

**SERTLEŞTİRİLMİŞ RULMAN BİLEZİKLERİNİN
SERAMİK VE CBN KESİCİ TAKIMLARLA
İŞLENMESİ**

**2015
DOKTORA TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ**

Mehmet BOY

**SERTLEŞTİRİLMİŞ RULMAN BİLEZİKLERİNİN SERAMİK VE CBN
KESİCİ TAKIMLARLA İŞLENMESİ**

Mehmet BOY

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Eğitimi Anabilim Dalında
Doktora Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Ocak 2015**

Mehmet BOY tarafından hazırlanan “SERTLEŞTİRİLMİŞ RULMAN BİLEZİKLERİNİN SERAMİK VE CBN KESİCİ TAKIMLARLA İŞLENMESİ” başlıklı bu tezin Doktora Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ
Tez Danışmanı, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Eğitimi Anabilim Dalında Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir. 16/01/2015

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

Başkan : Prof. Dr. Ulvi ŞEKER (GÜ)

Üye : Prof. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Halil DEMİR (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Mustafa GÜNAY (KBÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Ahmet CAN (NEÜ)

İmzası



...../...../ 2015

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Doktora 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.”

Mehmet BOY

ÖZET

Doktora Tezi

SERTLEŞTİRİLMİŞ RULMAN BİLEZİKLERİNİN SERAMİK VE CBN KESİCİ TAKIMLARLA İŞLENMESİ

Mehmet BOY

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Eğitimi Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ

Ocak 2015, 144 sayfa

Bu çalışmada, sertleştirilmiş AISI 52100 çeliğinden üretilen i ve dış rulman bileziklerinin seramik ve kübik bor nitrür (CBN) kesici takımlarla işlenmesinde kesme parametrelerinin kesme kuvveti, takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü, kalıntı gerilme, mikroyapı, boyut ve geometrik toleranslar üzerindeki etkileri ve sert tornalama ile üretilmiş rulmanların yorulma ömürleri araştırılmıŐtır. İ ve dış rulman bileziklerinin işlenmesinde oluşan kesme kuvvetleri piezoelektrik esaslı bir dinamometre kullanılarak ölçölmüŐtür. Ayrıca, aşınmış kesici takımlar tarama elektron mikroskobu (SEM) ile incelenerek aşınma tipleri belirlenmiştir. XRD yöntemi ile i ve dış bileziklerde oluşan kalıntı gerilmeler ölçölmüŐtür.

İç bilezik delik çapının CBN ve seramik kesici takımla işlenmesinde radyal kuvvet bileşenlerinin diğer kuvvet bileşenlerinden daha yüksek olduğu, i ve dış bilezik yuvarlanma yolunun işlenmesinde de kuvvet bileşenlerinin farklı bir davranıŐ

sergilediği görülmüştür. İç bilezik delik çapının işlenmesinde kesici takım da genellikle yan yüzey ve krater aşınmaları, yuvarlanma yollarının işlenmesinde de yan yüzey aşınması ve takım talaş yüzeyinde yapışmaların olduğu görülmüştür.

Rulman bileziklerinin iç çap tornalanmasında oluşan yüzey pürüzlülüklerinin yuvarlanma yollarında oluşan yüzey pürüzlülüklerinden daha düşük olduğu görülmüştür. İç ve dış rulman bileziklerinde yüksek miktarda basma tipinde kalıntı gerilme oluşmuştur. Basma tipindeki kalıntı gerilmenin rulman ömrünü arttırdığı görülmüştür. Yorulma ömür testleri sonucundan sert tornalama ile üretilen rulman bileziklerinden üretilen rulmanların yorulma ömürlerinin geleneksel taşlama işlemi ile üretilenlerden yaklaşık olarak yüzde elli daha fazla olduğu görülmüştür.

Anahtar Sözcükler : Sert tornalama, kesme kuvveti, kalıntı gerilme, takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü

Bilim Kodu : 708.3.028

ABSTRACT

Ph. D. Thesis

MACHINING OF HARDENED BEARING RINGS WITH CERAMIC AND CBN CUTTING TOOLS

Mehmet BOY

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Education

Thesis Advisor:

Prof. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ

January 2015, 144 pages

In this study, hardened AISI 52100 steel inner and outer bearing rings were hard turned using ceramic and cubic boron nitride (CBN) cutting tools. The influences of cutting parameters on cutting forces, tool wear, surface roughness, residual stresses and tolerances were investigated. Fatigue life of the bearings was also investigated. The cutting forces developed when hard turning the bearing rings were measured using a piezoelectric cutting force measurement unit. In addition, the worn cutting tools were examined through scanning electron microscopy (SEM) to reveal the wear modes. The residual stresses on the hard turned surfaces were determined through XRD method.

Radial cutting force components were found to be the highest one in hard turning of inner ring bore using CBN and ceramic cutting tools. On the other hand, a different cutting force pattern was observed when hard turning the raceways. Generally flank

wear and crater wear were seen on the cutting tools in hard turning of inner ring bore. However, only flank wear and some adhering workpiece material on the rake face were observed in hard turning of raceways.

Lower surface roughness values were obtained for the inner ring bore than those for the raceways. High compressive residual stresses were measured for the inner and outer bearing rings. The compressive residual stresses led to increase in fatigue life of the bearings. The result of fatigue life tests showed that hard turned bearing rings are almