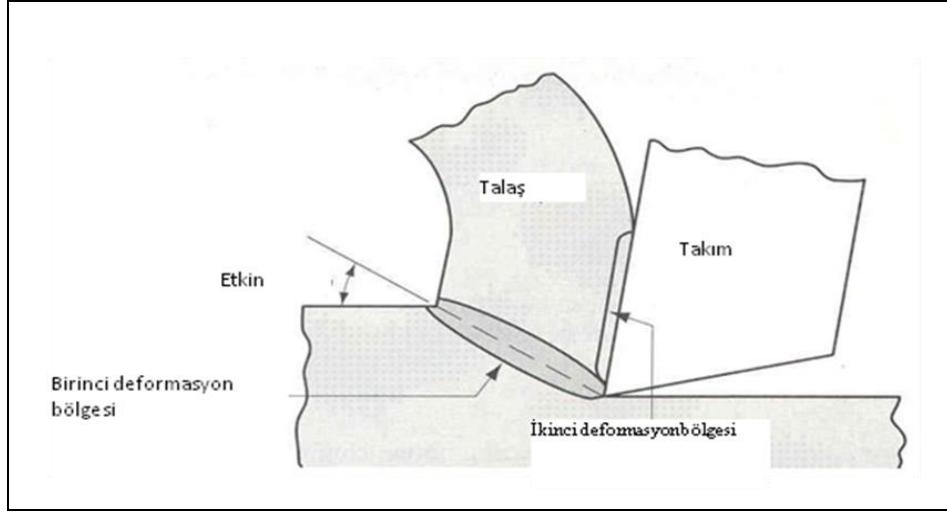
İşlenebilirlik, ekseriyetle malzemenin özgül bir özelliği olarak algılansa da, işlenebilirlik sadece işlenen malzemeye bağlı olmayıp aynı zamanda işleme yöntemi ve işleme parametrelerine de bağlıdır [24].

İşlenebilirliği aynı zamanda talaş kaldırmayı etkileyen faktörler,

1. Kesici takımında meydana gelen yüksek sıcaklık, aşınma, titreşim ve kesme kuvvetlerinden,
2. Kesme değişkenleri olan kesme hızı, ilerleme, talaş derinliği ve soğutma sıvısından,
3. Malzemenin kimyasal içeriğinden, mikro yapısından ve ısıl işlem geçmişinden,
4. İşlenmiş yüzey ile ilgili olan kalıntı gerilmelerden, yüzey-yüzey altı sertliğinden, mikro yapıdaki değişimlerden ve yüzey deseninden, etkilenmektedir [25].

### **3.5. Talaşlı İmalat Mekanikliği ve Talaş Oluşumu**

Tornalama, frezeleme, delme ve vida açma gibi talaşlı imalat işlemlerinde iş parçası yüzeyinden talaşlar şeklinde malzemeler kaldırılır. Talaşlı imalat işlemi farklılık gösterse de (tornalama, frezeleme vb.) talaş oluşum mekanizması temelde aynıdır. Esas olarak, talaş, bölgesel bir kayma işlemi ile çok dar bir bölgede gerçekleşir (Şekil 3.2’de birinci deformasyon bölgesi). Kesici takımın iş parçası ile teması geçmesiyle öncelikle iş parçasında elastik (geçici) deformasyon oluşur. Devam eden kesme süreci ile daha sonra iş parçasının akma dayanımı geçilir ve iş parçası malzemesi plastik (kalıcı) olarak deformasyona uğrar (kalıcı olarak şekil değiştirir). Kesici takım ve iş parçasının nispi hareketi ile plastik şekil değiştirmenin devam etmesi esnasında tavllanmış iş parçası malzemesinde yüksek dislokasyon birikmesi oluşur. Yüksek dislokasyon birikmesi de iş parçasında deformasyon sertleşmesine neden olur. Deformasyon sertleşmesi bir doyum noktasına ulaştığında iş parçası kaymaya maruz kalır ve deformasyona uğrayan bölge kesici takım talaş yüzeyinden koparılarak talaşlar şeklinde atılır [26].

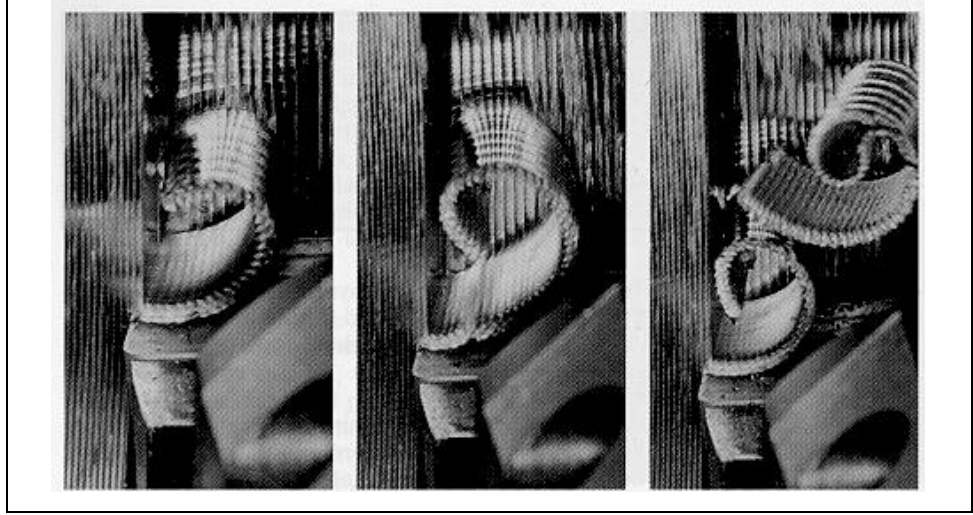


Şekil 3.2. Talaş oluşumu [11, 26].

Talaşın oluşması için üç temel gereksinim mevcut olup bunlar şöyle özetlenebilir:

1. Kesici olarak kullanılan bir takımın, iş parçasından daha sert ve aşınmaya karşı daha dirençli olması,
2. Talaş derinliği ve ilerlemeyle iş parçası ve takım arasında dalmayı sağlayan kesici uç geometrisine sahip olması,
3. İş parçası malzemesinin direncini yeterli kuvvetle yenmesi için iş parçası ve takım arasında bir kesme hızı veya nispi hareketin oluşmasıdır [8].

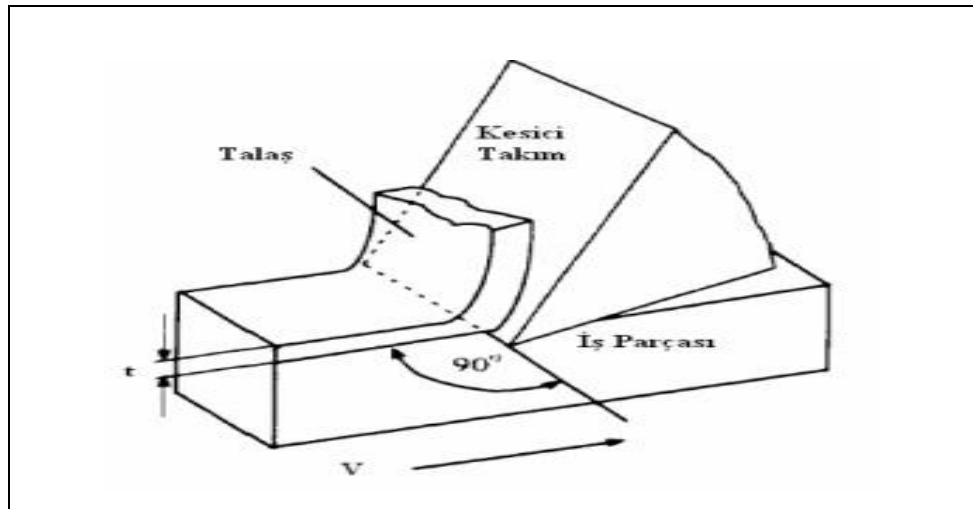
Talaş oluşumu ilk kıvrılma ile başlar ve kesme verileri (özellikle ilerleme ve Talaş derinliği), talaş açısı, iş parçası malzemesinin tipi ve koşulları, köşe radyüsünün büyüklüğü gibi faktörlerden etkilenir. Belirli bir uzunluğa kadar dairesel şekilli veya helisel talaşlar en uygun talaş kesitleridir ve ancak çok iyi tasarlanmış bir kesici geometrisi ile elde edilirler. Şekil 3.3'de tipik bir talaş kırma işlemi gösterilmiştir [16].



Şekil 3.3. Tipik bir talaş kırma işlemi [16].

### 3.5.1. Dik (Ortogonal) Kesme

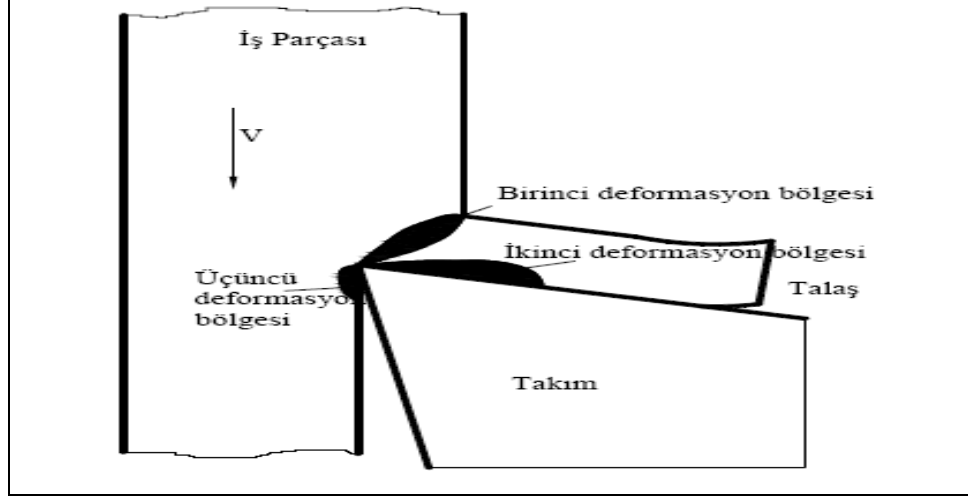
Talaş kaldırma alanında ilk büyük gelişme Merchant'ın çalışmaları sayesinde olmuştur. Merchant dik (Ortogonal) kesme adını taşıyan bir model oluşturmuştur. Talaş kaldırma işleminin fiziksel ve teorik analizi genelde bu model esas alınarak yapılır. Burada kama şeklinde ve kesme ağzı kesme hız vektörüne dik olan takım, talaş yüzeyi ve serbest yüzey ile sınırlıdır. Talaş yüzeyi talaşın temas ettiği yüzeydir. Serbest yüzey ise parçanın işlenmiş yüzeyine dönük yüzeydir. Bu iki yüzeyin kesişmesi takım ucunu meydana getirir. Şekil 3.4'de dik kesme modelinin şematik şekli görülmektedir [22].



Şekil 3.4. Dik kesme modeli [22].

Ortogonal kesme, kesme kenarı, kesme hızına (V) dik olan düz takım ile şekillendirme işlemine benzer. Kesme genişliği (b) ve kesme derinliği (paso) (a) ile metal talaş, iş parçasından kesilerek ayrılır. Ortogonal kesmede kesme işlemi kesme kenarı boyunca uniform olarak düşünülür. Böylelikle malzemenin kenarına yayılma olmaksızın iki boyutlu düz birim şekil değiştirme işlemi gerçekleşmiş olur. Dolayısıyla, kesme kuvvetleri sadece esas kesme kuvveti ( $F_c$ ) ve ilerleme kuvveti ( $F_f$ ) olarak isimlendirilen hız ve kesilmemiş talaş kalınlığı doğrultusunda güç sarf eder [15].

Şekil 3.4. ortogonal kesmenin kesit görünüşünden de anlaşılacağı üzere kesme işleminde üç adet şekil değiştirme (deformasyon) bölgesi vardır. Takım kenarı iş parçasına dalarken takımın malzeme içerisinde hareketiyle bir talaş formu oluşmaya başlar ve ilk kayma bölgesi oluşur. Malzemenin kesilmesiyle talaş kısmen şekil değiştirir ve takımın talaş yüzeyi boyunca hareketiyle ikinci deformasyon bölgesi oluşur. Takımın yan yüzeyindeki sürtünme bölgesinde ise üçüncü bölge meydana gelir. Talaş başlangıçta takımın talaş yüzeyine yapışır ve burada yapışma bölgesi oluşur. Kayma alanındaki (talaşın takım talaş yüzeyinde ilerlediği) sürtünme gerilmesi yaklaşık olarak malzemenin kayma gerilmesine eşittir. Talaş yapışma olayı biter ve sürekli kayma sürtünmesiyle talaş yüzeyinde talaş akması başlar. Talaş takımdan ayrılır, takımın talaş yüzeyi ile temas kaybolur. Temas uzunluğu kesme hızı, takım geometrisi ve malzeme özelliklerine bağlıdır. Birincil kesme bölgesinin analizinde basit olarak iki tip varsayım vardır. Merchant ince tabakalar için kesme bölgesinin tahmin edilmesinde bir ortogonal kesme modeli geliştirmiştir. Lee, Shaffer, Palmer ve Oxley plastisite kanunlarıyla uyumlu kayma deformasyon bölgesinde “kayma açısı tahmini” yapabilen kendilerine ait analiz oluşturmuşlardır. Bu çalışmada birincil kayma deformasyon bölgesi ince alanlar için tahmin edilmiştir. Deformasyon geometrisi ve kesme kuvvetleri Şekil 3.5’de ortogonal kesmenin kesitiyle gösterilmektedir [15].



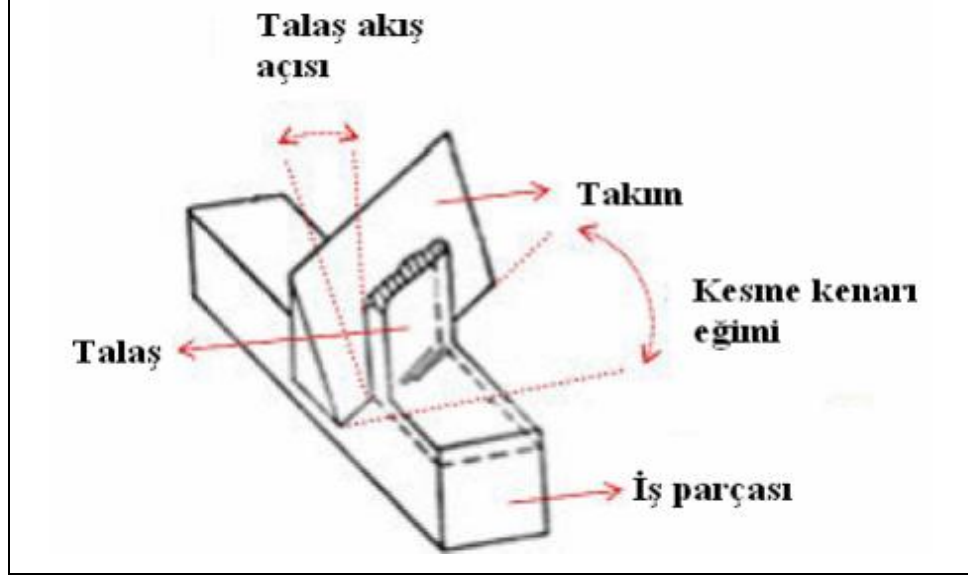
Şekil 3.5. Ortogonal kesmede oluşan deformasyon bölgeleri [15].

### 3.5.2. Eğik (Oblique) Kesme

Talaş kaldırma teorisinde dik modelin yanı sıra; takımın kesme kenarı kesme hız vektörüne eğik olan eğik modelde kullanılmaktadır. Talaş, takımla parçadan kaldırılan malzeme tabakasıdır. Teorik hesaplamalarda şekil değiştirmemiş talaş kalınlığı ve genişliği esas alınır. Parçadan ayrılan talaş ile teorik talaş boyutları birbirinden farklıdır. Parçadan ayrılan talaş daha kalın ve daha kısadır.

Talaşlı imalatta kesme kuvvetlerine ait ilk çalışmalar ve matematiksel ifadeleri Merchant tarafından 1940 yılında geliştirilmiştir. Merchant talaş kaldırma olayını fiziksel yönden incelemiş ve talaşın nasıl meydana geldiğini açıklamaya çalışmıştır. Çalışmaları sonucunda dik bir modeli ortaya atmış ve takımın etkisi altında kaldırılacak malzemenin önce elastik ve sonra plastik bir şekil-değiştirme göstererek; takımın kesme yönü ile belirli bir açı yapan bir düzlemde talaş olarak ana malzemedan ayrıldığını varsaymıştır [22].

Insert kesme kenarının iş parçası kesici takım hareketine açılı olması durumunda (Şekil 3.6.) eğik (oblique) kesme olarak tanımlanmaktadır.

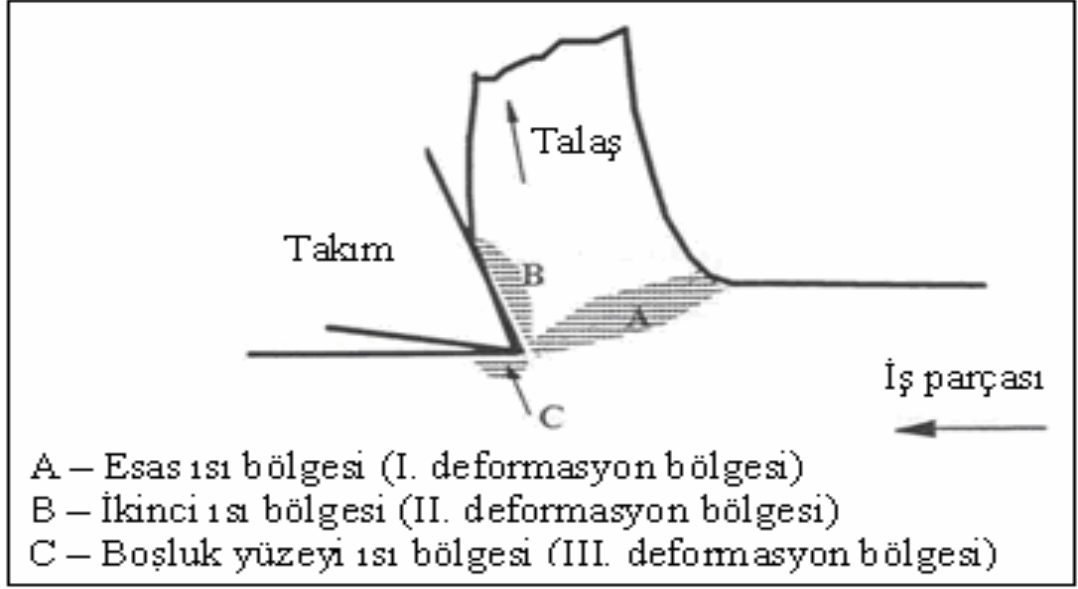


Şekil 3.6. Eğik kesme [22].

### 3.6. Talaşlı İmalat İşleminde Isı ve Sıcaklık

Talaşlı imalat işleminde kullanılan güç ekseriyetle ısıya dönüşerek talaşın, iş parçasının ve kesici takımın sıcaklığını arttırdığı için talaşlı imalatın ekonomik ve teknik yönü ile ilgili problemler doğrudan ve dolaylı olarak bu ısı oluşumu ile ilgilidir. Sıcaklık artışı, metal kesme işlemi esnasında oluşan ısı ve aynı zamanda bu ısının uzaklaştırılması durumuna bağlıdır. Oluşan ısı sonucu sıcaklık artışı kesici takım performansını ve iş parçası kalitesini etkiler [1, 14, 27]. Isı oluşumunu, ısı akışını ve kesici uç yakınında kesici takım ve iş parçasındaki ısı dağılımını etkileyen faktörlerin bilinmesi önemlidir. Kesme sıcaklığını ölçmek için çeşitli deneysel ve teorik metotlar geliştirilmiştir ancak sıcaklığın belirlenmesi ve kesme bölgesindeki belirlemek hala büyük bir problemdir [1]. Kesme bölgesinde ısı üretme kapasitesine göre ısı oluşturan üç kapasitesine göre ısı oluşturan üç bölge vardır (Şekil 3.7):





Şekil 3.7. Kesme bölgesinde ısı oluşumu [14, 27].

A- Kayma düzlemi; buradaki plastik deformasyon önemli bir ısı kaynağı olup oluşan ısının çoğu talaşta kalır.

B- Takım-talaş ara yüzeyi temas bölgesi; buradaki ilave plastik deformasyon olur ve kayma hareketinden dolayı ısı oluşumunda önemli derecede etkilidir.

C- Takım yan yüzeyi, burada yeni oluşan iş parçası yüzeyinin takım yüzeyine sürtünmesiyle ısı oluşur. Özellikle bu sürtünme yan yüzey aşınması ile artar [14, 27].

Isının takım aşınması ve takım ömrü üzerinde doğrudan bir etkisi vardır ve kesme hızının artışını sınırlandırır. Oluşan ısının çoğu kesme bölgesinden talaş, iş parçası, kesici takım ve ortam tarafından uzaklaştırılır. Bunların her biri tarafından uzaklaştırılan ısının miktarı iş parçası malzemesi, kesme parametreleri, kesici takım malzemesi, takım geometrisi ve kesme şartlarıyla değişir [1, 14].

Kesme hızı, kesme sıcaklığı üzerinde çok önemli bir etkiye sahiptir. Kesme hızının artmasıyla metal kesme işlemindeki deformasyon ve sürtünme için kullanılan birim zamandaki enerji artar ve bu da ısıyı ve dolayısıyla sıcaklığı artırır [14, 27].

Aşırı sıcaklık, kısa takım ömrü ve kesme hızını sınırlandırmanın ana sebebidir. Kesici takım malzemelerinin geliştirilmesi, büyük bir oranda yüksek sıcaklık etkilerine dayanabilmeleri etrafında odaklanmıştır. Kesme bölgesindeki sıcaklık, büyük oranda takım ile talaş arasındaki temas, kesme kuvvetlerinin büyüklüğüne ve iş parçası ve kesici takım arasındaki sürtünmeye bağlıdır. Bu durumda düşük kesme hızları iş parçasına iletilen ısıyı ve dolayısıyla sıcaklığı artırabilir. Yüksek kesme hızları, enerjinin çoğunun talaşla atılmasını ve kesici takım ve iş parçasına az miktarda ısı iletilmesini sağlar. Metal kesme işleminde oluşan ısının çoğu, kesme bölgesinden ideal olarak talaşla uzaklaştırılır. Talaştaki ısı, kesici takımı, talaş ve takım arasında temas olduğu sürece etkiler. Isının çoğu kayma bölgesinden kaynaklanır ve bu nedenle takım ve talaş arasındaki temasın ölçüsü performansını etkiler. Küçük talaş açılardan kaynaklanabilen küçük kayma açıları, iş parçasına iletilen ısı miktarını artırabilir [14, 27].

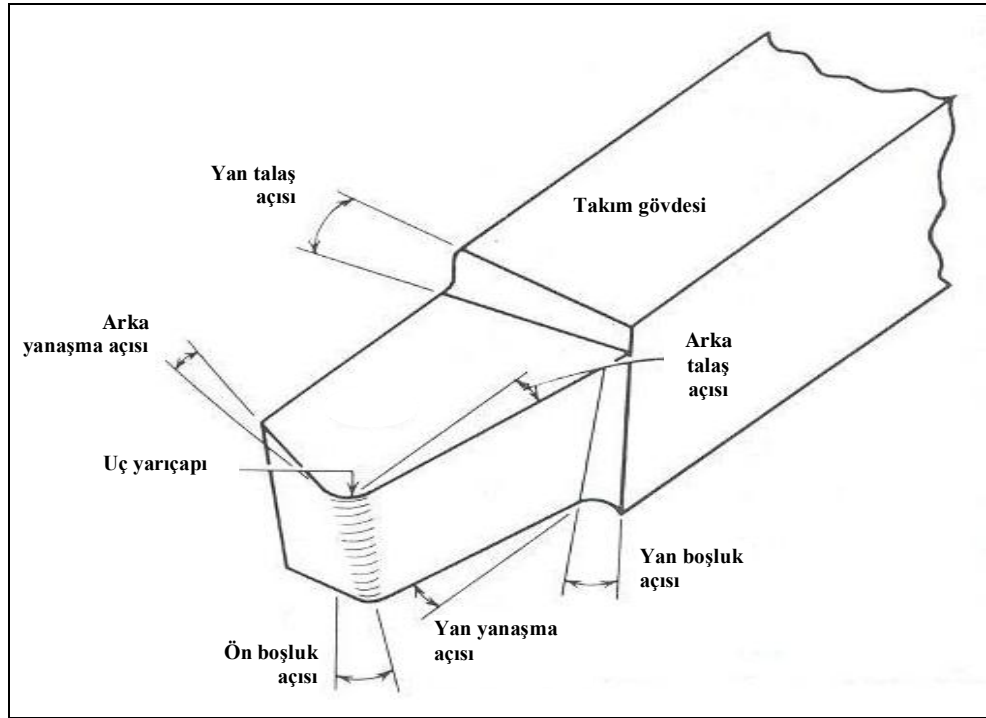
### **3.7. Talaş Kaldırma Olayını Etkileyen Faktörler**

Yüksek verimle üretim yapabilmek için üretim esnasında optimum işleme şartlarının sağlanması gerekir. Talaş kaldırma işleminde kesme parametresi olarak isimlendirilen kesme hızı ( $V$ ), ilerleme miktarı ( $f$ ) ve kesme derinliğinin ( $a$ ) takım ömrüne ve talaş kaldırma miktarına önemli etkisi vardır. Her hangi bir iş malzemesi yüzeyinden belirli miktarda malzeme tabakasının kaldırılması için kesici takım olarak adlandırılan bir kesicinin o malzeme içine batması gerekir. Bu sebeple, takım olarak kullanılan kesicinin, işlenecek iş parçasından daha sert, dayanıklı olması ve takıma kâfi derecede bir kuvvetin uygulanması ile yine kesme olayının gerçekleşmesi için kesici takımın belirli bir takım geometrisine sahip olması ve belirli kesme şartlarının uygulanması lazımdır. Tornalamada yapılan kesme işleminin sürekliliğinden ve talaş kaldırma işlemini en iyi şekilde temsil etmesinden dolayı, tek noktalı kesme işlemi ele alınmaktadır. Aynı şekilde diğer takım tezgâhlarında da benzer olaylar daha basit olarak ortaya konmaktadır [28].

### 3.7.1. Takım Geometrisi

Talaşlı imalat işleminde etkin bir şekilde kesme işleminin yapılabilmesi için kesici takım uygun geometriye sahip olmalıdır. Çeşitli talaşlı imalat işlemleri için kesici takım geometrileri de farklılık gösterir. Kesici takımlar tek noktadan kesme işlemi yapan ve çok noktadan kesme işlemi yapan kesici takımlar olmak üzere genelde iki kategoriye ayrılır. Bununla birlikte, bütün talaşlı imalat işlemlerinde talaş oluşum mekanizması temelde aynı olduğu için tek noktadan kesme işlemi yapan kesici takımlara uygulanan kurallar, genelde çok noktadan kesme işlemi yapan kesici takımlara uygulanan kurallar ile aynıdır. Tornalama işleminde genelde tek noktadan kesme işlemi yapan kesici takımlar kullanılır [14].

Sekil 3.8’de tek noktadan, sağ yönlü kesme (sağ yan) işlemi yapan bir kesici takım görülmektedir [26].



Şekil 3.8. Sağ yönlü kesme işlemi yapan, sağ yan kesici takım [14, 26].

Kesici takım geometrisi esas olarak takım malzemesinin ve iş parçası malzemesinin özelliklerine bağlıdır. Şekil 3.8’de görüldüğü gibi bir kesici takım üzerinde çeşitli açılar mevcuttur. Ancak, bunların en önemlileri talaş açıları ve boşluk açılarıdır.

Talaş açıları iş parçası malzemesinde kesme işlemi esnasında oluşan kaymayı ve talaş oluşumunu etkiler. Talaş açıları pozitif veya negatif olabilir. Pozitif talaş açıları kesme kuvvetlerini düşürerek iş parçasında, kesici takımında ve takım tezgahında daha az sapmalara neden olur. Sert iş parçalarının işlenmesinde talaş açıları küçük olmalıdır. Sementit karbür, seramik ve elmas kesici takımlarda hatta negatif olmalıdır. Genel olarak yüksek sertlikteki iş parçalarının işlenmesinde kullanılan kesici takımlarda talaş açıları küçük olmalıdır. Yüksek hız çeliği kesici takımların talaş açıları kesici takım tipi (tornalama, frezeleme ve vargelleme gibi) ve iş parçası malzemesine bağlı olarak normalde pozitif seçilir.

Genel olarak, talaşlı imalat işlemlerinde güç tüketimi her bir derece talaş açısı için yaklaşık olarak % 1 azalır. Kama açısı (90 – talaş açısı – boşluk açısı), kesici takımın dayanımını ve ısı iletme kabiliyetini belirler. Boşluk açıları esas olarak takım ömrünü ve iş parçası yüzey kalitesini etkiler. Kesici takımdaki ve iş parçasındaki sapmaları (eğilmeleri) azaltmak ve iyi bir yüzey kalitesi elde etmek için büyük boşluk açıları gereklidir. Yüksek hız çeliği için 5 – 10 derece arasındaki boşluk açıları normaldir. Küçük değerler sert malzemeler için tercih edilir. Sementit karbürler için ise dayanımı artırmak için küçük boşluk açıları gereklidir [26].

### **3.7.2. Kesme Hızı**

Torna tezgahında kesme hızı (V), yüzey hızı veya kesicinin iş parçası üzerinden geçiş hızı olarak tanımlanır. Günümüzde yaygın olarak kullanılan bilgisayar denetimli torna tezgahlarında aşağıdaki parametreler yaygın olarak kullanılmaktadır [9].

- V : Kesme hızı (m/dk)
- N : Fener mili dönme hızı (dev/dk)
- f : Kesici takımın ilerleme hızı (mm/dev)
- D : Tornalanan çap (mm)

Kesme hızı 'V' aşağıda verilen eşitlik yardımıyla hesaplanabilmektedir [9].

$$V = (\pi \cdot D \cdot N) / 1000$$

Kesmede genel kural olarak, ideal kesme şartlarının belirlenmesinde düşünülmesi gereken en önemli faktör, uygun kesme hızı seçiminin yapılmasıdır. Kesme hızı düşük seçilirse az parça üretilir ve çok düşük kesme hızlarında takım ucunda, talaş sıvanması meydana gelebilir. Bu durum, kesici takım değişikliğini gerekli kılabilir. Ancak kesme hızı gereğinden yüksek seçildiğinde, takım hızla bozulacak ve daha sık takım değişikliği gerekecektir. Bu nedenle her hangi bir talaş kaldırma işlemi için optimum kesme hızı, kesici takım ömrü ve talaş kaldırma miktarını dengeleyecek şekilde seçilmelidir.

Kesme hızı, iş parçası malzemesi, kesme sıvısı, paso kalınlığı, ilerleme hızı ve takım geometrisi sıcaklığın oluşmasını etkileyen faktörlerdir. Bunlardan en önemlisi kesme hızının büyümesi, sıcaklığın önemli ölçüde artmasına neden olur. Bu nedenle sertliklerini sertleştirme yolu ile kazanan takımların kesme hızları sınırlıdır. Kesme sıvılarının kullanılması, sıcaklığın azalmasına ve daha büyük kesme hızlarının kullanılmasına izin verir [28].

Talaş kaldırma esnasında uygulanması gereken kesme hızı aşağıdaki faktörlere göre değişmektedir:

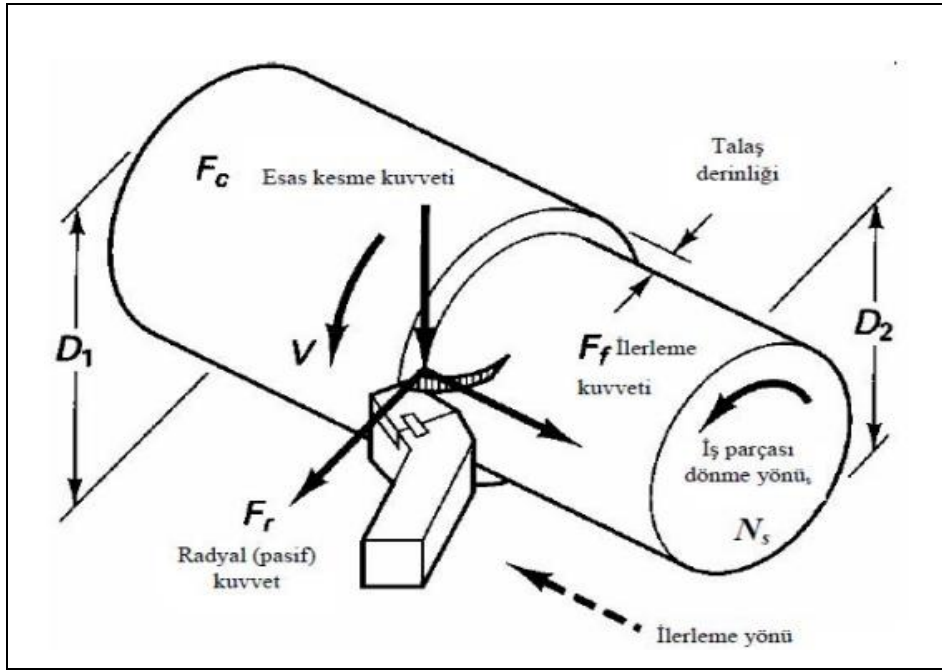
- İş parçası malzemesi
- Kesici takım malzemesi
- Talaş derinliği
- İlerleme miktarı
- Soğutma sıvısı
- Tezgâhın rijitliği ve tipi v.b

Her iki kesme konumunda kesme hızı dış çapa göre belirlenir. Kesme hızları talaş kaldırma faktörleri göz önüne alınarak ideal seçilmelidir. Kesme hızının çok düşük seçilmesi üretim zamanını artırır ve oldukça düşük kesme hızlarında takım ucunda talaş sıvanması meydana gelir. Bu durum takım değişikliğini zorunlu kılar. Ancak kesme hızının çok yüksek seçilmesi ise takımın hızlı aşınmasına neden olur ve sıkça

takım değişikliğini gerektirir. Bu nedenle herhangi bir talaş kaldırma işleminin için optimum kesme hızı, kesici takım ömrü ve talaş kaldırma miktarını dengeleyecek şekilde seçilmelidir [5].

### 3.7.3. Kesme Kuvveti ve Kesme Gücü

Talaş kaldırma işlemi esnasında oluşan kesme kuvvetleri, ısı oluşumu, takım ömrü, işlenen yüzeyin kalitesi ve iş parçasının boyutları üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Kesme kuvvetleri aynı zamanda takım tezgahlarının, kesici takımların ve gerekli bağlama kalıplarının tasarımında da kullanılır [27]. Tornalama işlemi esnasında oluşan kuvvetler Şekil 3.9’da şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Tornalama işleminde kesme kuvvetleri [29].

Tornalamada talaş kaldırma sırasında meydana gelen dirençleri yenmek için kesme kuvvetinin üç bileşeni mevcuttur.

i. Esas kesme kuvveti ( $F_c$ ) : Kesme hızı yönünde etki eder. En büyük kuvvet olup metal kesme işleminde harcanan gücün genelde % 99’una karşılık gelir.

ii. İlerleme kuvveti ( $F_F$ ) : Kesici takımın ilerlemesi yönünde etkiyen kuvvettir. Kesme kuvvetinin ekseriyetle yaklaşık % 50'si kadardır fakat ilerleme hızının kesme kuvvetiyle karşılaştırıldığında çok küçük olduğu için metal kesme işlemindeki gerekli gücün çok az bir kısmına karşılık gelir.

iii. Radyal kuvvet ( $F_R$ ) : İşlenen yüzeye dik etkiyen kuvvettir. Bu kuvvet de ilerleme kuvvetinin yaklaşık % 50'si kadardır [27, 29].

#### **3.7.4. Takım Ömrü**

Takım ömrü, genellikle belirli bir kritere ulaşmak için gerekli olan etkili kesme zamanı veya pratik olarak, takımın iki bileme arasında geçen aktif çalışma zamanı olarak tanımlanır [29].

Takımda oluşan ısı takım ömrüyle ters orantıdadır. Takım talaş ara yüzeyinde oluşan ısı arttıkça takım ömrü yani takım aşınması önlenemez bir şekilde artmaktadır [29].

Takım ile iş parçasındaki izafi hareket ve kesme kuvveti Talaş oluşumu için gereklidir. Hareket ve kuvvet etkisine bağlı olarak oluşan sürtünme, ısı artısına neden olmaktadır. Modern endüstride kesici takım maliyetinin toplam üretim maliyetini doğrudan etkilemesi optimizasyon işlemlerini zorunlu hale getirmektedir. Talaş kaldırma esnasında tüm takımlar aşınır ve aşınma takımlar ömürlerini tamamlayana kadar devam eder Kesici takım ömrü her zaman sınırlıdır. Takım aşınmasına etki eden faktörler kesme işlemine bağlı parametrelerdir. Kesici takımın kırılması Talaş yüzeyindeki ve serbest yüzeydeki aşınmaya bağlı olup çoğunlukla takım ömrü kriterleri takım aşınmasına göre belirlenir. Özellikle takım malzemesi ve kesme geometrisi seçimi çok önemlidir. Ancak takım doğru seçilmiş olsa bile işleme koşulları özellikle kesme verileri ve işlemin rijitliğini ilgilendiren koşullar standart dışı ise optimum takım ömrü elde edilemez. Bağlama elemanlarının rijit olmaması ve titreşimler birçok kesici kenarın ömrünü, belirlenen süreden önce tamamlanmasına neden olacaktır [16].

Takım ömrü aşağıdaki etkenlere göre değişir.

1. İş malzemesi
2. Takım geometrisi
3. Kesme hızı
4. İlerleme hızı
5. Talas derinliği
6. İş parçası ve takım bağlama aparatlarının rijitliği
7. Takım tezgahındaki titreşimler
8. Kesme sıvısı [13].

### 3.7.5. Talas Derinliği ve İlerleme Miktarı

Talaş kaldırma işlemini etkileyen diğer önemli faktörler de kesme derinliği ( $a$ ) ve ilerleme miktarı ( $f$ )'dir. Kesme işlemi mekaniği, dolayısıyla takım ömrü açısından değerlendirme yapıldığında; talaş kaldırma miktarı, bitirilmemiş iş parçasından kaldırılan malzeme miktarıdır. Bu değişkenlerden herhangi biri değiştirildiği zaman bunun sonucu olarak talaş kaldırma miktarı da değişir. Her bir parametredeki değişiklik, kesici takım ömrüne farklı olarak yansır.

En uygun  $f$  ve  $a$  düşünüldüğü zaman, mümkün olan en derin talaş ve düşük ilerleme miktarı seçilir. Çünkü bunlar takım ömürlerine kesme hızından daha az etkiye sahip olduğundan takım ömrünü daha az oranda azaltacaktır. Optimum  $f$ , kesici takım ömrü ve talaş kaldırma miktarını dengelemelidir [28].

Torna kalemi kesme kenarının, dönen iş parçasının bir devrinde, doğrusal olarak milimetre cinsinden aldığı yola “ilerleme“ adı verilir. Konvansiyonel torna tezgahlarının ilerleme miktarı sembolü (S) harfidir [1]. Bazı CNC tezgahlarında ikinci bir ilerleme vardır. İkinci ilerlemenin tanımı şöyle yapılmaktadır; torna kaleminin kesme kenarının, dönen iş parçası üzerinden doğrusal olarak, bir (1) dakikada milimetre cinsinden aldığı yola “ilerleme” denilir. CNC torna tezgâhlarında ilerlemenin sembolü (F) harfidir [1]. Bu durumda tornada iki türlü ilerlemede de alınan yol doğrusal olarak ve milimetre cinsindedir. Aradaki temel fark sadece ilerlemenin birim zamanındadır. Konvansiyonel torna tezgahlarında bir devirde



doğrusal alınan yol mm/dev'dir. CNC torna tezgahlarında ise, bir dakikada doğrusal olarak alınan yol mm/dakika'dır. İlerleme miktarına etki eden faktörler ise şu şekilde sıralanabilir;

1. Talaşa kaldırma yöntemi
  - a. Kaba talaş kaldırma
  - b. İnce talaş kaldırma
2. Malzeme cifti
  - a. Kesici aletin cinsi
  - b. 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 [10].

### **3.8. Kesici Takımlar**

#### **3.8.1. Kesici Takım Malzemeleri**

##### **3.8.1.1. Giriş**

Talaşlı imalat işlemlerinde kullanılan kesici takımlar, talaşlı imalat işlemlerinin maliyeti ve ürün kalitesi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Talaşlı imalat işlemlerinin maliyetinin düşük olması için kesici takımların yeterince uzun bir süre keskinliğini korumaları ve kesme hızının ilerleme hızının ve talaş derinliğinin yüksek olması istenir. Kesici takımlar, kesme işlemini etkin bir şekilde yapabilmeleri için talaşlı imalat esnasındaki yüksek gerilme, sıcaklık ve sürtünme etkilerine uzun süre dayanacak kabiliyette olmalıdır [26].

Talaşlı imalat işlemi esnasında yüksek sıcaklık ve gerilmeler nedeniyle kesici takımların etkin bir şekilde uzun süre kesme işlemi yapabilmesi için kesici takım malzemeleri aşağıdaki özelliklere sahip olmalıdır [30]:

1. Yüksek sertlik,
2. Yüksek tokluk,
3. İş parçasına karşı kimyasal olarak asallık,
4. Oksidasyon ve kimyasal olarak çözünmeye (dissolution) karşı kararlılık,
5. Isıl şoklara karşı direnç.

Düşük sertlik ve adezyon arzu edilmez. Zira bunlar takım profilinin bozulmasına yol açar, takım burnu yuvarlaklaşır. Uygun olmayan tokluk ve termal sok direnci takım ağzının talaşlanması ve hatta tamamen hasarına sebep olur. Ne var ki, malzemenin sertlik ve ısıl direnci, genellikle, ancak tokluğun azalması ile sağlanabilir [31].

### **3.8.1.2. Sementit Karbür Kesici Takımlar**

Bu malzemeler çok yüksek sertlik ve yüksek basma mukavemetli bir kitle oluşturacak şekilde bir metal veya demir alaşım grubu ile çok ince taneli refrakter metal karbür partiküllerinden oluşurlar. Sementit karbürler toz metalurjisi teknikleri ile üretilmektedir. Proses esasen tungsten, titanyum veya tantalyum karbür tozlarının hazırlanmasını kapsar. Bu tozlardan biri veya birkaçı bağlayıcı ile karıştırılır. Bağlayıcı metal olarak genellikle kobalt, nadiren de nikel ve demir kullanılmaktadır. Bu karışım istenilen şekilde kompakt kitle halinde soğuk preslenir ve akabinde sinterlenir (1370-1480!C) veya sıcak presleme ile şekillendirilir. Kobalt yüksek sıcaklıklarda karbürlerle otektik oluşturur ve çok iyi ısılatma özelliği gösterir. Tungsten karbür, düşük sıcaklıkta katı kobaltda yalnızca %1 oranında çözünürken, nikelde %25 ve demirde %5 oranında çözünmektedir. Nikel ve demirde, tungsten karbürün yüksek katı çözünürlüğü, gevrekliği arttırıcı bir etki yapar. Kobalt miktarının artışıyla tokluğun artmasına karşılık sertlik, basma mukavemeti, elastik modül ve abrasif direnç azalır.

Bu tur kesici takımlarda abrasif eleman olarak tungsten karbür (WC) ile beraber titanyum karbür (TiC), tantalyum karbür (TaC) ve niobyum karbür (NbC) de mikro yapıda yer alabilir. Bu tur ilave karbürlerin, difuzyona direnç gösteren bir ara tabaka meydana getirmelerinden dolayı kesici takımlarda karşılaşılan önemli hasar türlerinden biri olan kraterleşme engellenmektedir. Bazı özel sert metallerde sert faz olarak krom karbür, molibden karbür ve bağlayıcı metal olarak nikel bulunabilir. Sade tungsten karbürü kaliteler dökme demir, östenitik çelik, demir dışı ve metal dışı malzemelerin islenmesinde kullanılırken tungsten karbür yanında titanyum ve tantalyum karbür de ihtiva eden kaliteler ise ferritik çeliklerin işlenmesinde kullanılırlar.

Semente karbürlerin yüksek sıcaklık mukavemeti, karışık karbür miktarının artışı ile artmasına karşılık, kobalt miktarının artışı ile azalır (tokluk için bu ilişki terstir). Sinterlenmiş karbürlerin çok iyi takım performansı, çok yüksek kızıl sertlikle birlikte yüksek sertlik ve yüksek basma mukavemetinden ileri gelir [31].

Kaplamalı kesici takımlar talaşlı imalat endüstrisinde hızla yaygınlaşmıştır ve günümüzde kullanılan sementit karbür kesici takımların % 75'i kaplamalıdır. Kaplama, kesici takım ömrünü iki kat, üç kat veya daha fazla artırabilmektedir. Kesici takımlarda kesici takım yüzeyindeki malzeme aşınmaya dirençli, sert ve kimyasal olarak asal olmalıdır. Kimyasal olarak asal olma, kesme esnasında kesici takım malzemesi ile parçası malzemesinin etkileşimini engeller. İnce ve kimyasal olarak kararlı olan TiC, TiN veya Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> refrakter malzemeler kaplama olarak kullanılır. Kaplamanın altındaki sementit karbür, kaplama malzemesi ile karşılaştırıldığında tok, darbeye ve kırılmaya dayanıklıdır.

Kaplamanın etkin olabilmesi için kaplama malzemesinin sert, refrakter, kimyasal olarak kararlı ve kesme koşullarında kesici takım ve iş parçası malzemesinin birbirleri ile etkileşimini engellemek için kimyasal olarak asal olmalıdır. Kaplama, ince taneli, birleştiricisiz ve gözeneksiz olmalıdır. Doğal olarak, kaplama metalurjik olarak altlığa (sementit karbüre) birleştirilir. Kaplama, takım ömrünü uzatmak için kalın ancak kırılma direncine karşı dayanıklı olması için de ince olmalıdır.

Kaplama malzemesi düşük bir sürtünme katsayısına sahip olmalı ki talaşların kesici takım talaş yüzeyine yapışma eğilimi daha az olsun. TiC kaplanmış kesici takımlar 1969 yılında ilk olarak üretilmiştir. Günümüze kadar kaplama malzemeleri çeşitlenmiştir (TiC, TiN, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, HfN veya HfC). İlk zamanlarda tek katlı kaplamalar kullanılmasına rağmen, günümüzde kullanılan kesici takımlarda çoğunlukla çok katlı kaplamalar kullanılır. Bu şekilde, her bir katman kendine ait özellikleri kesici takıma aktarır. En çok kullanılan kaplama kombinasyonları TiN/TiC/TiCN/TiN ve TiN/TiC/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'tür. Kimyasal buhar kaplaması yöntemi (CVD) sementit karbürleri kaplamak için kullanılan bir yöntemdir. Kaplama, sementit karbür altlık üzerinde veya yakınında kimyasal reaksiyonla gerçekleşir. Kimyasal buhar kaplaması yönteminde kaplama malzemesi atomların birikimi ile gerçekleşir. Bu nedenle, en yüksek yoğunluklu kaplama elde etmek mümkündür [26].

### 3.8.1.3. Sermetler

Sermetler, metalik bir fazla bağlanmış seramikler olup esasen sementit karbürler sermetlerin bir alt sınıfıdır. Çelik kesimi için, nikel ve molibdenle bağlanmış TiC tercih edilmektedir. Tipik bileşimi %8-25 Ni, %15-8 Mo<sub>2</sub>C ve %60-80 TiC şeklindedir. Ayrıca küçük miktarlarda WC, Co, TiN içerebilir. Sermetlerin mikroyapısı geleneksel sementit karbürlerden farklıdır. Çünkü sinterleme sıcaklığında karbürün, bağlayıcı nikel içindeki çözünürlüğü kobaltınkinden daha fazladır. Bu nedenle sermetler, sementit karbürlerden daha gevrek karakterdedir. Bu malzemeler yüksek krater ve oksidasyon direnci, düşük sürtünme katsayısı ve termal iletkenlik ile nispeten düşük yoğunluğa sahiptir. Bununla birlikte sertlik derinliği yüksek, abrasif direnci kobaltla bağlanmış tungsten karbürden daha düşüktür. Karışık TiC-TiN kaliteleri daha iyi termal iletkenlik ve daha yüksek hızları ile karakterize edilmektedir.

Kesici takım olarak sermetler %20'den daha az bağlayıcı içermektedirler. Bu malzemeler çelik ve dökme demirler için özellikle orta ve hafif yükler altında yüksek hızda yüzey operasyonlarında kullanılmaktadır. Buna karşın, kaba ve darbeli

işlemlerde, boşluklu ve porözlü yüzeylerde, sert dökümlerde, grafit ve sıcak iş takım çeliklerinde, demir dışı malzemelerde (Al, Cu vb.) ve yüksek oranda nikel içeren malzemelerde (malzemelerdeki nikel ile sermetteki nikel birleşme eğilimi göstermektedir) kullanılması halinde iyi sonuçlar vermemektedir [31].

### **3.9. Takım Aşınması**

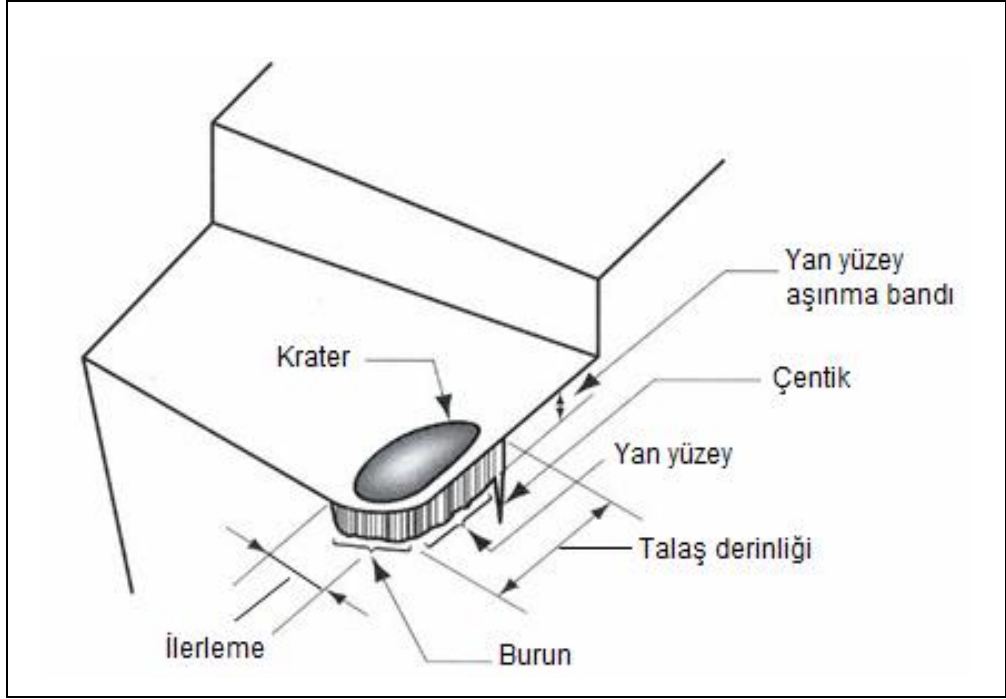
#### **3.9.1. Aşınma**

Aşınma, kesici takımın malzeme kaybindan ileri gelen ve ilk şekline göre oluşan farklılıktır. Bütün kesici takımlar, talaş kaldırma sırasında ömürlerinin sonuna kadar aşınırlar [20].

Talaş kaldırma işlemleri sırasında, kesici takımların, belli bir süre çalıştıktan sonra, kesme işlemini gerçekleştiren yüzey veya kenarlarında meydana gelen malzeme kaybindan dolayı kesme yetenekleri azalır veya ortadan kalkar. Kesme sırasında etkili olan büyük kuvvetler, titreşim ve vuruntular, yüksek ısı, sürtünme ve gerilmeler sonucunda takım ucunda aşınma veya kırılma gibi geometrik değişiklikler meydana gelir ve kesici takım plastik deformasyona uğramış olur.

Talaş kaldırma işlemi esnasında kesici takımın aşınması anlayabilmek için aşağıdaki etkilerden biri veya birkaçının aynı anda gözlenmesi gerekir [32]:

1. Kesme kuvvetlerindeki aşırı yükselme
2. Sıcaklık artışı
3. Aşırı titreşim
4. Yüksek gürültü
5. İşlenen malzeme boyutlarındaki değişim
6. İşlenen yüzeyin bozulması [32].

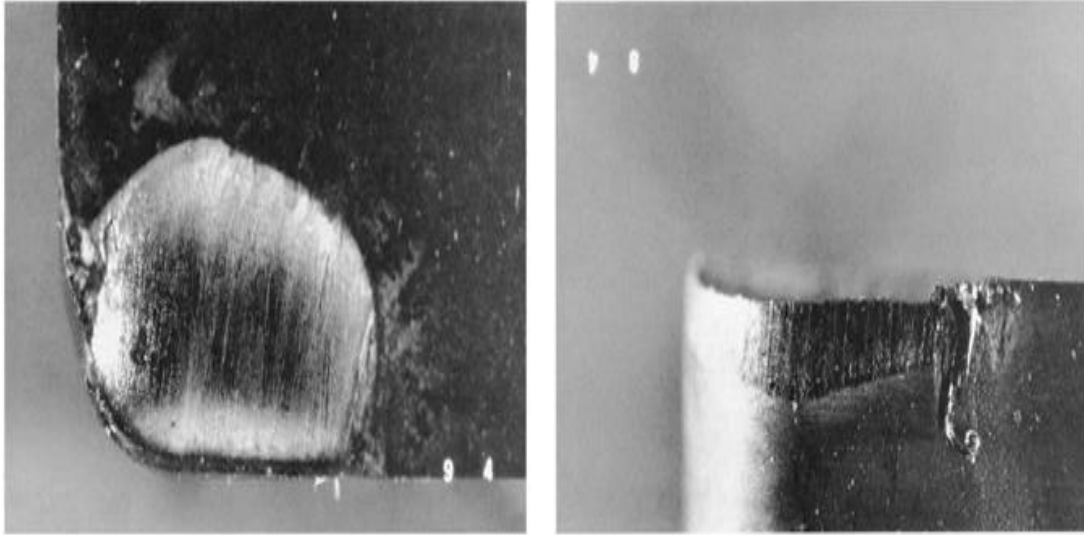


Şekil 3.10. Kesici takımdaki aşınmalar [30, 32]

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

- 1.Kırılma: Kesici takıma gelen anlık yüksek kuvvetler nedeniyle oluşan kırılmalar veya sürekli olmayan kesme işlemi (frezeleme işlemi gibi) esnasında mekanik ve ısı yorulmaları sonucu kırık oluşumundan dolayı kesici takımda kırılma ve pullanma soyulma şeklinde oluşan aşınmalardır.
- 2.Plastik deformasyon: Kesici takımda plastik deformasyon, yüksek basınç ve sıcaklık sonucu oluşur. Plastik deformasyona uğramış kesici takım geometrisi değiştiği için kesme işlemini etkin bir şekilde yapamaz, sıcaklık artar ve Talas akısı değişir. Plastik deformasyona direnç için kesici takımın sıcak sertlik özelliğinin iyi olması gerekir. Ayrıca, uç yuvarlatma ve kesme geometrisi iyileştirilerek plastik deformasyona direnç artırılabilir.
- 3.Tedrici takım aşınması: Kesici takım üzerinde tedrici aşınma talaş yüzeyi ve yan yüzey olmak üzere iki bölgede görülür. Talas yüzeyindeki aşınma “krater aşınması” ve yan yüzeydeki aşınma da “yan yüzey (yanak) aşınması” olarak

isimlendirilir. Krater aşınması, kesici takım talaş yüzeyinde talaşın hareketiyle oluşan içbükey alandır. Krater aşınmasının büyüklüğü, bu alanın derinliği ve alanı ölçülerek belirlenir. Yan yüzey aşınması ise yeni oluşan iş parçası yüzeyi ile kesici takım yan yüzeyinin sürtünmesiyle oluşur. Yan yüzey aşınması bu aşınma bandının genişliği ile ölçülür. Şekil 3.10 ve Şekil 3.11’de bu kesici takım aşınmaları gösterilmiştir. Kesici takımın iş parçası orijinal yüzeyi ile temasta olan yan yüzeyinde çoğunlukla daha fazla bir aşınma görülür. Çentik aşınması olarak adlandırılan bu aşınmanın sebebi iş parçası yüzeyinin soğuk haddeleme veya önceki işlemlerden dolayı sertleşmiş olması, dökümden kalan sert malzemeler ve diğer nedenlerdir [30].



a) Krater aşınması

b) Yan yüzey aşınması

Şekil 3.11. Kesici takım ucundaki aşınmalar [32].

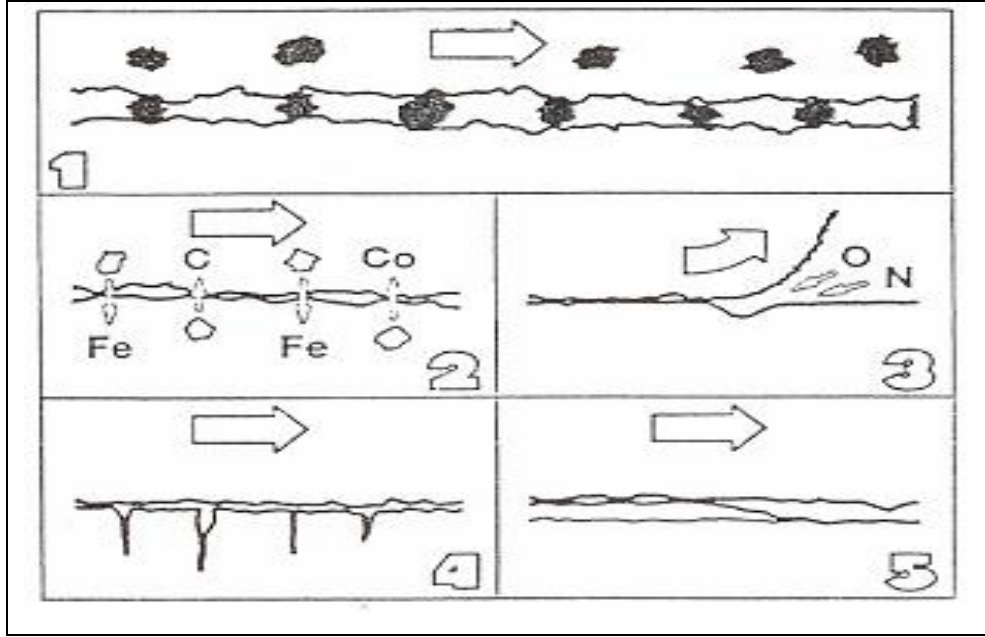
Talaş kaldırma sırasında kesici kenar üzerindeki etkili olan yük faktörlerinin bir sonucu olarak, bazı temel aşınma mekanizmaları metalden talaş kaldırma işlemine etki eder.

Bunlar:

1. Abrasyon (aşındırıcılarla) aşınma (abrasif aşınma)
2. Difüzyon aşınma
3. Oksidasyon aşınma
4. Yorulma ile aşınma (statik veya dinamik)

5. Yapışma (adhesyon) ile aşınma (adhesif aşınma) şeklinde özetlenebilir (Şekil 3.12).

Takım malzemesinin yüklere karşı direnç kabiliyeti, metal işlemedeki aşınma mekanizmaları tarafından nasıl etkileneceğini tayin eder [32].



Şekil 3.12. Metallerin işlenmesi sırasında temel aşınma mekanizmaları [12, 32].

### 3.9.2. Takım Aşınma Türleri

#### 3.9.2.1. Abrasiv Aşınma

Abrasiv aşınma çoğunlukla iş parçası malzemesinin sert taneciklerinin sebep olduğu aşınma şeklidir. Sert tanecikler yumuşak malzemenin yüzeyinden parçalar koparması şeklinde ortaya çıkmaktadır. Kopan parçacıklar malzemelerin ara yüzünden uzaklaştırıldığı, yapışmanın olmadığı ve böylelikle yüzeyde malzeme kaybının fazla olduğu bir mekanizmadır.

Kesici kenarın abrasiv aşınmaya karşı direnç kabiliyeti önemli ölçüde sertliğine bağlıdır. Sert parçacıkların yoğun bir şekilde sıkıştırılması ile oluşan takım malzemesi abrasif aşınmaya karşı koyabilecektir. Fakat işleme sırasında oluşan diğer



yük faktörleri ile başa çıkacak şekilde donatılmış olmayabilir. Abrasif aşınma takım talaş yüzeyinde ise krater oluşmasına sebep olur [6].

### **3.9.2.2. Difüzyon Aşınması**

Bir yüzeyden diğerine atom transferleri ile gerçekleşir ve takım malzemesi ile iş parçası malzemesi arasındaki ilgiye bağlıdır. Metalik kristallerdeki atomların, yüksek atomik konsantrasyonlu bölgeden, düşük atomik konsantrasyonlu bölgeye geçmeleri suretiyle meydana gelir. Talaş yüzeyinde, krater (oyuk) şeklinde bir aşınma çeşidine neden olan bu aşınma, sıcaklığa önemli şekilde bağlıdır. Yayınma hızı sıcaklıktaki artışla üstel olarak artar. Bu aşınma, takım çeliği ve hız çeliği takımlarda görünmez. Çünkü bu malzemeler yayınmanın görüldüğü sıcaklıklara erişmeden (1000°C'nin üzeri değerler) sertliklerini kaybederek yumuşarlar.

Wolfram karbürün çözülmesi sırasında açığa çıkan karbon, konsantrasyonun düşük olduğu tarafa doğru hareket eder. Başka bir anlatımla çeliğe doğru yayınır. Karbon yayınması, kobalt fazından geçer. Karbonun kobalt içindeki maksimum çözünürlüğü 1200°C.de %0.7düzeyindedir. Fe atomlarının varlığı bu çözünürlüğü %1.5 ile 2 arasına kadar yükseltir. Yayınan Fe, böylece çözülmeyi hızlandıran iki reaksiyonu yönlendirmiş olur. Fe-karşök karbürlerin oluşmasına neden olur ve karbonun kobalttaki çözünürlüğünü yükseltir. Bu durum ise Wolfram monokarbürün çözülmesi için ön koşuldur [33].

### **3.9.2.3. Oksidasyon Aşınma**

Havanın etkisi ile yüksek kesme sıcaklıklarında meydana gelen ve yüzeylerde bir oksit tabakasının oluşması ile sonuçlanan bir aşınma çeşididir. Kesme işleminden sonra kesici takım incelendiğinde, temas yüzeylerinin yakınlarında renklenmelerin olduğu görülür. Bu renklenmeler kesici takım malzemesinin oksidasyona uğradığının göstergesidir. Oluşan oksit tabakası kesme ağzında çok küçük çentikler meydana getirir. Çeşitli takım malzemeleri, çeşitli oksit tabakaları oluşturur. Örneğin tungsten ve kobalt, sürtünme ile kolay uzaklaştırılan gözenekli bir oksit

tabakası oluşturur. Alüminyum oksidi çok kuvvetli ve serttir. Buna bağlı olarak bazı takım malzemeleri oksidasyon aşınmasına daha elverişli, bazıları değildir [33].

#### **3.9.2.4. Yorulma ile Aşınma**

Talaş kaldırma sırasındaki termik ve mekanik olayların etkisi ile meydana gelen bir çok bozulma olayını içermektedir. Sıcaklığın değişmesi ve kesintili kesmede takımın ısınması ve soğuması ile oluşan termik şoklar, ayrıca yüzeylerin yüklenmesi ve serbest kalması, kesme ağzında çatlakları ve kırılmaları meydana getirir. Ayrıca kuvvetlerin etkisi altında, ağızlarda parça şeklinde kırılmalara neden olan saf mekanik yorulmalar meydana gelebilir. Özellikle bu durumlar, yüksek ilerleme hızlarında sert malzemelerin işlenmesinde görülür [33].

#### **3.9.2.5. Adhesiv Aşınma**

Bu aşınma aynı zamanda “yıpranma aşınması” diye de bilinir. Takımın talaş yüzeyinde daha çok düşük işleme sıcaklıklarında oluşur. Uzun talaş (akma talaş) ve kısa (kopuk) talaş veren iş parçası malzemelerinin hepsinde (çelik – alüminyum ve dökme demir gibi) söz konusu olabilir. Bu mekanizma genellikle kesici kenar ile talaş arasında kenarda yığılmış talaş oluşmasına sebep olur. Dinamik bir yapısı vardır. Talaştan birbirini takip eden katmanlar talaş yüzeyine kaynaklanarak sertleşir ve kesici kenarın bir parçası haline alır. Kenarda yığılmış talaş tabakası yırtılıp uzaklaşır ve tekrar birikmeye başlayabilir veya kesici kenardan küçük parçaların kırılıp uzaklaşmasına, kırılmaya sebep olabilir. Bazı kesici malzemeleri ve bazı iş parçası malzemeleri örneğin sünek (özlü-çekilebilir) çelikler gibi bu basınçla kaynamaya diğerlerinden daha fazla eğilim gösterirler. Daha yüksek işleme sıcaklıklarına ulaşıldığında bu durum için şartlar önemli ölçüde ortadan kalkar [32].

Belli bir sıcaklık aralığı, takım ve iş parçası malzemesi arasındaki yakınlık ve kesme kuvvetleri ile oluşan yüklerin kombinasyonu adhezyon aşınma mekanizması oluşturur.

Deformasyonla sertleşmiş malzemeler (örneğin östenitik paslanmaz çelikler) işlenirken, talaş derinliğinin maksimum sınırında bu aşınma mekanizması bölgesel aşınmanın hızlanmasına sebep olur. Bu durum, en yaygın “çentik aşınma” tipidir ve aynı zamanda takım malzemesiyle iş parçası malzemesinin kimyasal yakınlığına da bağlıdır [32].

### **3.10. Takım Aşınma Tipleri**

Takım aşınması tipleri ve sebep olan aşınma mekanizmalarının bilinmesi, kesici takım ve iş parçası malzemesi için doğru işlem şartlarının belirlenmesi, verimliliği optimize etmek ve işlem operasyonlarını değerlendirmek için çok önemlidir. Oluşan aşınma tipleri ve sebep olan aşınma mekanizmaları şu şekilde sınıflandırılmıştır [6]:

1. Yan kenar aşınması: Abrasif aşınma mekanizması ile,
2. Krater aşınması: Abrasif aşınma ve difüzyon aşınma mekanizması ile,
3. Plastik deformasyon: Yorulma ile aşınma mekanizması ile,
4. Çentik aşınması: Oksidasyon, adhezyon ve mekanik aşınma ile,
5. Termal çatlaklar: Isıl-termal yorulma mekanizması ile,
6. Mekanik yorulma çatlakları: Mekanik yorulma mekanizması ile,
7. Çıtlama (Çentiklenme): Yorulma mekanizması ile,
8. Kesici ucun kırılması: Plastik deformasyon ile,
9. Yığılma-sıvanma: Adhezyon aşınması ile.

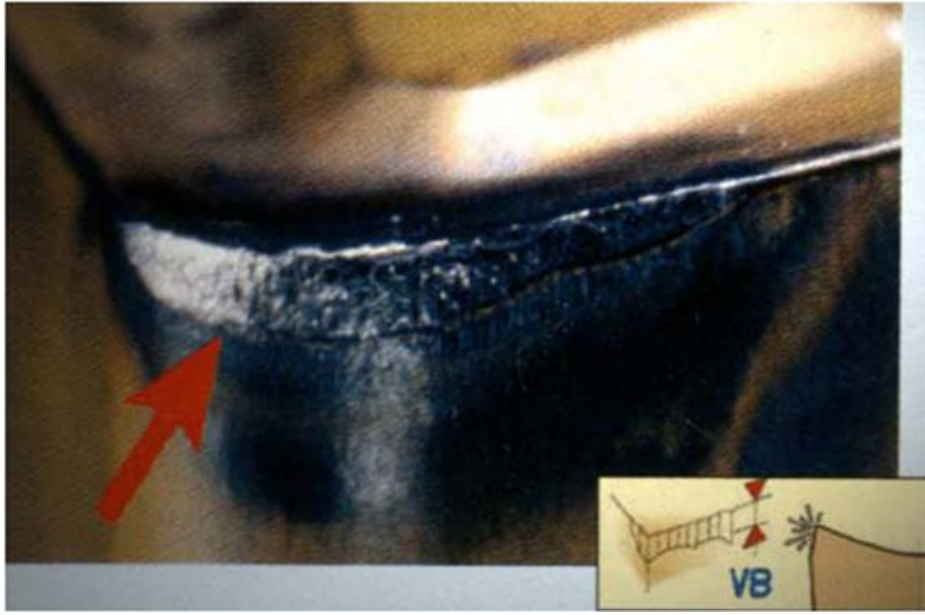
#### **3.10.1. Yan Kenar (Yanak) Aşınması**

Takımın kesme kenarı ve yan yüzeyinde meydana gelen aşınma yan kenar aşınması olarak adlandırılır ve bir aşınma bölgesi oluşur. Bu aşınma bölgesinin işlenmiş yüzeyle sürtünmesiyle, talaş kaldırılan parça yüzeyinde hasar meydana gelir ve oluşan yüksek yüzey kuvvetleri nedeniyle boyutsal doğrulukta azalma ve sapmalar meydana gelir [13].

Yan kenar aşınması genellikle kesme kenarlarının abrazyonu ile oluşur. Yan kenar aşınma bölgesi genellikle üniform genişliktedir ve kenara yakın bölgede oluşur. Yan

kenar aşınmasının ortadan kaldırılması mümkün olmayıp, azaltılabilmesi için tedbir alınması mümkündür [13].

Serbest yüzeyde aşınma çoğaldıkça, kesme kuvveti artacak, kesme sırasında oluşan ısı da artacağı için ortaya kötü bir yüzey kalitesi çıkacaktır. Bu yüzden yan kenar aşınmasının çabuk oluşmasından kaçınılmalıdır. Şekil 3.13'te kesici takımda talaş kaldırma sonrası meydana gelen yan kenar aşınması görülmektedir. [12].



Şekil 3.13. Yan kenar aşınması [34].

### 3.10.2. Krater Aşınması

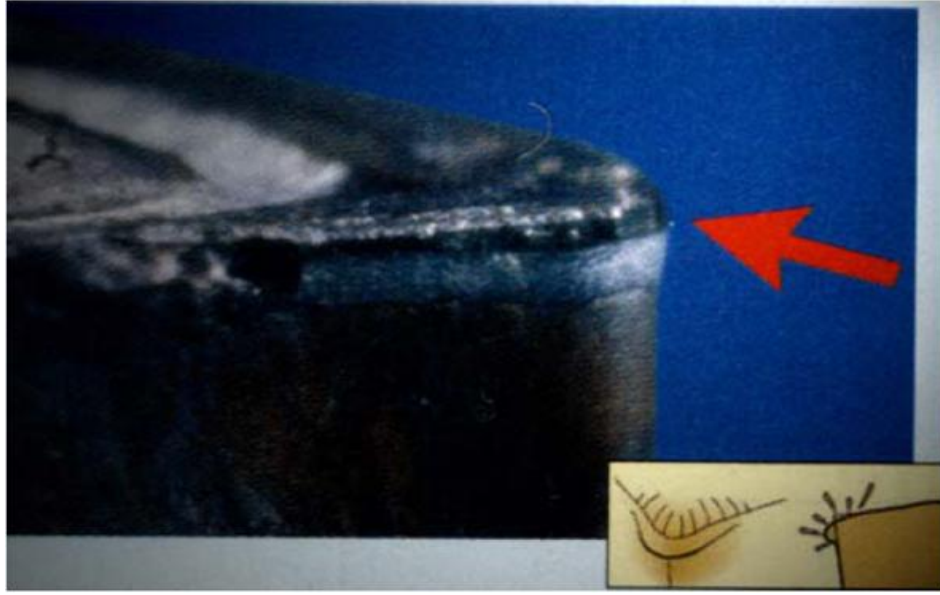
Şekil 3.14'te kesici takımında talaş kaldırma sonrası meydana gelen krater aşınması görülmektedir. Bu aşınma türü küçük talaş parçacıklarının, takım yüzeyine yapışmaları ve sonrasında koparak takım malzemesi üzerinde girintiler oluşturmaları, bu sebeple takımı zayıflatmaları şeklinde oluşmaktadır. Difüzyon aşınma mekanizmalarında kimyasal veya metalürjik etmenler rol oynamaktadır. Kesici takımın kimyasal özellikleri ve takım-iş parçası ara ilişkisi de difüzyon aşınmasının oluşumunu belirler. Aşırı miktarda gerçekleşen krater aşınması kesici kenar geometrisini değiştirir ve talaş biçimini bozar. Bu da dayanımın düşmesine ve de kesme kuvvetlerinin yönlerinin farklılaşmalarına neden olur [35].



Şekil 3.14. Krater aşınması [34].

### 3.10.3. Plastik Deformasyon

Şekil 3.15'te kesici takımında talaş kaldırma sonrası meydana gelen plastik deformasyon görülmektedir. Plastik deformasyon, kesici kenar üzerindeki yüksek basınç ve yüksek sıcaklık kombinasyonunun bir sonucu olarak ortaya çıkar. Yüksek hızlar ve yüksek ilerlemeler, sert iş parçası malzemesi, sıcak ve basınç anlamı taşır. Takım malzemesinin bunlara karşı koyabilmesi ve plastik olarak şekil değiştirmemesi için yüksek sıcaklık sertliği kritiktir. Kesici kenarda bir şişmenin oluşması daha yüksek sıcaklıkların oluşmasına, geometrinin deformasyonuna, talaş akışının değişmesine sebep olacak ve kritik bir noktaya ulaşıncaya kadar etkisi devam edecektir. Kenar yuvarlatmanın (uç yarıçapı) boyutu ve takım geometrisi (kesme geometrisi) bu tip aşınmanın engellenmesinde önemli rol oynar [35].



Şekil 3.15. Plastik deformasyon [34].

#### 3.10.4. Termal Çatlaklar

Şekil 3.16’da kesici takımda talaş kaldırma sonrası meydana gelen termal çatlaklar görülmektedir. “Termal çatlaklar genellikle ısı değişimlerinden kaynaklanan yorulma aşınmasıdır. Oluşan sıcaklık değişimleri bu tip aşınmanın oluşmasına sebep olur. Termal çatlaklar kesici kenara dik olarak gerçekleşir ve bu aradaki takım malzemesi kesici kenardan koparak ayrılabilir. Bu da takımın kırılma ihtimalini artırır ve kesici kenar bozulmasına sebep olur”. Yüksek kesme hızında, büyük hacimde talaş kaldırılması da bu aşınma tipinin oluşmasında rol oynar. Aşınmaya daha mukavim (termal şoklara dayanıklı) kesici uç kalitesi seçilmesi, pozitif açılı takım kullanılması, kesici ucun köşe radyüsünün artırılması, kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliklerinin azaltılması, bol ve sürekli soğutma uygulanması veya hiç uygulanmaması ile aşınmanın önüne geçilebilmektedir [12].

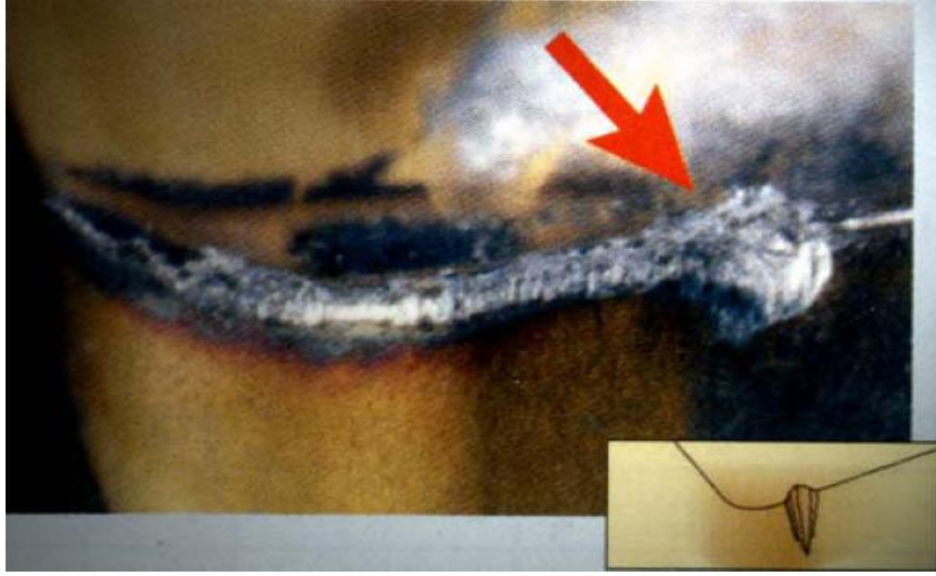


Şekil 3.16. Termal çatlak [34].

### 3.10.5. Çentik Aşınması

Şekil 3.17’de kesici takımda talaş kaldırma sonrası meydana gelen çentik aşınması görülmektedir. 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 biçimidir. Muhtemel sebebi kırılğan kesici takım kullanılması, zayıf kesici takım geometrisi ya da köşede oluşan sıvanmalardır. Kenar üzerinde derin oyuk, kanal, derin çukur tarzında belirtiler gözlemleniyorsa bu durum iş parçası üzerinde sert veya aşındırıcı bir bölge olduğunun göstergesidir. Bahsedilen aşındırıcı bölge, dövme, kalıplama veya sıcak şekillendirme sonucu oluşmuş bir bölge olabilir. Tornalamada, iş parçasının yüzeyinde mekanik yüklenmeler sonucu gereksiz ve beklenenin dışında sertleşmeler olması mümkündür. Bu yüzden başlangıçta sert tabaka veya kaplanmış yüzey olarak adlandırdığımız tabakadan toz talaş dediğimiz bir talaş kaldırılması ve alttaki temiz ve beklenen sertlikteki tabakaya ulaşılması gerekir [35].



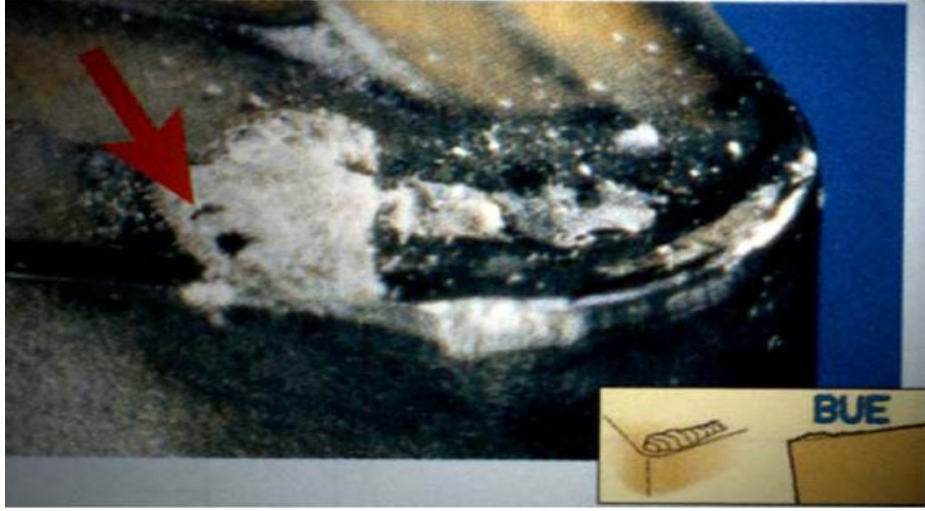


Şekil 3.17. Çentik aşınması [34].

### 3.10.6. Yığılma – Sıvanma (BUE)

Şekil 3.18’de kesici takımında talaş kaldırma sonrası meydana gelen yığılma görülmektedir. Önemli ölçüde sıcaklığa dolayısıyla kesme hızına bağlı bir aşınma türüdür. Takım yüzeyine kaynak olan malzemeden dolayı ortaya çıkan, takım yüzeyinden parçacık kopmasına neden olan yığılma kenar istenmeyen durumdur. Yığılma kenar oluşumuna is parçası ve takım arasındaki afinite de etkide bulunur. Düşük sıcaklıklar ve yüksek basınçlar is parçası malzemesinin takım yüzeyine kaynak olmasına neden olur. Yığılma kenar oluşumuna sebebiyet veren sıcaklık ve kesme hızları bilindiğinden bu tip aşınmanın kolaylıkla önüne geçilebilir. Birçok modern talaş kaldırma işleminde kesme hızları yığılma kenar oluşum alanının çok üzerindedir ve birçok kalite yığılma kenar oluşumuna engel olacak şekilde seçilir. Yığılma kenar oluşumuna izin verildiği takdirde yüzey kalitesi bozulur ve bu oluşum devam etmesi halinde kenarın kırılması ve hatta ömrünü tamamlaması söz konusu olabilir. Yukarıda ana aşınma tiplerinden bahsedilmiştir. Bu aşınma tiplerinden bazıları aşınma olmayıp kesici ucun aniden kırıldığı durumlardır ve bu durumların önüne geçilmesi şarttır. Daha çok serbest yüzeyde görülen düzenli bir aşınma kesici kenarın ne zaman değiştirileceğini belirlemesi sayesinde optimum takım ömrü sağlayacaktır [18].

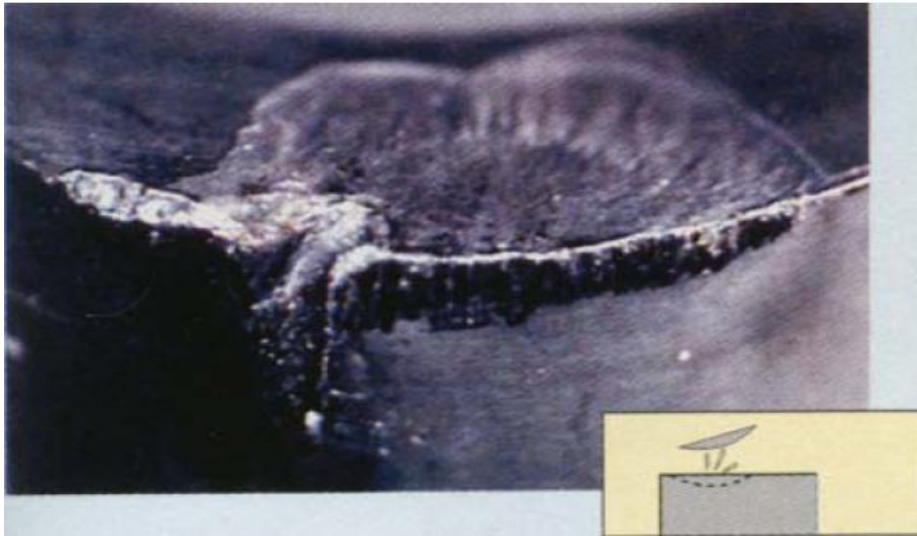




Şekil 3.18. BUE oluşumu [34].

### 3.10.7. Mekanik Yorulma Kırılmaları

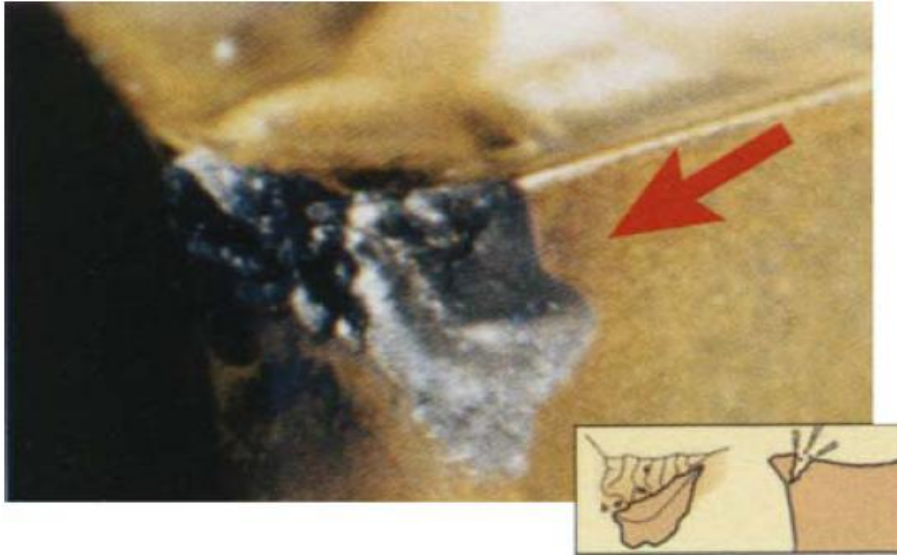
Şekil 3.14’te kesici takımda talaş kaldırma sonrası meydana gelen mekanik yorulma kırılmaları görülmektedir. Mekanik yorulma kırılmaları kesme kuvvetlerindeki ani değişimler sonucunda ortaya çıkarlar. Mekanik yükün kendi basına çatlak oluşturacak büyüklükte olmamasına rağmen mekanik yükteki sürekli değişim çatlak neden olur. Kesmenin başlangıcında ve kesme kuvvetinin büyüklüğü ve yönündeki değişimler kesici ucun mukavemetinden ve tokluğundan fazla olduğunda bu tip aşınma gözlenir [18].



Şekil 3.19. Mekanik yorulmadan kaynaklanan kırılmalar [34].

### 3.10.8. Kırılma

Şekil 3.20’de kesici takımda talaş kaldırma sonrası meydana gelen kırılmalar görülmektedir. Kırılma, kesici kenarın görevinin tamamen sona ermesidir. Önceden oluşan şişkinliğin kırılması en tehlikelisi olup mümkün olduğunca bundan kaçınılmalıdır. Kenar kırılması genellikle diğer aşınma tiplerinin en son noktasıdır. Geometrinin değişmesi, kesici kenarın dayanımının zayıflaması, sıcaklık ve kuvvet yükselmeleri pek çok kesici kenar hatalarına zemin hazırlayacaktır. Ağır kesme şartlarında (kesme parametrelerinin büyük olması) oluşan veya iş parçası malzemesinden kaynaklanan ani kırılmaların sebep olduğu gevrek kırılma, çalışma taleplerini (ihtiyaçlarını) karşılamaya muktedir olmayan bir takım malzemesi üzerindeki değişik gerilmelerin bir sonucu olabilir [12].

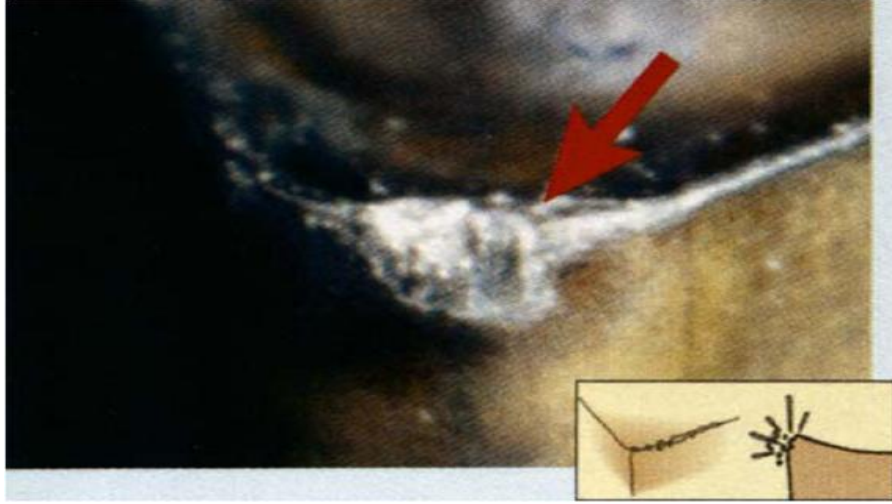


Şekil 3.20. Kırılma [34].

### 3.10.9. Çıtlama (Tanecik Kopması)

Şekil 3.21’de kesici takımda talaş kaldırma sonrası meydana gelen tanecik kopması görülmektedir. “Kesici kenarda meydana gelen çentikler, aşınmadan ziyade kesici kenardaki küçük boyutlu kırılmalardır”. Kesici kenardaki mekanik gerilmeler aşırı ise ve uç aşırı bir şekilde sıcaklık değişimlerine maruz kalıyorsa, ucun kesici kenarında küçük parçalar halinde kopmalar olacaktır. Önlemek için, daha sünek bir sert metal kalitesi seçilmesi, büyük köşe radyüsü kullanılması, kesme hızı ve

ilerlemenin arttırılması, kesme derinliğinin arttırılması, daha rijit takım kullanılması, profil takım geometrisi seçilmesi gibi alternatifler denenmelidir [12].



Şekil 3.21. Çıtlamanın oluşumu [34].

### 3.11. Takım Aşınmasının Kontrolü

Bir takımın yararlı çalışma süresi, kesici ucun iş parçası üzerinde kaldığı toplam zamandır. Bu zaman zarfında uçta oluşan aşınmaların kontrol edilmesi ile takım ömrünün azalması, ölçülerde sapmaların meydana gelerek ölçü kontrolünü zorlaşması ve işlenmiş yüzeylerin bozuk çıkması engellenmiş olur [12].

VBmax = Maksimum serbest yan yüzey aşınması

VB = Serbest yan yüzey aşınması

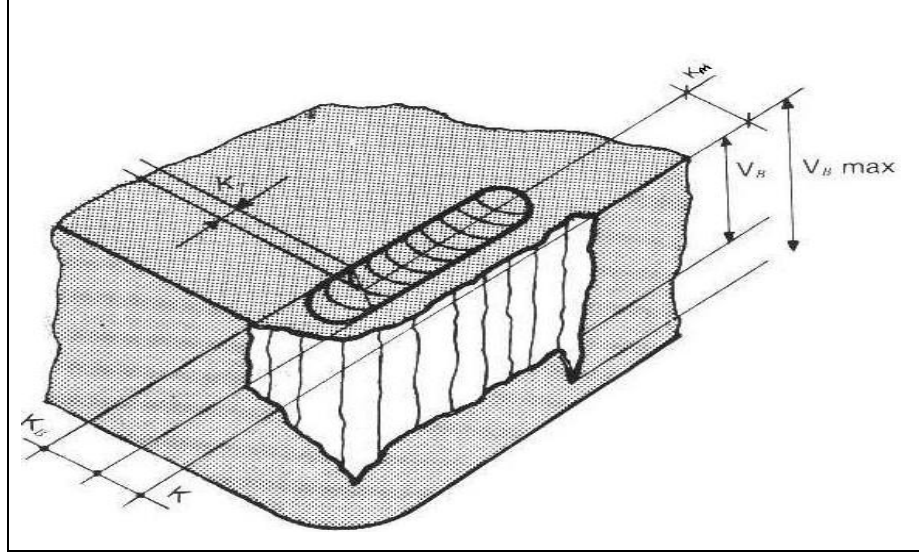
KT = Krater derinliği

KB = Krater genişliği

KM = Krater orta eksen mesafesi

Takım aşınması, belli bir seviyeye ulaşmadan önce geçen işleme zamanına bağlı olarak geliştiğinde, muayene ve kontrol yöntemleriyle belirlenir. Uygun bir mikroskop veya büyüteç en yaygın kullanılan kontrol aletleridir. Yan yüzey aşınması asıl kesme kenarından ölçülür. Ölçüm yapmak için aşınan kısım üç bölgeye ayrılarak incelenir. Toplam uzunluk dört eşit parçaya bölünür ve 1 / 4'lük kısımlar iki başta ve

1 / 2'lik kısım ortada kalacak şekilde üçe ayrılarak analiz yapılır. Şekil 3.22'de takım aşınma kontrolünün yapılacağı bölgeler görülmektedir [36].



Şekil 3.22. Takım aşınma kontrolünün yapılacağı bölgeler [12].

### 3.12. Talaşlı İmalat İşleminde Yüzey Pürüzlülüğü

Yüzeyler genellikle düzensiz ve karmaşık işlemlerle imal edilirler. Çoğu işlemlerde sıradan kontroller ve minimum kalite kontrolü ile genel yüzey doku gereksinimleri tam olarak karşılanamamaktadır. Çalışma şartlarına uygun olarak, bazı özel durumlar için yüksek mukavemet gerektiren, ağır basınçlara dayanabilen parçaların imalatı, genellikle özel ve detaylı yüzey kalitesine ihtiyaç duyulur. Bu yüzden bu parçalar için, yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesi ve kalite kontrolü gerekmektedir. Sürtünmeye karşı kullanılan yağlar ve yağlayıcılar, korosif ortamda çalışan makine elemanları, dönen makaralar, kaplanmış yüzeyler, bujiler vb. gibi parçaların imatları titizlik gerektirir.

Yüzey pürüzlülüğünü etkileyen faktörlerin başında kesici uç yarıçapı, ilerleme, takım kesici kenarının keskinliği, işleme esnasında malzemenin yırtılması, ve işlenen yüzeyde yığıntı talaşın kalması gelmektedir.

Yüzey dokusu, üç boyutlu yüzey topografisi şeklinde nominal yüzeyden sapmalar olarak tanımlanabilir. İş parçasının profilindeki bu sapmalar, mekanik, optik ve elektronik devrelerin bir kombinasyonu ile ölçülebilir. Hiç bir zaman tam anlamıyla düzgün bir yüzey elde edilemez ve daima bir miktar pürüzlü bir yapı kalır. Bu durum bitirme işleminde kalitesine göre biraz artabilir. Bazı yüzeyler hem pürüzlü hem de dalgalı olabilir. Yüzey dokusu dört elemandan oluşmaktadır. Bunlar; pürüzlülük, dalgalanmalar, yataylık ve çatlaklıklardır.

**Pürüzlülük** : Üretim işleminin tabiatında var olan düzensizliklerden oluşmaktadır. Bunlar takım izleri ve diğer ölçü dışı düzensizliklerdir.

**Dalgalanma** : Yüzey dalga durumu, bütün düzensizlikleri içermektedir ve pürüzlülük uzunluğundan büyüktür. Dalgalanma, makineden veya parçaların dönmesinden, titreşiminden, ısı işlemlerden, kesici takımın kırılmasından kaynaklanabilir. Pürüzlülük, dalgalı yüzeylerin üst üste gelmesinden meydana gelebilir.

**Yataylık** : Yataylık, belli bir yüzey durumuna doğru kaymadır. Genellikle kullanılan üretim metodundan kaynaklanır.

**Çatlaklıklar** : Çatlaklıklar, istenmeyen veya kasıtsız düzensizliklerdir. Çatlaklık, bir bölgede veya yüzeydeki aralıkların değişimi ile gerçekleşir. Çatlaklar hava boşluğu, yükselteler ve kazıntılar içermektedir. Belirlenen bu özellikler olmadıkça, çatlakların etkisi yüzey pürüzlülüğünü aşırı derecede etkilemez. Talaşlı imalat uygulamalarında işlenebilirliğin ölçülmesindeki ölçütlerden birisi olan yüzey kalitesi ile yüzey pürüzlülüğü aşağıdaki iki bağımsız değişkenle ölçülebilir.

1. İdeal yüzey pürüzlülüğü; kesici takımın geometrisi ve ilerleme hızının sonucudur.
2. Doğal yüzey pürüzlülüğü; talaş kaldırma işlemlerindeki düzensizliğin sonucudur [36].

### **3.12.1. Yüzey Pürüzlülüğünün Önemli Olduğu Durumlar**

Yüzey pürüzlülüğü birçok alanda önemli bir parametredir. Bunların bazıları:

1. Sürtünmeli yataklar,
2. Korozyon ortamında çalışan parçalar,
3. Yuvarlanmalı yataklar,
4. Boyanmış ve kaplanmış yüzeyler,
5. Sızdırmazlık yüzeyleri,
6. Plastik enjeksiyon kalıp yüzeyleri,
7. Masterlar vb. [30].

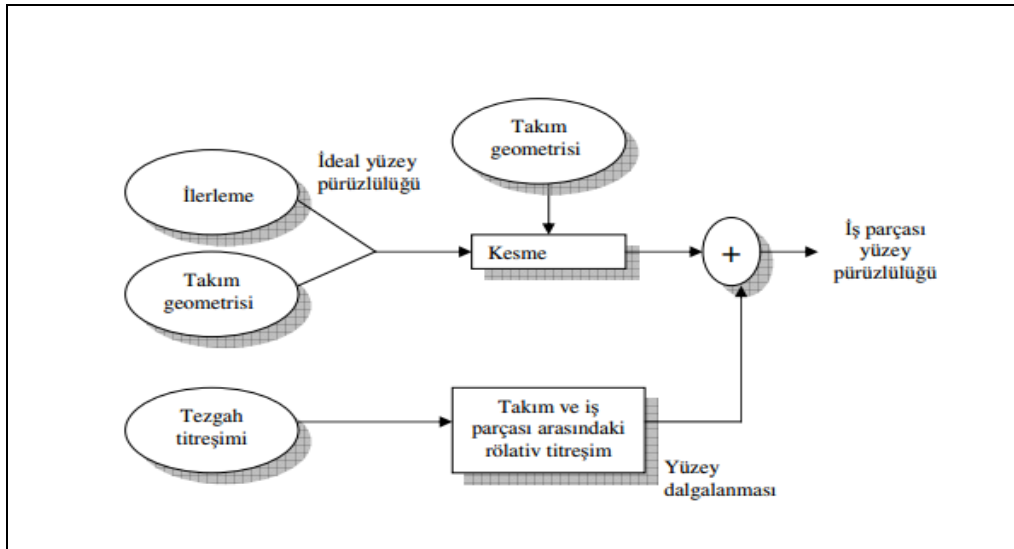
### **3.12.2. Yüzey Pürüzlülüğüne Etki Eden Faktörler**

Bütün talaş kaldırma işlemlerinde temel amaç iş parçasında istenilen geometri ve hassas bir bitirme yüzeyi oluşturmaktır. Talaş kaldırma işlemlerinde; istenilen geometri ve yüzey pürüzlülüğü olmak üzere iki önemli kalite karakteristiği üzerinde durulmaktadır. Talaş kaldırma işlemlerinde talaş akışı ve malzeme taşınımının oldukça karmaşık olmasından dolayı matematiksel modellenmesi için çoklu değişkene ihtiyaç vardır. Bu karmaşık yapıya rağmen, kısmen yüzey pürüzlülüğünün kontrolü, öncelikli olarak üç önemli talaş kaldırma değişkeni olan kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği için uygun değerler seçilerek sağlanabilir. Genel olarak, talaş derinliği ve ilerleme miktarının artmasıyla birlikte yüzey pürüzlülüğü miktarı artarken, buna zıt olarak kesme hızının artmasıyla birlikte yüzey pürüzlülük değerleri azalmaktadır [18].

Şekil 3.23'de yüzey pürüzlülüğüne etki eden faktörler ele alınmıştır. İş parçasının bitmiş yüzey pürüzlülüğünü etkileyen bu faktörler; ilerleme, takım geometrisi ve takım-iş parçası arasında kendiliğinden meydana gelen titreşim olmak üzere üç kısma ayrılmıştır.

Talaşlı imalat esnasında yüzey pürüzlülüğüne etki eden parametreler şunlardır:

1. Takım tezgahının rijitlik durumu,
2. Yataklama sisteminden kaynaklanan hatalar,
3. Takım tutucu rijitlik durumu,
4. Takım aşınmasının etkileri,
5. Takım geometrisi,
6. Kesme parametreleri,
7. Malzemenin mekanik özellikleri,
8. Soğutma sıvısının etkileri [30].

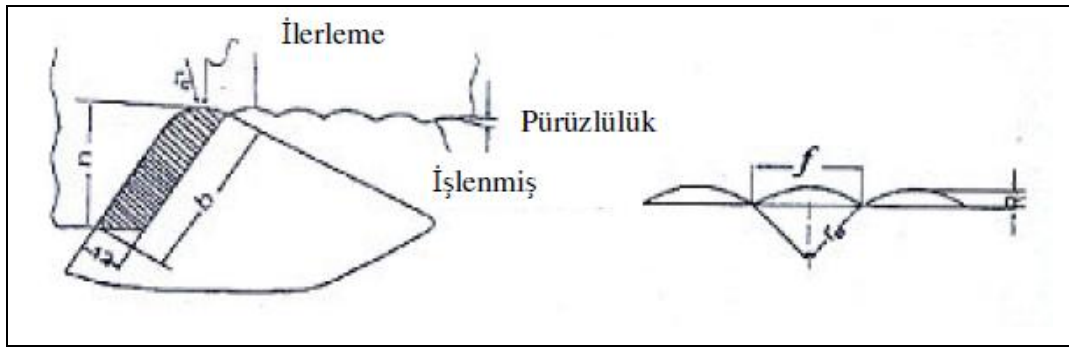


Şekil 3.23. Yüzey pürüzlülüğünü etkileyen faktörler [18].

### 3.12.3. Yüzey Pürüzlülüğünün Oluşumu

İdeal kesici takım seçilerek (hatalar, vuruntular, yığıntı talaş, titreşim ve takımın hatalı bağlanması v.b. etkenlerin minimize edilmesi) kesici uç biçimine ve ilerlemeye bağlı olarak elde edilen en iyi yüzey pürüzlülüğü "ideal" yüzey pürüzlülüğü olarak adlandırılabilir. Yüzey pürüzlülüğü ölçümlerinde en çok kullanılan yöntem Ra aritmetik ortalama değeri olarak bilinir [36].

İdeal yüzey pürüzlülüğünün oluşumu Şekil 3.24’de şematik olarak gösterilmektedir. Uygulamada, genellikle aşağıda tanımlanan ideal pürüzlülük şartlarına ulaşmak mümkün değildir. Normalde gerçek pürüzlülükte en etkili pürüzlülük tipi doğal yüzey pürüzlülüğüdür. Doğal yüzey pürüzlülüğüne sebep olan en önemli faktörlerden biri yığıntı talaş oluşumudur. Genelde yüzey pürüzlüğü değerleri olarak taşlama işlemi için 0,05-1,6  $\mu\text{m}$ , finiş tornalama için 0,1 den 1,0  $\mu\text{m}$ , frezeleme ve kaba tornalama için ise 1,6  $\mu\text{m}$ ’den daha yüksek olan Ra değerleri kabul edilebilir [30].



Şekil 3.24. İlerleme ve takım uç yarıçapının yüzey pürüzlülüğüne etkisi [30].

#### 3.12.4. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçme Teknikleri

Çeşitli şekillendirme işlemleri sonucu oluşan yüzey pürüzlülük değerlerini belirlemek için farklı metotlar mevcuttur. Talaslı imalat metotlarıyla elde edilen yüzeylerin pürüzlülük değerlerinin belirlenmesinde izleyici uca sahip cihazlar kullanılır. Yüzey pürüzlülük değerlerini belirlemek için kullanılan bazı metotlar şöyledir;

İzleyici uçlu cihazlar: Çok sivri bir izleyici ucun parça üzerinde değerlendirme uzunluğu boyunca hareket ettirilmesi ve hareket esnasında oluşan titreşimlerin büyütülerek hareketli bir Şerit üzerine aktarılması veya elektronik cihazlar yardımıyla yorumlanması esasına dayanır. İzleyici ucun inceliği ölçüm esnasında doğruluk açısından önem arz ettiğinden genelde iğne olarak 900 uç açılı ve 4-12  $\mu\text{m}$  yarıçapa sahip iğneler kullanılmaktadır. Kullanımı en kolay ve ideal bir ölçüm sistemidir.



Optik metot: Bir yüzey üzerine yansıtılan ışının geliş açısı ile yansıma açısı aynı olacaktır. Pürüzlü yüzeylerde ışının dağılımı optik sensörlerle ölçülerek yüzey pürüzlülüğü ölçülmektedir.

Temas metodu: Yüzey üzerinde dolaştırılan bir probun sürtünme katsayısı bilinen bir yüzeye göre elde edilen neticelerinin karşılaştırılması esasına dayanır.

Mekanik metot: Çelik bilye kullanılarak en düşük 500 g ağırlığın yüzeyde, yüzeyin içine doğru 1 mikronluk yer değiştirmesi ile yapılan yüzey pürüzlülüğü ölçme tekniğidir.

Hidrolik metot: Belli eğim ve uzunluktaki bir düzlemde ve belli hacimde yağ damlasının akış süresi ile pürüzlülük değeri arasında kurulan bir ilişki ile pürüzlülük değeri ölçülmesi esasına dayanır.

Yüzey dinamometresi metodu: iki yüzey arasındaki sürtünme katsayısı, parçaların pürüzlülük değerine bağlıdır. iki parça birbiri üzerinde kaydırılarak ve uygulanan kuvvet dinamometre ile ölçülerek pürüzlülük hakkında bilgi edinilebilir.

X ışını metodu: Mikroskop altında yüzey düzensizliklerinde küçük açılarla gönderilen X ışınları ile 0,00254-0,0508  $\mu\text{m}$  arasındaki pürüzlük değerleri ölçülebilir.

Elektron mikroskobu metodu: Elektron mikroskobu en küçük düzensizlikleri ölçme gücüne sahip olmasına rağmen ölçme boyutunun küçük tutulması zorunluluğu bu metodu sınırlamaktadır.

Replika metodu: Parça üzerindeki konumu nedeniyle ölçüm yapılacak yüzeye erişilemediği durumlarda yüzeye selüloz - asetat filmi, asetonla yumuşatılarak sertleşene kadar temizlenmiş yüzeye bastırılırsa elde edilen maske yüzey karakteri hakkında %80 oranında bilgi verir.

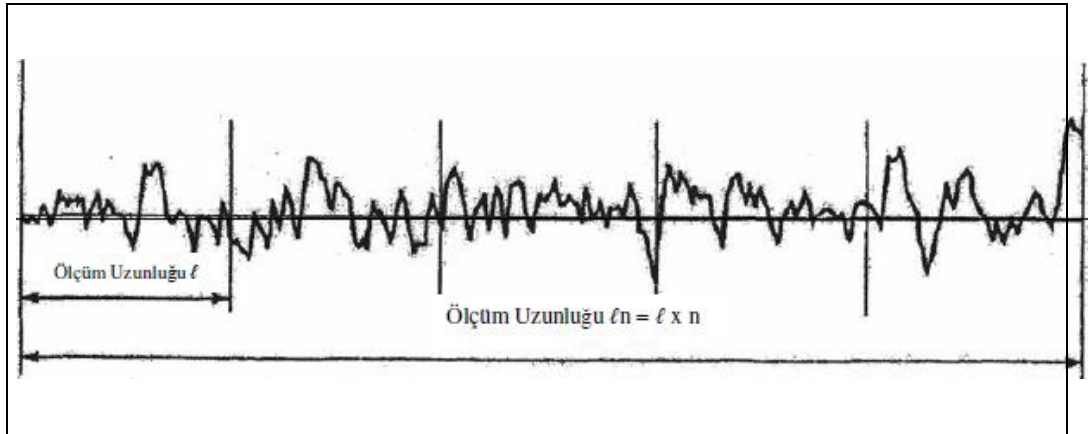
Elektro fiber optik metot: Yüzey pürüzlülüğü ölçülecek malzeme X, Y yönünde hareket edebilen tablaya bağlanarak yatay konuma getirilir. Fiber optik algılayıcı ile parça

yüzeyine dik olarak ışın gönderilir. Parça yüzeyinin pürüzlülüğüne göre dağılan ışınlar fiber optik algılayıcılara bağlanmış foto algılayıcılarla yorumlanarak pürüzlülük değeri bulunur [30].

### 3.12.5. Yüzey Pürüzlülük Parametreleri

#### 3.12.5.1. Örnekleme Uzunluğu ve Örnekleme Sayısı

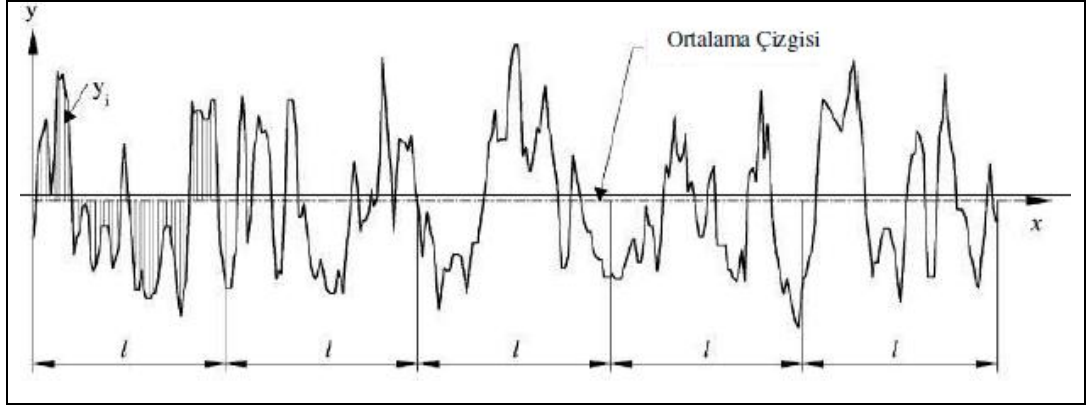
Şekil 3.25’de  $\ell$  ile ifade edilen örnekleme uzunluğu kesicinin ilerlemesini temsil edecek büyüklükte seçilmelidir. Profil üzerinde değerlendirilen bütün örnekleme uzunluklarının bir araya gelmesi ile  $\ell n$  ile ifade edilen ölçüm uzunluğu oluşur.  $\ell n$  uzunluğu  $n > 5$  olmak üzere, örnekleme uzunluğu ( $\ell$ ) ile  $n$  çarpılarak elde edilir ( $\ell n = \ell \times n$ ) [30].



Şekil 3.25. Örnekleme uzunluğu ve sayısı ile ölçüm uzunluğu [30].

#### 3.12.5.2. Ortalama Çizgisi

Ölçme uzunluğu içinde profilin üstte ve altta kalan alanlarının eşit olduğu yerden geçen doğrudur [30]. Şekil 3.26’da tipik yüzey pürüzlülüğü üzerinde ortalama çizgisi gösterilmiştir.



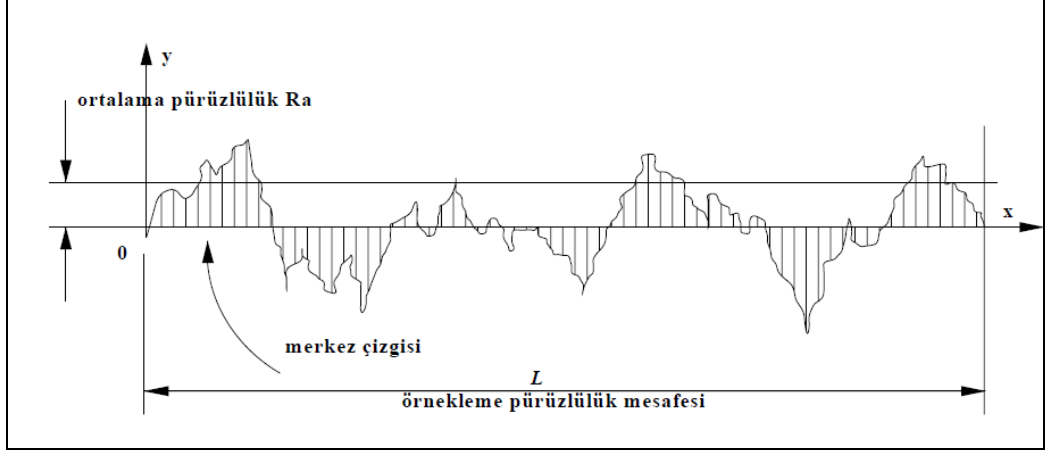
Şekil 3.26. Ortalama yüzey pürüzlülüğünün grafiksel ifadesi [30].

### 3.12.5.3. Ortalama Yüzey Pürüzlüğü (Ra)

Şekil 3.27’de gösterildiği gibi ortalama çizgisinin altında ve üstünde oluşan mutlak yükseklik değerlerinin aritmetik ortalama değeridir. Kalite kontrolünde dünya çapında kabul görmüş bir yüzey pürüzlülük parametresidir. Bu parametrenin tanımlaması ve ölçmesi kolaydır. Yükseklik dağılımları hakkında genel bir tanımlama getirdiği için dalga boyu ve profildeki hassas değişimler hakkında yeterli bir bilgi vermez. Matematiksel tanımlaması aşağıdaki şekilde ifade edilebilir [30].

Yüzeyin yapısı ve gösterimi ISO ve ANSI standartlarında belirtildiği gibi semboller ile de gösterilmektedir. Pürüzlülük, ortalama merkez doğrusundan mikro-metre (1  $\mu\text{m} = 0,001 \text{ mm}$ ) olarak ifade edilen Amerikan standardı, yüzeyden aritmetik ortalama sapması (AA) yada İngiltere de ortalama merkez doğrusu (CLA) olarak tanımlanmaktadır [36].

Ra, merkez doğrusu ve yüzey izleri arasındaki hattın alt ve üst eşdeğer alanı olarak alınır (Şekil 3.27). Ra, uluslararası benimsenmiş sembol olup pürüzlülük değerini gösterir. Ölçme aletleri pürüzlülük merkezinden ortalama ayrılmayı kullanır. Ra, ortalama profil doğrusundan y aritmetik ortalama olarak sapmasıdır. Birbiri ardı sıra birkaç tane örnekleme uzunluğu ( $L$ ) sonuçlarının ortalaması alınarak belirlenir [36].



Şekil 3.27. Ra yüzey pürüzlülük değerinin gösterimi [36].

## BÖLÜM 4

### MALZEME VE METOD

#### 4.1. DENEY NUMUNELERİ

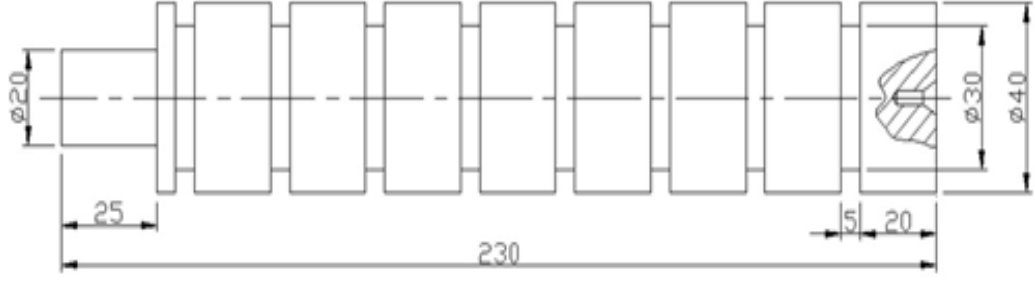
Bu çalışmada 52100 rulman çeliğinin karbür ve sermet kesici takımlarla işlenmesinin incelenmesi ve işlemede en iyi kesme parametrelerinin belirlenmesi amacıyla bir dizi deney gerçekleştirilmiştir.

İş parçası olarak ticari kalitede AISI 52100 (100Cr6) rulman çeliği seçilmiştir. Çizelge 4.1’de bu malzemenin içerisindeki elementlerin ağırlıkça oranları gösterilmektedir.

Çizelge 4.1. AISI 52100 Rulman çeliğinin kimyasal bileşimi.

Element	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
% (Ağırlık)	0,993	0,225	0,294	0,007	0,002	1,464	0,210	0,023
Element	Cu	Al	V	Nb	W	Co	Pb	Sn
% (Ağırlık)	0,175	0,033	0,003	0,002	0,009	0,013	0,001	0,008

40 mm çapındaki silindirik AISI 52100 rulman çeliği iş parçaları üzerinde Şekil 4.1’de gösterildiği gibi kanallar açılmıştır. Bu şekilde işleme koşullarının rulmanların kaba işlenmesindeki gerçek koşullara yakın olması sağlanmıştır. AISI 52100 rulman çeliğinin işlenmesinde farklı üreticilerden temin edilen sementit karbür ve sermet kesici takımların ve kesme hızının kesici takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla tornalama deneyleri yapılmıştır.



Şekil 4.1. AISI 52100 Rulman çeliği iş parçası.

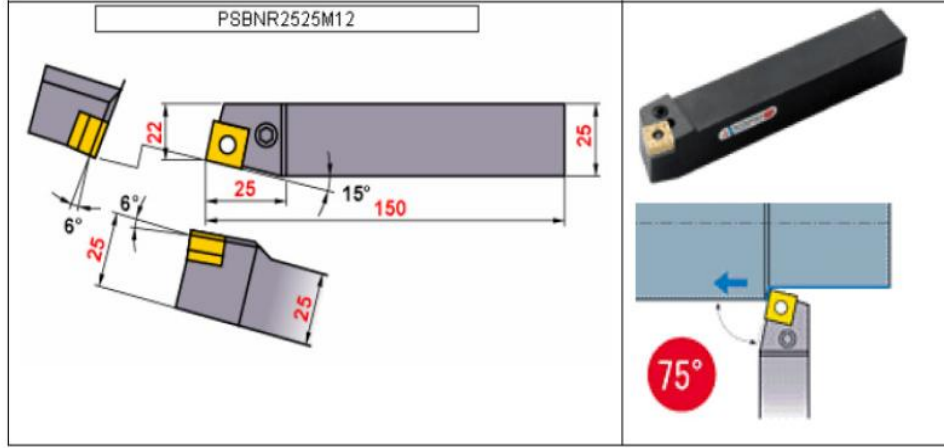
## 4.2. KESİCİ TAKIMLAR VE TAKIM TUTUCULAR

Tornalama deneyleri için 4 farklı firmaya ait 6 farklı kesici takım seçilmiştir. Kyocera, Sandvik, Korloy ve Kennametal firmaları tarafından üretilen CNMG 120404 formunda sementit karbür ve Kyocera, Korloy firmaları tarafından üretilen sermet kesici takımlar kullanılmıştır. Sermet kesici takımlar üretici firmaların özel tavsiyesi üzerine seçilmiştir.

Çizelge 4.2. Kesici Takımların Özellikleri.

Üretici	Malzemesi	Üretici Kodu
Kyocera	Sementit Karbür	CA5525
Korloy	Sementit Karbür	NC3020
Sandvik	Sementit Karbür	GC4215
Kennametal	Sementit Karbür	KCP25
Kyocera	Sermet	PV7020
Korloy	Sermet	CN20

Tornalama deneyleri için kullanılan CNMG 120404 kodlu kesici takımlar bir TCLNR 20 20 K12 kodlu bir takım tutucuyla rijit bir şekilde CNC torna tezgahına bağlanmıştır. Çizelge 4.2’de kullanılan kesici takımların özellikleri ve Şekil 4.2’de bu takım tutucuya ait özellikler verilmektedir.



Şekil 4.2. Tornalama deneylerinde kullanılan takım tutucu özellikleri.

### 4.3. KULLANILAN TAKIM TEZGAHLARI

Deneyler Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü Talaslı Üretim Anabilim Dalında bulunan Taksan TTC-630 marka CNC Tornada ayna punta arasında iş parçaları bağlanarak gerçekleştirilmiştir. Deneyler öncesinde iş parçası yüzeyinden ince bir talaş kaldırılarak muhtemel salgı ve iş parçası yüzeyindeki düzensizlikler giderilmiştir. Taksan TTC-630 marka CNC Torna Tezgahının iş mili değişken kademesiz hıza sahip olup 4000 dev/dk'ya kadar çıkabilmektedir ve gücü de 10 kW'tır.

### 4.4. TAKIM AŞINMASI

Takım aşınması için karbür kesici takımlarda (150, 200, 250, 300 m/dk), Sermet kesici takımlarda (200, 250, 300, 350 m/dk) kesme hızları, her iki kesici takım için 0,1 mm/dev ilerleme miktarında 0,5 mm kesme derinliğinde toplamda 24 deney gerçekleştirilmiştir. Yapılan yirmi dört deneyden on altı adedi karbür takıma aittir. Aşınma ölçümleri için her bir deneyde kesici takıma ait uçlarda farklı köşeler kullanılarak 20 mm'lik iş parçası boyunda 0,5 mm talaş derinliğinde 1. 5. 10. ve 20. pasolardan sonra ölçümler gerçekleştirilmiştir. Aşınmaların ölçümünde Nikon marka bir stereo mikroskop kullanılmıştır. Kesici takımdaki aşınmaların daha ayrıntılı olarak incelenmesi için de tarama elektron mikroskobu (SEM) çalışması yapılmıştır.

#### 4.5. METALOGRAFİ VE MİKROYAPI

Kardökmak A.Ş firması malzeme laboratuvarında standart metalografik numune hazırlama işlemleri yapıldıktan sonra optik mikroskop Nikon Eclipse MA100 vasıtasıyla malzemenin mikroyapı fotoğrafları çekilmiştir. AISI 52100 rulman çeliği metalografik inceleme için numune yüzeyleri parlatıcılar kullanılarak parlatılmıştır. Parlatılan malzeme, dağlamalı ve dağlamasız olarak görüntülü analiz programında mikro yapısal ayrıntıları ortaya çıkarılmıştır.

#### 4.6. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜK ÖLÇÜM CİHAZI

İşlenmiş yüzeyler üzerinde yüzey pürüzlülük ölçümleri için Karabük Üniversitesi'nde bulunan Marsurf PS1 yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı kullanılmıştır. Yüzey pürüzlülük ölçümleri 0,8 mm kesme (cut-off) uzunluğu ve 5,6 mm örnekleme (sampling) uzunluğu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri deney numunesinin eksenine paralel olacak şekilde ve her ölçümden sonra deney numunesi kendi eksenine etrafında 90° çevrilerek üç ayrı yüzeyden yapılmıştır. Elde edilen pürüzlülük değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) hesaplanmıştır. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı Şekil 4.3'de ve bu cihazın teknik özellikleri ise Çizelge 4.3'de verilmiştir.



Şekil 4.3. yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı.



Çizelge 4.3. Yüzey pürüzlülük ölçme cihazının teknik özellikleri.

Model	Marsurf PS1
Ölçüm ucu ( $\mu\text{m}$ )	2 $\mu\text{m}$ uç radyuslu
Baskı Kuvveti (mN)	0,7
Ölçüm kursu ( $\mu\text{m}$ )	350
Parametreler	Ra, Rp, Rz (Ry), Rmax, Rpm, Rpk, Rk, Rvk, Mr1, Mr2, A1, A2, Vo, Rt, R3z, RPc, Rmr, RSm, R,Ar,Rx
Çözünürlük	32nm profil çözünürlüğü
Filtreler	DIN EN ISO 11562 (Gauss); DIN EN ISO 13565; DIN EN ISO 3274
Kesme Boyu (mm)	0,25 - 0,8 - 2,5 (otomatik seçim)
Tarama Boyu (mm)	1,75 - 5,6 - 17,5 (ISO) 1 - 2 - 4 - 8 - 16 (CNOMO)
Kalibrasyon	Dinamik kalibrasyon
Bellek	15 profil; 20.000 ölçüm
Boyutlar (mm)	140x50x70
Bağlantı	USB ve RS232 çıkışı
Yaklaşık ağırlık (gr)	400

#### 4.7. SERTLİK

Malzeme sertliği Kardökmak A.Ş malzeme laboratuvarında equatip 3 portatif sertlik ölçme cihazıyla, numune üzerine dikey bir çarpma gerçekleştirilerek deneylerde kullanılan rulman çeliğinin sertliği 185-195 HB arasında ölçülmüştür. Şekil 4.4'de Equatip 3 portatif sertlik ölçme cihazı görülmektedir. Equatip sertlik ölçme cihazı geniş kullanım alanına sahip çok yönlü sertlik ölçme cihazıdır. Bu cihaz, metallerin çoğunda kullanılabilen, ulaşılması zor bölgelerde ölçüm yapabilen ve eğri test yüzeylerinde bile hassas ve hızlı ölçüm yapabilen bir cihazdır.



Şekil 4.4. Equatıp 3 portatif sertlik ölçme cihazı.

#### 4.8. DENEY DEĞİŞKENLERİ

Deneyler, karbür kesici takımlar için 150, 200, 250 ve 300 m/dk ve sermet kesici takımlar için de 200, 250, 300 ve 350 m/dk kesme hızlarında 0,1 mm devir ilerleme hızı ve 0,5 mm talaş derinliğinde kesme sıvısı kullanılmadan yapılmıştır.

Çizelge 4.4. Kesici takımların deney değişkenleri

Kesici Takım	Kesme Hızı (m/dk)	İlerleme Hızı (mm/dev)	Kesme Derinliği (mm)
Karbür	150, 200, 250, 300	0,1	0,5
Sermet	200, 250, 300, 350		

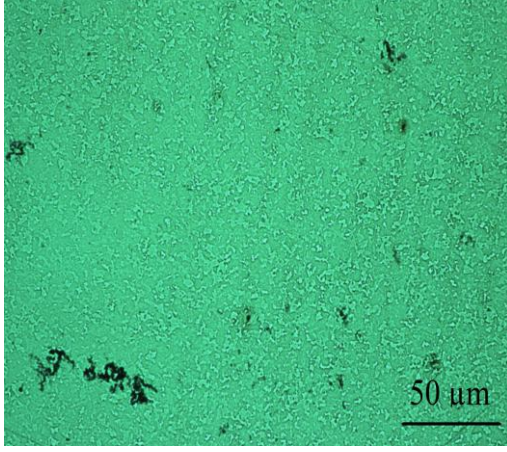
## BÖLÜM 5

### DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

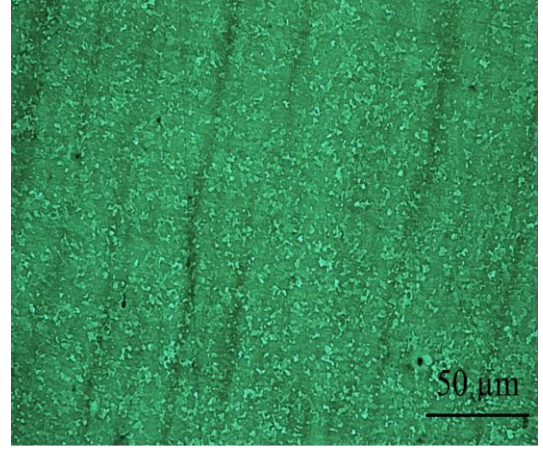
Yapılan bu çalışmada AISI 52100 Rulman çeliği malzemesinin karbür ve sermet kesici takımlarla işlenmesinin incelenmesi ve işlemede en iyi kesme parametrelerinin belirlenmesi amacıyla bir dizi deney gerçekleştirilmiştir. Deneylerde Korloy ve Kyocera firmalarına ait 2 farklı kesici takım, Sandvik ve Kennametal firmalarına ait tek farklı kesici takım kullanılmıştır. Sandvik ve Kennametal firmaları sertleştirilmemiş rulman bileziklerinin işlenmesi için karbür kesici takımları önerirken, Kyocera ve korloy firmaları sermet kesici takımları özellikle tavsiye etmişlerdir. Yapılan deneylerde elde edilen takım aşınma değerleri ve yüzey pürüzlülük değerleri tablo ve grafik halinde verilmiştir.

#### 5.1. MİKROYAPI ANALİZİ

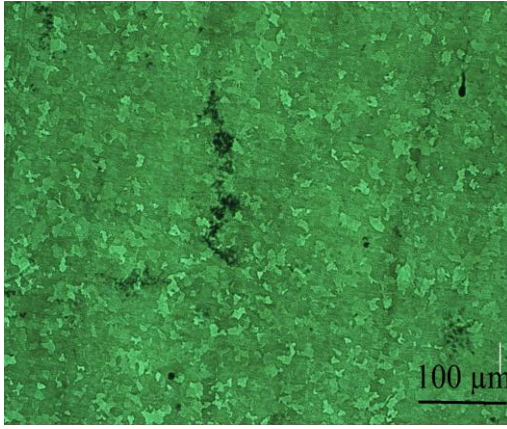
Şekil 5.1. a), b), c), d), e), f)'deki mikroyapı fotoğraflarından AISI 52100 rulman çeliğinin ferrit bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. Bu çeliğin dağlamalı ve dağlamasız mikroyapıları incelendiğinde ferrit tane sınırlarının büyük olduğu görülmektedir. Ferrit tane sınırlarının büyük olması bu çeliğin sünek bir malzeme olduğunu göstermektedir. Ayrıca Şekil 5.1.b'deki koyuluklar bu parçanın hadde ürünü olduğunu gösteriyor. Dağlamalı 100 büyütmede görülen beyaz bölgeler bu malzemede karbür tanecikler olduğunu göstermektedir.



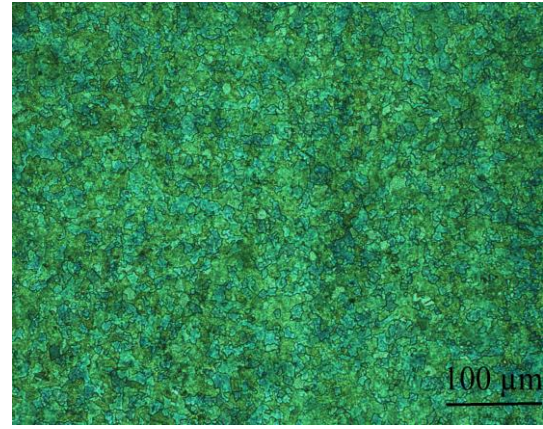
a)



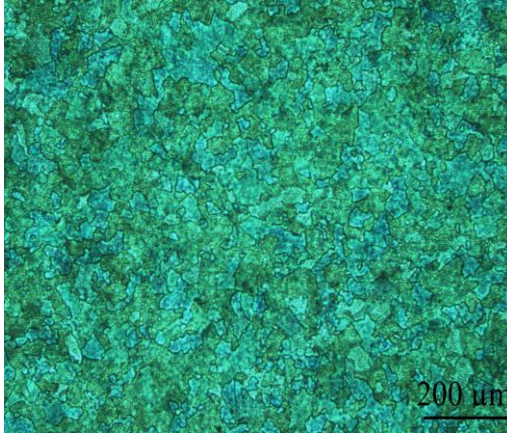
b)



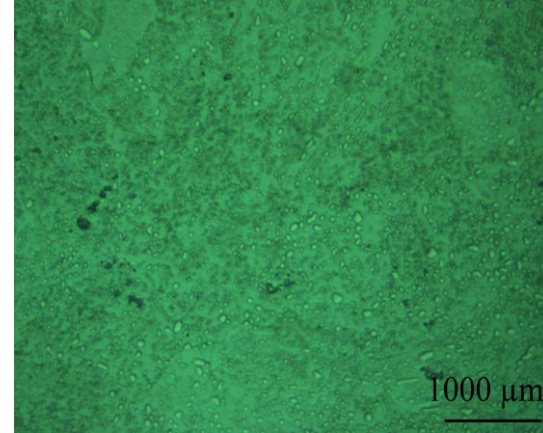
c)



d)



e)



f)

Şekil 5.1. Deneylerde kullanılan 52100 rulman çeliğinin mikro yapısı.

a) Dağlamasız x50 b) Dağlamalı x50 c)Dağlamalı x100

d) Dağlamalı x100-1 e) Dağlamalı x200 f) Dağlamalı x1000.

## 5.2. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜK

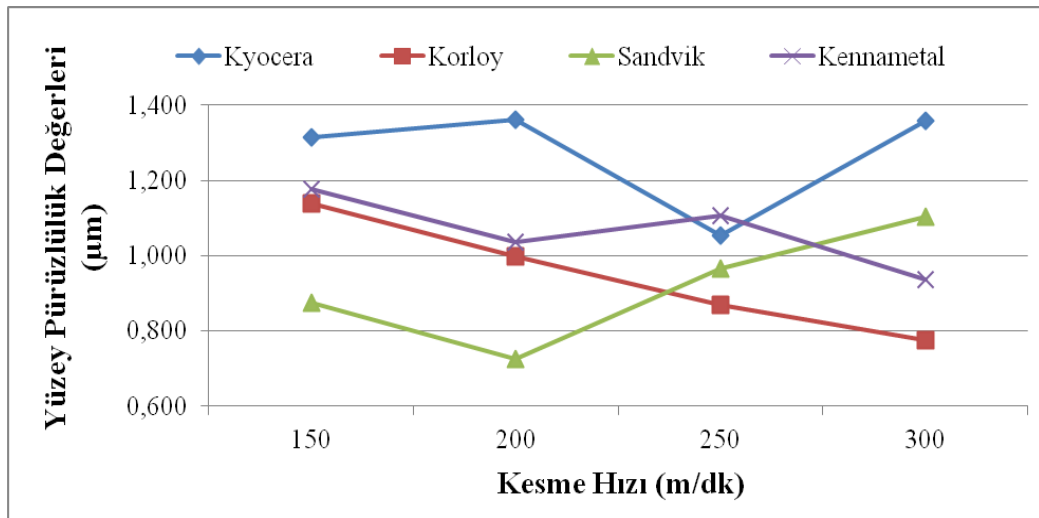
İşlenmiş parçaların yüzey pürüzlülük değerleri genellikle bitirme işlemlerinde dikkate alınır. Bu çalışmada olduğu gibi kaba tornalama işlemlerinde oluşan yüzeylerin pürüzlülük değerleri çoğunlukla dikkate alınmaz. Ancak, bazı durumlarda bitirme işlemlerini etkilediği için değerlendirmeye alınır. Bazı yapım resimleri üzerinde kaba tornalama işlemleri için de yüzey pürüzlülük değerleri belirtilir. Bu tür resimlerden bir kısmı da rulman bileziklerine ait olan yapım resimleridir. Tornalama yöntemiyle elde edilen yüzey pürüzlülük (Ra) değerleri Çizelge 5.1’de verilmiştir. En yüksek yüzey pürüzlülük değeri Kennametal karbürle 250 m/dk kesme hızında işlemede elde edilirken en düşük yüzey pürüzlülük değeri de Korloy karbürle 300 m/dk işlemede elde edilmiştir. Bu çalışmada elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri genel olarak 0,8 ila 1,3  $\mu\text{m}$  aralığında değiştiği için rulman bilezikleri gibi parçaların kaba işlenmesinde endüstriyel olarak kabul edilebilir değerlerdir.

Çizelge 5.1. Karbür takımlarla elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri.

D.No	Kesici takım malzemesi	Kesme Derinliği, (mm)	İlerleme Miktarı (mm/dev)	Kesme Hızı (m/dk)	Yüzey pürüzlülüğü, Ra ( $\mu\text{m}$ )				
					1 paso	5 paso	10 paso	20 paso	Ra Ort. ( $\mu\text{m}$ )
1	Kyocera	0,5	0,1	150	1,080	1,832	1,120	1,228	1,315
2				200	1,325	1,951	1,253	0,920	1,362
3				250	1,049	1,058	1,252	0,861	1,055
4				300	1,029	1,813	1,771	0,818	1,358
5	Korloy			150	0,977	1,570	0,963	1,047	1,139
6				200	0,723	0,606	1,621	1,047	0,999
7				250	1,084	0,878	0,760	0,751	0,868
8				300	0,782	0,847	0,867	0,601	0,774
9	Sandvik			150	0,977	0,746	0,720	1,060	0,876
10				200	0,691	0,715	0,635	0,861	0,726
11				250	0,879	0,746	1,010	1,228	0,966
12				300	0,950	1,069	1,190	1,208	1,104
13	Kennametal			150	0,948	0,978	1,574	1,213	1,178
14				200	1,288	0,834	0,818	1,198	1,035
15				250	0,975	0,687	1,463	1,296	1,105
16				300	0,582	0,985	1,231	0,950	0,937

Karbür kesici takımlar için ortalama yüzey pürüzlülük değerleri Şekil 5.2’de ayrıca grafik olarak verilmiştir.

Şekil 5.2’deki grafikte kesme hızına bağlı olarak 4 farklı kesici takımın yüzey pürüzlülük değeri verilmiştir. Şekil 5.2’deki grafiğe ve Çizelge 5.1’deki değerlere göre kesme hızının artmasıyla Korloy kesici takımın yüzey pürüzlülük değeri düşmüştür. Sandvik kesici takımda ise kesme hızının artmasıyla önce düşüş sonra ise hızlı bir artma görülmüştür. En düşük yüzey pürüzlülük değeri Sandvik kesici takımda ölçülürken, en yüksek yüzey pürüzlülük değeri ise Kyocera kesici takımda ölçülmüştür. En düşük Ra değeri  $V=200$  m/dk kesme hızında  $0,726 \mu\text{m}$  ölçülürken, en yüksek Ra değeri ise  $300$  m/dk kesme hızında  $1,358 \mu\text{m}$  ölçülmüştür.



Şekil 5.2. Karbür kesici takımlarda ortalama yüzey pürüzlülük değerleri.

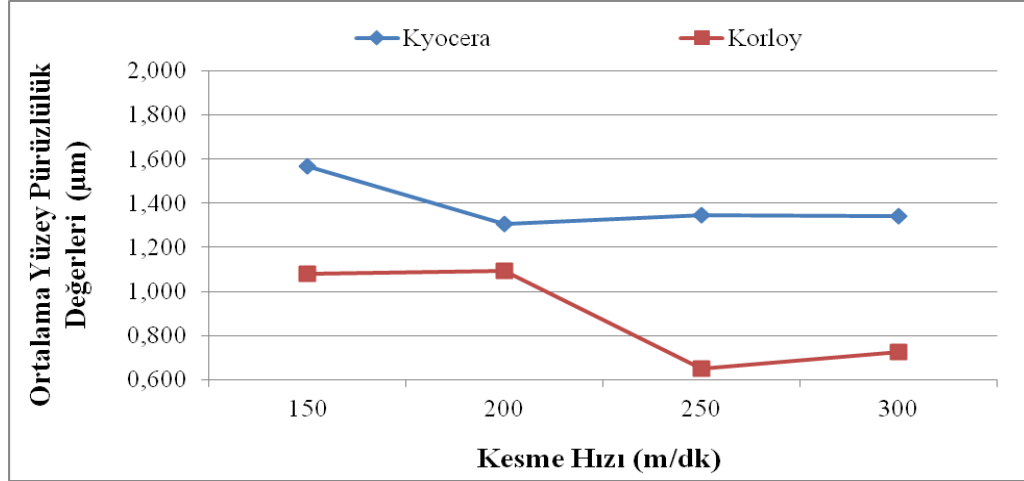


Çizelge 5.2. Sermet takımlarda elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri.

D. No	Kesici takım malzemesi	Kesme Derinliği, (mm)	İlerleme Miktarı (mm/dev)	Kesme Hızı (m/dk)	Yüzey pürüzlülüğü, Ra (µm)				
					1 paso	5 paso	10 paso	20 paso	Ort. Ra (µm)
1	Kyocera	0.5	0,1	200	1.560	1.622	1.650	1.440	1,568
2				250	1.203	1.499	1.276	1.244	1,305
3				300	1.183	1.134	1.437	1.633	1,347
4				350	1.236	1.403	1.497	1.237	1,343
5	Korloy			200	1.096	0.722	1.434	1.073	1,081
6				250	1.257	0.846	1.294	0.969	1,092
7				300	0.588	0.613	0.654	0.752	0,652
8				350	0.752	0.734	0.715	0.699	0,725

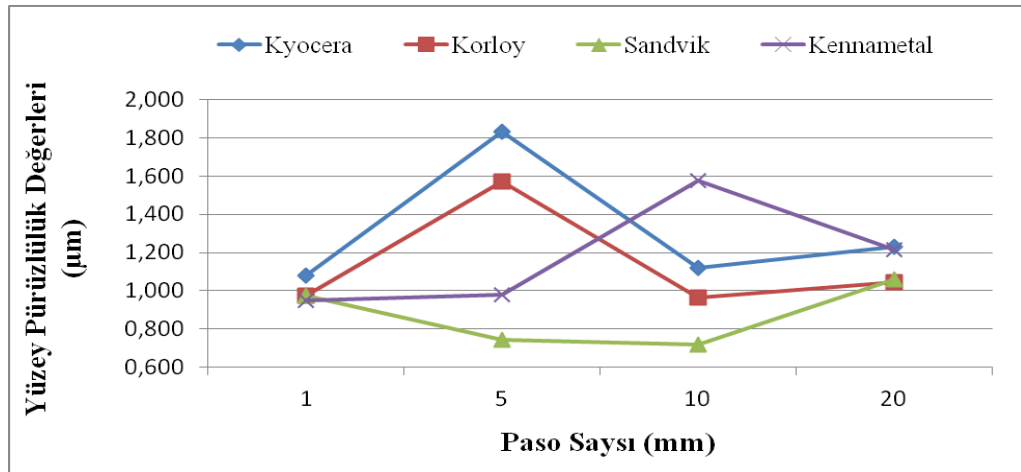
Sermet kesici takımlar için ortalama yüzey pürüzlülük değerleri Şekil 5.3’de ayrıca grafik olarak verilmiştir.

Şekil 5.3’deki grafikte kesme hızına bağlı olarak 2 farklı Sermet kesici takıma ait yüzey pürüzlülük değeri verilmiştir. Çizelge 5.2’deki değerlere göre ve Şekil 5.3’deki grafiğe göre kesme hızının artmasıyla Kyocera kesici takımın oluşturduğu yüzey pürüzlülük değerinde önce azalma, sonra ise artma görülmüştür. Korloy kesici takım ile oluşan yüzeylerin pürüzlülük değerleri ise önce sabit kalırken sonra azalma ve artma eğilimi göstermiştir. Sermet kesici takımlar arasında en düşük yüzey pürüzlülük değeri korloy kesici takımda ölçülürken, en yüksek yüzey pürüzlülük değeri ise kyocera kesici takımda ölçülmüştür. En düşük Ra değeri V=300 m/dk kesme hızında 0,652 µm ölçülürken, en yüksek Ra değeri ise 150 m/dk kesme hızında 1,568 µm ölçülmüştür.



Şekil 5.3. Sermet kesici takımlarda ortalama yüzey pürüzlülük değerleri.

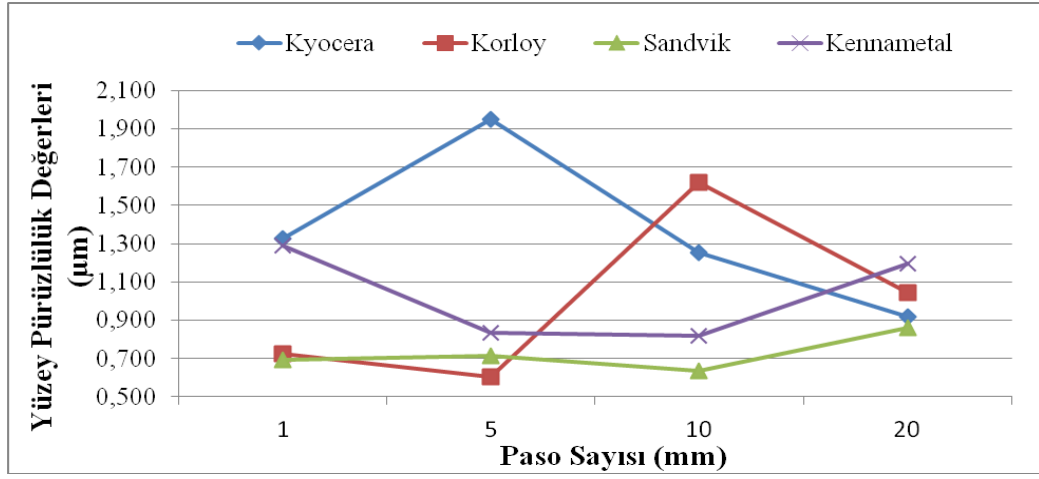
Şekil 5.4'deki grafikte  $V=150$  m/dk kesme hızında 4 farklı kesici takımın yüzey pürüzlülük değerleri verilmiştir. Şekil 5.4'deki grafiğe göre paso sayısının artmasıyla kesici takımların yüzey pürüzlülük değerleri sürekli değişiklik gösterirken, Korloy ve Kyocera kesici takımlar benzer eğilimler göstermiştir. En düşük yüzey pürüzlülük değeri 10. pasodan sonra Sandvik firmasına ait kesici takımında  $R_a$  0,720  $\mu\text{m}$  ölçülürken, en yüksek yüzey pürüzlülük değeri 5. pasodan sonra Kyocera kesici takımında  $R_a$  1,832  $\mu\text{m}$  ölçülmüştür. Kennametal firmasına ait kesici takımın 10. pasodan sonra yüzey pürüzlülük değeri azalırken diğer kesici takımlarda yüzey pürüzlülük değerinde bir artış gözlemlenmiştir.



Şekil 5.4.  $V=150$  m/dk kesme hızında farklı karbür kesici takım malzemelerine göre yüzey pürüzlülüğü.

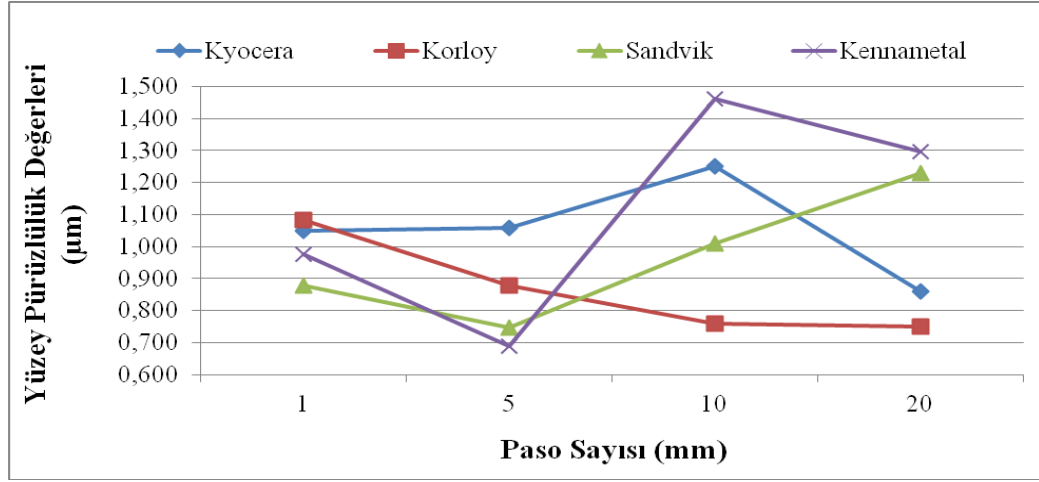


Şekil 5.5'deki grafikte  $V=200$  m/dk kesme hızında 1. pasodan sonra Kyocera firmasına ait kesici takımın yüzey pürüzlülük değerinde diğer kesici takımlara göre önemli derecede yükselme görülmüştür. Kyocera kesici takım 5. pasodan sonra sürekli azalma eğilimi gösterirken, Kennametal kesici takım ise artma eğilimi göstermiştir. En düşük yüzey pürüzlülük değeri 5. Pasoda  $0,606 \mu\text{m}$  ölçüldüğü, yine bu paso sayısında diğer kesici takımlara göre iyi bir yüzey kalitesi ortaya çıktığı tespit edilmiştir. En yüksek yüzey pürüzlülük değerleri ise 5. pasoda Kyocera kesici takım malzemesi için  $1,951 \mu\text{m}$  görülürken, Korloy kesici takım malzemesi için 10. pasoda  $1,621 \mu\text{m}$  ölçülmüştür.



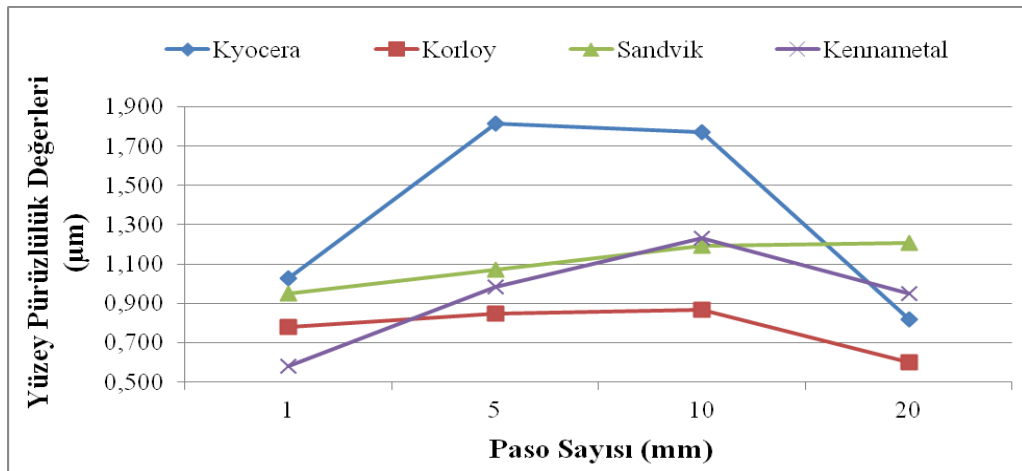
Şekil 5.5.  $V=200$  m/dk kesme hızında farklı kesici takım malzemelerine göre yüzey pürüzlülüğü.

Şekil 5.6'daki grafikte  $V=250$  m/dk kesme hızında Korloy kesici takımında 1. pasodan itibaren yüzey pürüzlülük değerinde sürekli bir azalma görülmektedir. Sandvik kesici takımında ise 5. pasodan sonra sürekli bir artış görülmektedir. Kyocera ve Kennametal kesici takımları 5. pasodan sonra benzer eğilimler içinde bulunmuş ve yüzey pürüzlülük değerinde önce artma, sonra ise azalma görülmüştür. En düşük yüzey kalitesi 5. Pasodan sonra Sandvik ve Kennametal kesici takımlarda görülürken, Korloy kesici takımında ise 10. pasoda görülmüştür. 5. Pasoda Sandvik kesici takım için  $R_a 0,746 \mu\text{m}$ , Kennametal kesici takım için  $R_a 0,687 \mu\text{m}$  değerleri elde edilirken, 5. pasodan sonra bu kesici takımlarda yüzey kalitesinin düştüğü görülmektedir. En yüksek  $R_a$  değeri 10. pasodan sonra Kennametal kesici takımında  $1,296 \mu\text{m}$  ölçülmüştür.



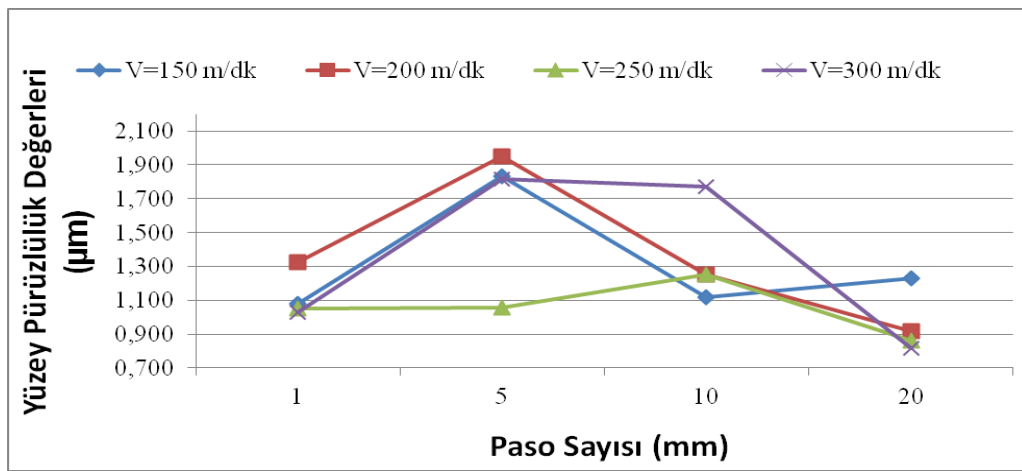
Şekil 5.6. V=250 m/dk kesme hızında farklı kesici takım malzemelerine göre yüzey pürüzlülüğü.

Şekil 5.7'deki grafikte V=300 m/dk kesme hızında elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinin Sandvik ve Kennametal kesici takımları için artan paso sayısına bağlı olarak yüzey pürüzlülük değerinde sürekli artış gösterdikleri belirlenmiştir. Başlangıçta 1. pasodan itibaren bütün kesici takımlarda artış görülürken 10. pasodan sonra sadece Sandvik kesici takımında artma görülmüş, diğer kesici takımlarda azalma tesbit edilmiştir. En düşük yüzey pürüzlülük değeri Kennametal kesici takımında 0,582 µm ölçülürken, en yüksek yüzey pürüzlülük değeri ise 10. pasodan sonra Kyocera kesici takımında 1,813 µm ölçülmüştür.



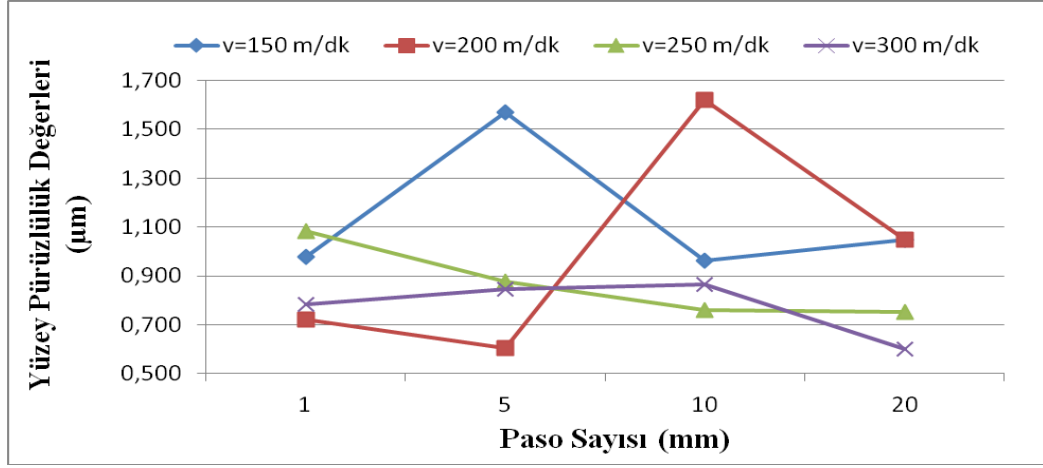
Şekil 5.7. V=300 m/dk kesme hızında farklı kesici takım malzemelerine göre yüzey pürüzlülüğü.

Şekil 5.8'deki grafikte tüm Kyocera firmasına ait kesici takımında tüm kesme hızlarında ilk pasodan sonra artış gözlenirken, son pasoda ise sadece 150 m/dk kesme hızında artış gözlenmektedir. En düşük yüzey pürüzlülük değeri 300 m/dk kesme hızında 0,818  $\mu\text{m}$  ölçülürken en yüksek yüzey pürüzlülük değeri ise 200 m/dk kesme hızında 1,951  $\mu\text{m}$  gerçekleşmiştir. 250 m/dk kesme hızında ilk pasodan sonra yavaş bir artma gerçekleşirken, diğer kesme hızlarında ise hızlı bir artış sonrada azalma görülmüştür.



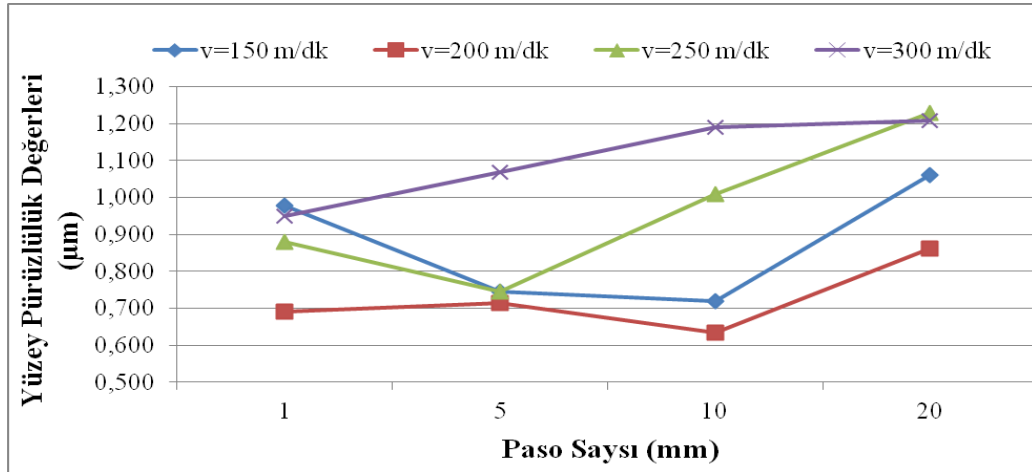
Sekil 5.8. Kyocera firmasına ait karbür kesici takımının 4 farklı kesme hızındaki yüzey pürüzlülük değerleri.

Şekil 5.9'daki grafikte Kyocera kesici takımında en düşük yüzey pürüzlülük değeri 200 m/dk kesme hızında ölçülürken yine en yüksek yüzey pürüzlülük değeri 200 m/dk kesme hızında gerçekleşmiştir. Kesici takımında paso sayısı arttıkça 250 m/dk kesme hızından sonra yüzey pürüzlülük değerinde sürekli azalma görülürken, 300 m/dk kesme hızında ise 10. pasoya kadar artan yüzey pürüzlülük değeri hızlı bir şekilde azalmıştır.



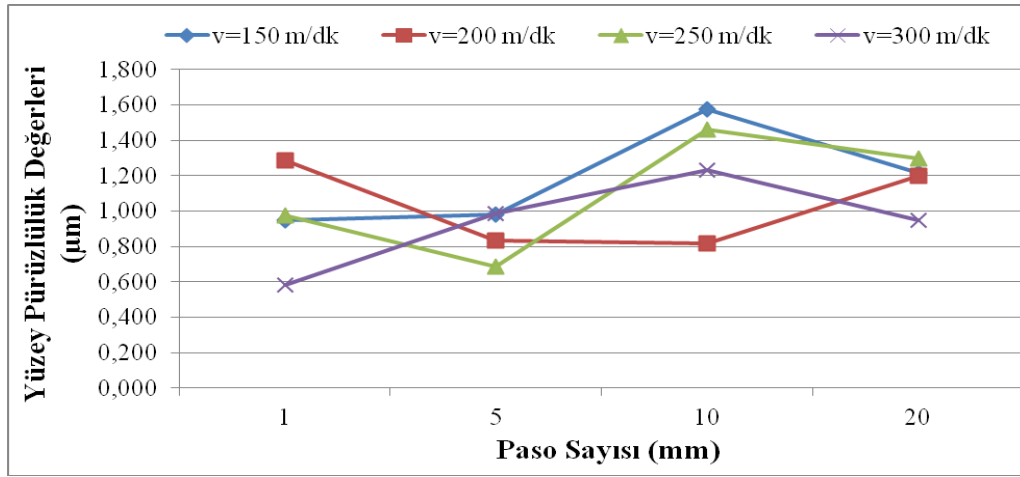
Şekil 5.9. Korloy firmasına ait karbür kesici takımın 4 farklı kesme hızındaki yüzey pürüzlülük değerleri.

Şekil 5.10'daki grafikte 300 m/dk kesme hızında paso sayısı arttıkça yüzey pürüzlülük değerinde sürekli artış gözlemlenirken, 250 m/dk kesme hızında ise 5. pasodan sonra düzenli bir artış görülmektedir. Bütün kesme hızlarında son pasodan sonra yüzey pürüzlülük değerinde artış görülmektedir. En yüksek yüzey pürüzlülük değeri 250 m/dk kesme hızında 1,228 µm ölçülürken, 300 m/dk kesme hızında da bu 1,208 µm ölçülmüştür. En düşük yüzey pürüzlülük değeri ise 200 m/dk kesme hızında 0,635 µm'dur.



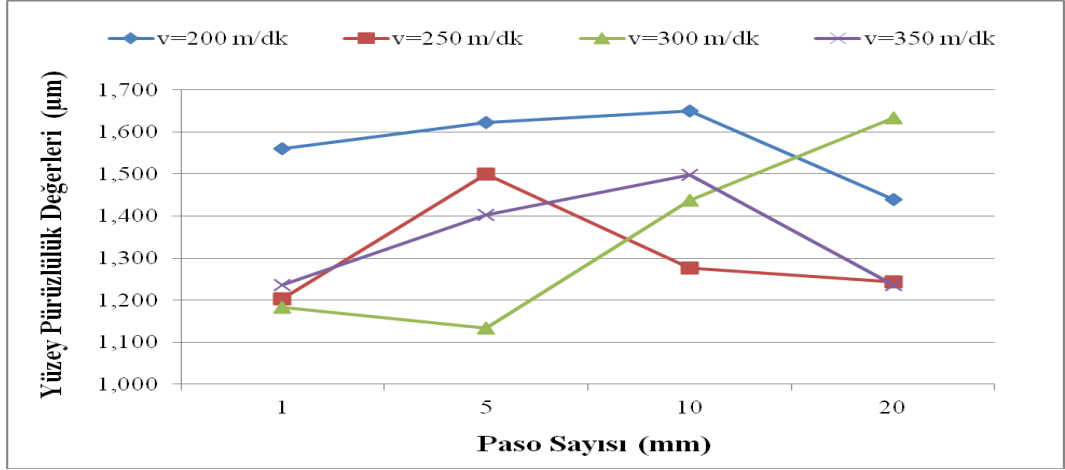
Şekil 5.10. Sandvik firmasına ait karbür kesici takımın 4 farklı kesme hızındaki yüzey pürüzlülük değerleri.

Şekil 5.11'deki grafikte kesici takımında 200 m/dk ve 250 m/dk kesme hızlarında yüzey pürüzlülük değerinde 1. pasoda azalma görülmektedir. 5. pasodan sonra ise 200m/dk kesme hızı hariç diğer kesici takımlarda hızlı bir artış, 10. pasodan sonra yerini azalmaya bırakmıştır. 20. pasoda sadece V=200 m/dak kesme hızında artış görülmüştür. En yüksek Ra değeri V=150 m/dk kesme hızında 1,574  $\mu\text{m}$  ölçülmüştür. En düşük Ra değeri ise V=300 m/dk kesme hızında 0,582  $\mu\text{m}$  ölçülmüştür.



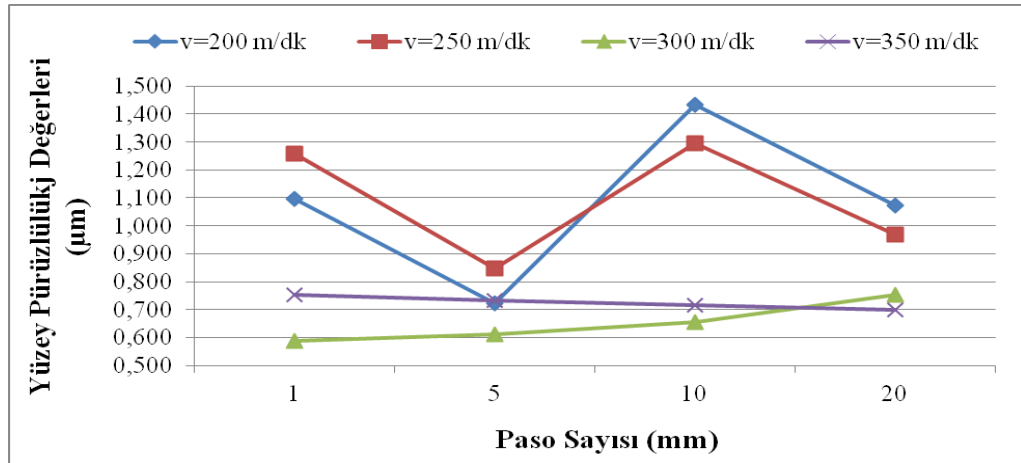
Şekil 5.11. Kennametal firmasına ait karbür kesici takımın 4 farklı kesme hızındaki yüzey pürüzlülük değerleri

Şekil 5.12'deki grafikte 200 m/dk ve 250 m/dk kesme hızlarında benzer eğilim görülürken, en küçük yüzey pürüzlülük değeri 300 m/dk kesme hızında ölçülmüştür. İlk pasodan sonra 300 m/dk kesme hızı dışında ki diğer kesme hızlarında artış yerini zamanla azalmaya bırakmıştır. 5. pasodan sonra ise 300 m/dk kesme hızında hızlı bir artış gözlemlenmektedir. En düşük Ra değeri 300 m/dk kesme hızında 0,920  $\mu\text{m}$ , en yüksek yüzey pürüzlülük değeri ise 200 m/dk kesme hızında 1,818  $\mu\text{m}$  ölçülmüştür.



Şekil 5.12. Kyocera firmasına ait sermet kesici takımın 4 farklı kesme hızındaki yüzey pürüzlülük değerleri.

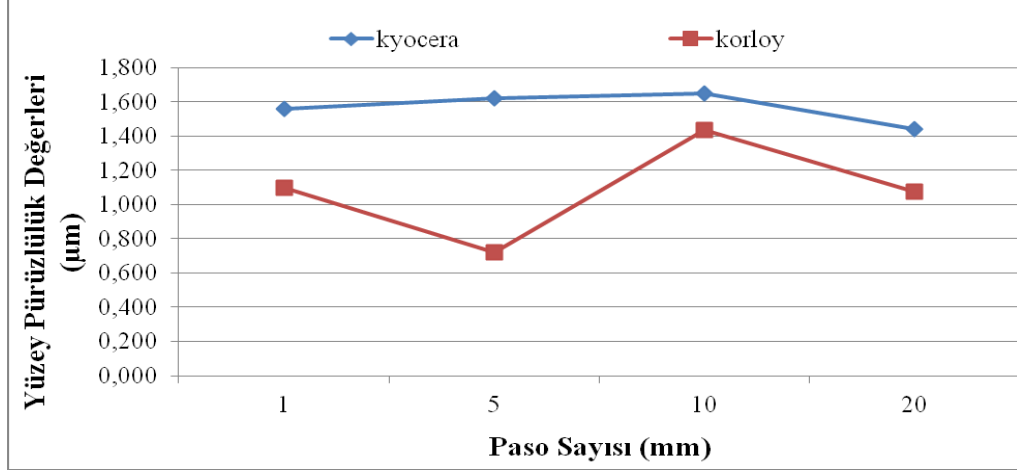
Şekil 5.13'deki grafikte en düşük yüzey pürüzlülük değeri 300 m/dk kesme hızında ölçülmüştür. En yüksek yüzey pürüzlülük değeri ise 200 m/dk kesme hızında görülmektedir. Paso sayısının artmasıyla 300 m/dk kesme hızında düzenli artış, 350 m/dk kesme hızında ise düzenli azalış görülmektedir. Diğer kesme hızları ise paso sayısının artmasıyla benzer eğilimler sergilemektedir. En düşük yüzey pürüzlülük değeri 1. pasoda  $Ra=0,588 \mu\text{m}$  ölçülürken, en yüksek yüzey pürüzlülük değeri ise 10. pasoda  $Ra=1,434 \mu\text{m}$  ölçülmüştür.



Şekil 5.13. Korloy firmasına ait sermet kesici takımın 4 farklı kesme hızında paso sayısına göre yüzey pürüzlülük değerleri.

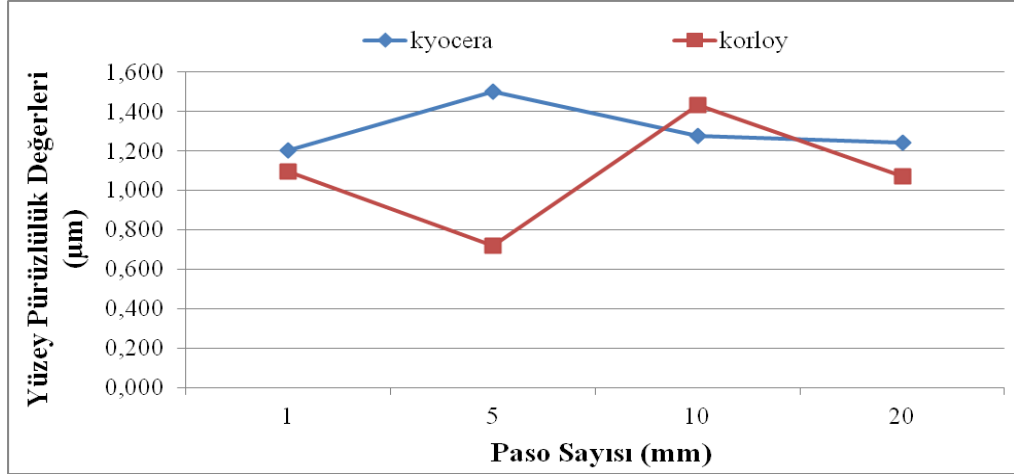
Şekil 5.14'deki grafikte Kyocera kesici takımının 20. pasoya kadar yüzey pürüzlülük değerinde çok değişme yaşanmazken, 20. pasodan sonra yüzey pürüzlülük değeri

azalmıştır. Korloy kesici takım ise paso sayısının artmasıyla düzensiz bir durum sergilemiştir. En düşük yüzey pürüzlülük değeri korloy sermet kesici takımda ölçülmüştür. 20. pasodan sonra Korloy ve Kyocera kesici takımları benzer eğilim sergilemişlerdir.



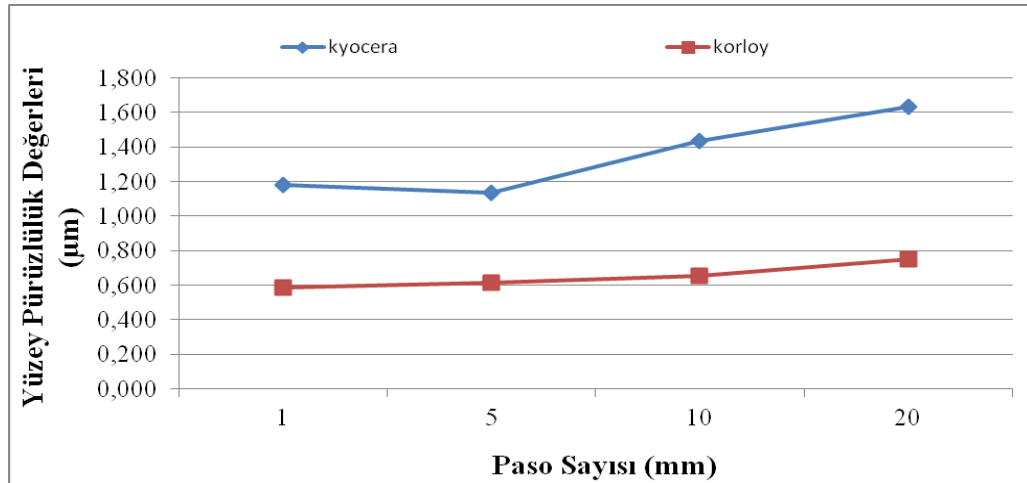
Şekil 5.14. V=200 m/dk kesme hızında Kyocera ve Korloy sermet kesici takımlarının 4 farklı kesme hızında yüzey pürüzlülük değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 5.15'deki grafikte 250 m/dk kesme hızlarında Kyocera ve Korloy kesici takımların yüzey pürüzlülük değerleri incelendiğinde düzensiz bir eğilim görülmektedir. Kyocera kesici takımda ise 5. pasodan sonra azalma görülmüştür, ilk paso ve son paso arasındaki yüzey pürüzlülük değeri yaklaşık aynı ölçülmüştür. İki kesici takımı kıyasladığımızda en düşük yüzey pürüzlülük değeri Korloy kesici takımda, en yüksek yüzey pürüzlülük değeri ise Kyocera kesici takımda ölçülmüştür.



Şekil 5.15. V=250 m/dk kesme hızında Kyocera ve Korloy sermet kesici takımlar için yüzey pürüzlülük değerleri.

Şekil 5.16'daki grafikte Kyocera kesici takım da 5. pasodan sonra azalma görülse de 10. pasondan sonra yüzey pürüzlülük değeri sürekli artmaya başlamıştır. Korloy kesici takımda paso sayısı arttıkça az bir artış görülmüştür. En düşük yüzey pürüzlülük değeri Korloy kesici takımda gerçekleşirken, en yüksek yüzey pürüzlülük değeri ise Kyocera kesici takımda görülmüştür.

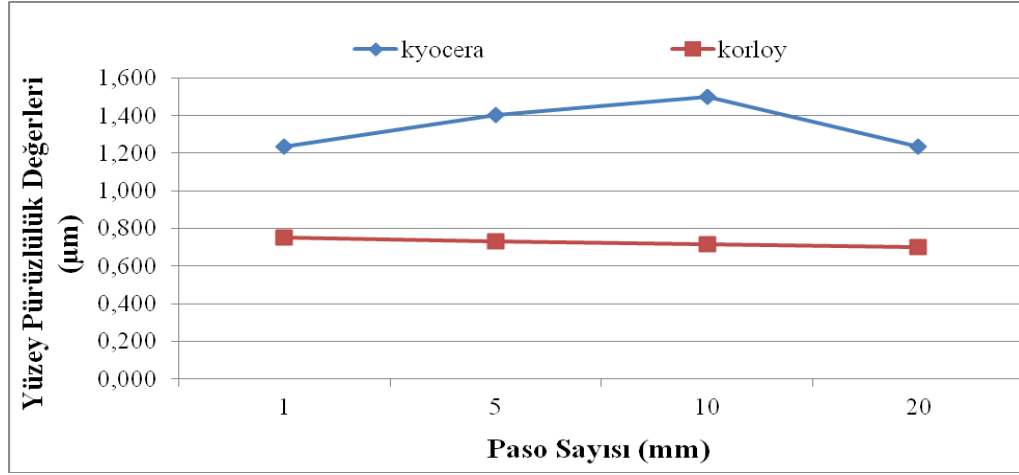


Şekil 5.16. V=300 m/dk kesme hızında Kyocera ve Korloy kesici takımlar için yüzey pürüzlülük değerleri.

Şekil 5.17'deki grafikte Korloy kesici takımda paso sayısı arttıkça yüzey pürüzlülük değerinde azalma görülmektedir. En düşük yüzey pürüzlülük değeri Korloy kesici takımda görülürken, en yüksek yüzey pürüzlülük değeri ise Kyocera kesici takımda



görülmektedir. Kyocera kesici takımında 20. pasodan sonra yüzey pürüzlülük değerinde düşüş görülmektedir. En düşük yüzey pürüzlülük değeri  $Ra=0,752 \mu\text{m}$ , en yüksek yüzey pürüzlülük değeri ise  $Ra=1,497 \mu\text{m}$  ölçülmüştür.

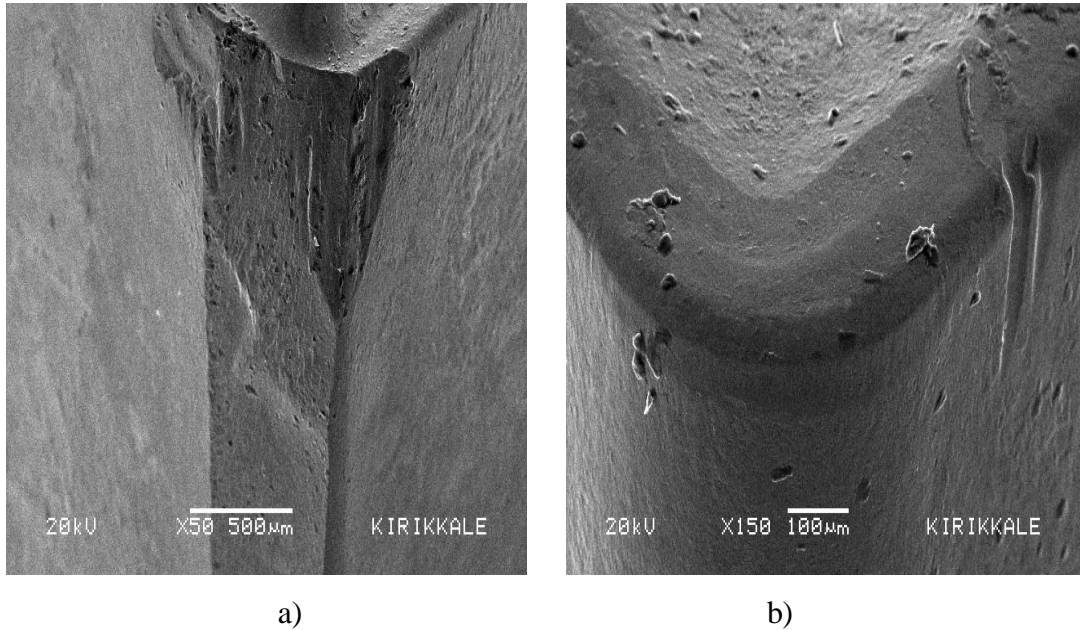


Şekil 5.17.  $V=350 \text{ m/dk}$  kesme hızında Kyocera ve Korloy sermet kesici takımlar için yüzey pürüzlülük değerleri.

### 5.3. KESİCİ TAKIM AŞINMASI

AISI 52100 rulman çeliğinin işlenmesi sonucu kesici takımlarda oluşan aşınmalar öncelikli olarak bir takım mikroskobu ile incelenmiştir. Takım aşınması için her iki kesici takım için de 4 farklı kesme hızında, 0,1 mm/dev ilerleme miktarında 0,5 kesme derinliğinde 24 deney gerçekleştirilmiştir. Yapılan tornalama işlemi sonucu Korloy firmasına ait karbür kesici takım haricindeki kesici takımlarda düzenli yan yüzey aşınması görülmüştür.

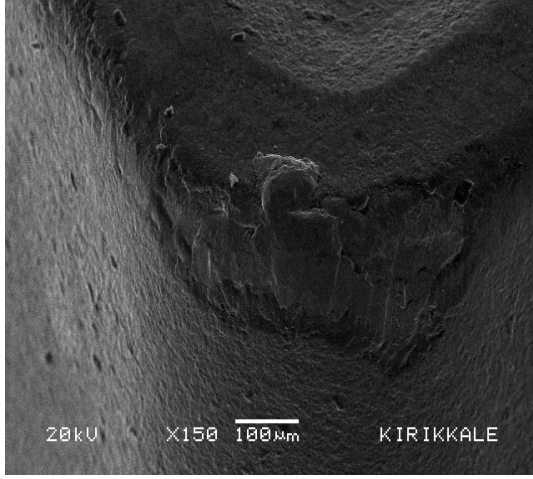
Deneysel çalışmada ayrıca Korloy ve Kyocera firmalarına ait sermet kesici takımlar kullanılmıştır. Korloy firmasından temin edilen kesici takımda çok yüksek miktarda çentik aşınması gözlemlenirken, Kyocera firmasından temin edilen sermet kesici takımda ciddi kırılmalar meydana gelmiştir. Şekil 5.18'de Kyocera ve Korloy sermet kesici takımlarda oluşan kırılma ve çentik aşınması görülmektedir. Bu kırılmalar ve yüksek miktarda çentik aşınması nedeniyle sermet kesici takımlarla deneyler daha fazla devam ettirilmemiştir.



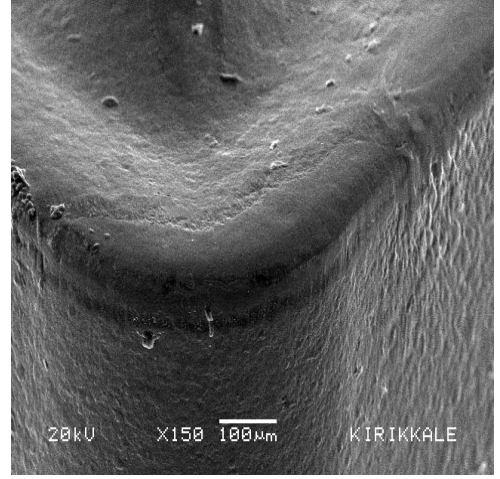
Şekil 5.18. Sermet kesici takımdaki kırılmalar a) Kyocera 300 m/dk ve b) Korloy 300 m/dk.

Şekil 5.19’da dört farklı üreticiden temin edilen karbür kesici takımlardaki aşınmaların SEM görüntüleri verilmektedir. Şekil 5.19’dan Korloy haricindeki kesici takımlarda düzenli yan yüzey aşınması görülmektedir. Kesici takımlarda aşınma istenmeyen bir durum olmakla birlikte kaçınılmazdır. Kesici takımda aşınmanın düzenli bir biçimde olması istenen bir durumdur. Düzenli aşınma ile işlem kontrol altında tutulabilir ve hatta aşınma çok yüksek miktarlarda olmaması durumunda aşınmadan kaynaklanan boyutsal değişimler günümüzde yaygın olarak kullanılan CNC tezgahlar sayesinde rahatlıkla telafi edilebilir. Kesme kuvvetlerinde ani yükselmelerden ve işlenen parça boyutlarında öngörülme­yen değişimlerden kaçınılması düzenli aşınma ile mümkündür.

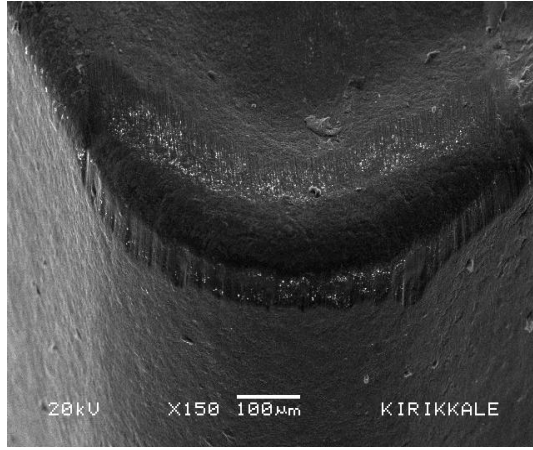
Aşınmalarda etkin olan mekanizmalar ise Korloy kesici takım için adhesif ve diğerleri için de abrasif olarak görülmektedir. Korloy kesici takımda aşınmış bölgeye yapışan iş parçası malzemesi de Şekil 5.19a’da görülmektedir. İş parçası içerisindeki sert karbürlerin abrasif aşınmaya neden olduğu düşünülmektedir. Korloy kesici takımın birleştirici ve sert karbürlerini bir arada tutan adhezyon kuvvetinin diğerlerine göre düşük olması bu takımda gerçekleşen adhesif aşınmanın nedeni olabilir.



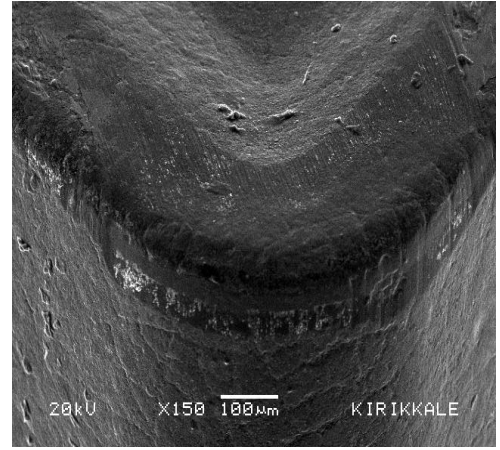
a)



b)



c)



d)

Şekil 5.19. Karbür kesici takımların SEM görüntüleri a) Korloy, b) Kyocera, c) Sandvik ve d) Kennametal

Kesici takımların performanslarını karşılaştırmak amacıyla aşınma değerleri stereo mikroskopta aşınmalar rahatlıkla ölçülebilecek hale gelinceye kadar deneyler yapılmıştır. Bilinmelidir ki bu çalışmada verilen yan yüzey aşınması/kesme hızı eğrileri her bir kesici takım için belirtilen koşullarda sabit miktarda talaş kaldırma işleminden sonra elde edilen değerlerdir.

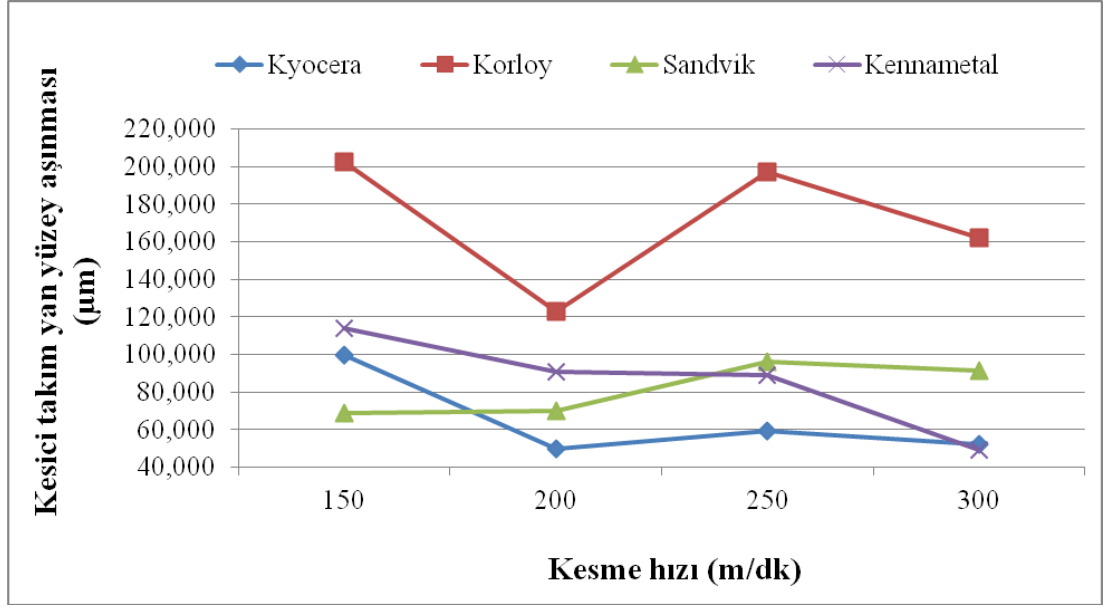
Çizelge 5.3'de deneylerde kullanılan karbür kesici takımlar yan kenar aşınması bakımından karşılaştırıldığında en düşük aşınmanın 300 m/dk kesme hızında 49,297 µm yan kenar aşınma miktarı ile Kyocera takıma ait olduğu görülür. Kennametal karbür takım 200 m/dk kesme hızında Kyocera takımla elde edilen değerlere,

paralele yakın bir performans sergilemiştir. En fazla yan kenar aşınması 202,199  $\mu\text{m}$  ile 150 m/dk kesme hızında Korloy takım ile yapılan deneyde ölçülmüştür.

Çizelge 5.3. Karbür kesici takımların kesme hızına göre yan kenar aşınma miktarları.

D. No	Kesici takım	Kesme Derinliği (mm)	İlerleme Miktarı (mm/dev)	Kesme Hızı (m/dak)	Yan yüzey aşınması ( $\mu\text{m}$ )			
					1. ölçüm	2. ölçüm	3. ölçüm	Ort. yan yüzey aşınma değeri ( $\mu\text{m}$ )
1	Kyocera	0,5	0,1	150	95,898	99,364	103,408	99,557
2				200	46,793	49,682	52,583	49,686
3				250	57,192	62,969	58,347	59,503
4				300	56,036	49,682	50,259	51,993
5	Korloy			150	225,892	189,485	191,218	202,199
6				200	125,361	123,628	120,161	123,050
7				250	161,756	212,016	217,215	196,996
8				300	163,489	156,556	166,955	162,333
9	Sandvik			150	68,168	67,590	69,901	68,553
10				200	68,746	71,634	70,479	70,286
11				250	98,786	93,009	95,898	95,898
12				300	90,699	92,432	91,854	91,661
13	Kennametal			150	119,584	109,763	112,657	114,001
14				200	90,121	83,766	98,786	90,891
15				250	94,165	91,276	82,033	89,158
16				300	47,949	47,949	51,993	49,297

Şekil 5.20'deki grafikten en yüksek aşınma değerlerinin bütün kesme hızları için Korloy kesici takımda olduğu görülmektedir. Daha önce de belirtildiği gibi bu kesici takımda düzenli bir aşınma bandı görülmemiş ve Şekil 5.19'daki SEM fotoğraflarından Korloy kesici takımda aşınmanın diğer firmalardan temin edilen kesici takımlardakine göre yüksek oluşu açık bir şekilde görülmektedir. Kesme hızının artmasıyla Sandvik kesici takımında takım aşınması artmakta, Kennametal kesici takımında ise takım aşınması sürekli azalmaktadır.



Şekil 5.20. Karbür kesici takımların yan yüzey aşınması

Kyocera ve Kennametal kesici takımlarda en yüksek aşınma değerleri en düşük kesme hızı 150 m/dk'da gerçekleşmiştir. Kesme hızının artması ile aşınma değerleri düşmüştür. Sandvik kesici takımında ise en düşük aşınma en düşük kesme hızında gerçekleşmiş ve kesme hızının artması ile aşınma miktarı artmıştır.

## BÖLÜM 6

### 6.1. SONUÇLAR

Sertleştirilmemiş AISI 52100 rulman çeliğinin sementit karbür ve sermet kesici takımlarla işlenmesinde yüzey pürüzlülüğü ve kesici takım aşınmasının incelendiği bu çalışmada;

1. Farklı üreticilerden temin edilen sementit karbür kesici takımlar, AISI 52100 rulman çeliğinin işlenmesinde takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü bakımından farklı performans sergilemişlerdir.
2. Sementit karbür kesici takımlarda oluşan aşınmalar genellikle düzenli yan yüzey aşınması biçiminde gerçekleşmiştir.
3. Sermet kesici takımlar kesici uç kırılmalarına ve yüksek miktarda çentik aşınmasına maruz kalmışlardır.
4. Deneylerde karbür kesici takımlarda en düşük ortalama yüzey pürüzlülük değeri; Sandvik firmasına ait kesici takımlarda 0,726  $\mu\text{m}$  ölçülürken, en yüksek yüzey pürüzlülük değeri; Kyocera firmasına ait kesici takımında 1,362  $\mu\text{m}$  olarak ölçülmüştür.
5. Kesme hızının 150 m/dk'dan, 300 m/dk'ya çıkmasıyla yüzey pürüzlülük değeri Korloy ve Kyocera karbür kesici takımlarda sürekli azalmış, Sandvik ve Kennametal karbür kesici takımlarda ise ciddi değişimler görülmüştür.
6. Karbür kesici takımlar sermet kesici takımlara göre daha iyi performans göstermiştir.

## KAYNAKLAR

1. Çiftçi, İ., “Takım tasarımı”, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Lisansüstü ders notları, Karabük, 1-33 (2011).
2. Günay, M., “Talaş kaldırma işlemlerinde kesici takım talaş açısının kesme kuvvetlerine etkisinin deneysel olarak incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-4 (2003).
3. Ünal, T., Akoral, E., “Sertleştirilmiş alaşımlı makine çeliğinin seramik kesici takımlarla işlenebilirliği ve takım ömrü denklemi modelinin oluşturulması” *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 16(3): 514-515 (2003).
4. Demir, H., “Düzlem taşlamada taşlama parametrelerinin taşlama kuvvetlerine ve yüzey kalitesine etkilerinin incelenmesi”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-3 (2003).
5. Ballıkaya, H., “100Cr6 Çeliğinin teğetsel tornalama-ferezeleme yöntemi ile işlenmesinde kesme parametrelerinin deneysel araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 1-9 (2011).
6. Motorcu, A. R., “Ç1050, Ç4140 ve Ç52100 çeliklerinin işlenebilirliği ve modeller geliştirilmesi” Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 11-14 (2006).
7. Motorcu, A. R., “Isıl işlemsiz ve Küreselleştirilmiş Ç52100 rulman çeliğinin farklı takımlarla işlenmesinde takım ömrü ve aşınmasının incelenmesi”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 25(1): 64-66 (2010).
8. 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, 1-11(2011).
9. Can, A., “AISI 5140 çeliğinin sermet, PVD ile TiAlN-CVD ile TiN kaplanmış kesici uçlarla tornalanmasında kesme değişkenleri, kaplama cinsi ve takım aşınmasının yüzey pürüzlülüğüne etkisinin deneysel incelenmesi” Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 12-13 (2003).
10. Ulusoy, A., “Orta karbonlu ve otomat çeliklerinde kesme hızının işlenebilirlik üzerine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kütahya, 19-20 (2008).



11. Çevik, E., “Tornalama işleminde kesici takım ömrünün iyileştirilmesine yönelik alternatif bir yaklaşım” Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 4-9 (2006).
12. Altınkaya, E., “AISI 316 Östenitik çeliğin işlenmesinde kesme değerlerinin ve takım kaplamasının yüzey pürüzlülüğüne ve takım aşınmasına etkilerinin incelenmesi” Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 30-40 (2006).
13. İşbilir, Ö., “Talaş kaldırmada değişken yüklemenin takım ömrüne etkisinin belirlenmesi” Yüksek Lisans Tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 32-37 (2008).
14. Çiftçi, İ., “Alüminyum esaslı kompozitlerde takviye oranı ve boyutunun mekanik özellikler ve işlenebilirlik üzerine etkisinin araştırılması”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 32-42 (2003).
15. Taylan, M., “Sertleştirilmiş takım çeliklerinin delinmesinde kesme parametrelerinin takım aşınması ve talaş oluşumuna etkisinin deneysel olarak incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, 7-8 (2011).
16. Demirayak, İ., “Kesme parametreleri ve kaplama tabakasının talaş kaldırma işlemine etkileri” Yüksek Lisans Tezi, *Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa, 43-44 (2006).
17. Gürbüz, H., Kafkas, F., Şeker, U., “AISI 316L çeliğinin işlenmesinde kesici takım kesici takım formu ve talaş kırıcı formlarının kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisi”, *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, 1(2): 173-174 (2012).
18. Yazman, Ş., “Östemperlenmiş ferritik küresel grafitli dökme demirlerde kesme parametrelerinin işlemeye etkilerinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 24-34 (2006).
19. Özdemir, U., Erten, M., “Talaşlı imalat sırasında kesici takımda meydana gelen hasar mekanizmaları ve takım hasarını azaltma yöntemleri”, *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, 1(1): 37-38 (2003).
20. Özçatalbaş Y., “1050, 4140, 8620 Çeliklerinin ısıl işlemle değişen mikro yapı ve mekanik özelliklerine bağlı işlenebilirlikleri”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-18 (1996).
21. Çiftçi, İ., “İmalat yöntemleri”, *Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi*, Lisansüstü Ders Notları, Karabük, 1-47 (2011).

22. Özay, Ç., “Teğetsel tornalama-frezeleme yönteminde işleme parametrelerinin teorik ve deneysel olarak araştırılması” Doktora Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 8-27 (2009)
23. İnternet: İnönü Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü “Üretim yöntemleri” <http://iys.inonu.edu.tr/webpanel/dosyalar/170/file/torna.pdf> (2013).
24. Özçatalbaş, Y., “Mühendislik malzemelerini işlenebilirliği ders notları”, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 19-21 (2008).
25. Topçu, O., “Çift fazlı bir çeliğin işlenebilirliğinin araştırılması ve yapay sinir ağları ile kestirimi”, Yüksek Lisans Tezi, *TOBB Ekonomi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 32-33 (2009).
26. Çiftçi, İ., “Kesici takımlar ve kesme teorisi”, *Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi*, Lisansüstü Ders Notları, Karabük, 22-34(2011).
27. Sur, G., “Karma takviyeli alüminyum matriskli kompozitlerin üretimi, mekanik özellikler ve işlenebilirliklerin incelenmesi”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 106-108 (2008)
28. Sürücüler, S., “Tornalamada kesme parametrelerindeki değişime göre kesme kuvvetlerinin tahmini için matematiksel bir model geliştirme”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 17-19 (2010).
29. Arda, E., “Kesici takımlarda dahili soğutma yönteminin geliştirilmesi ve kesme işlemine etkisinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 7-9 (2012).
30. Şirin, Ş., “Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Seramik malzemenin talaşlı imalat yöntemleriyle şekillendirilmesinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 21-30 (2012).
31. Özdemir, Ö., İpek, M., Zeytin S., “Kesici takım malzemeleri” *MMO Mühendis ve Makine*, 41(487): 2-9 (2000).
32. Pul, M., “Al matrisli MgO takviyeli kompozitlerin infiltrasyon yöntemi ile üretilmesi ve işlenebilirliğinin değerlendirilmesi”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 90-95 (2010).
33. 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, 6-9 (2006).
34. Sandvik Coromant “Teknik kılavuz”, (2010).
35. 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, 27-30 (2012).

36. Taylan, F., “Sert malzemelerin frezelenmesinde takım aşınma davranışlarının belirlenmesi”, Doktora Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, 48-56 (2009).

## ÖZGEÇMİŞ

Ahmet KUŞ 1981 yılında Karabük'te doğdu; ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. Karabük Endüstri Meslek Lisesi Torna Tesviye Bölümü'nden mezun oldu. 2002 yılında Dumlupınar Üniversitesi Simav Teknik Eğitim Fakültesi Talaşlı Üretim Öğretmenliği Bölümü'nde öğrenime başlayıp 2006 yılında mezun oldu. 2008 yılında, kuruluşundan itibaren çok sayıdaki endüstriyel tesisin proje, imalat ve montajını gerçekleştiren, Türkiye'de "Fabrikalar Yapan Fabrika" olarak tanınan Kardemir'de göreve başladı. Halen Kardemir'de çalışmaktadır. Evli ve iki çocuk babasıdır.

### **ADRES BİLGİLERİ**

Adres : Öğlebeli Mah. Topçular Cad.  
Cihan Sok. No:14 / KARABÜK

Tel : (543) 264 3077

E-posta : [ahmetkuss@hotmail.com](mailto:ahmetkuss@hotmail.com)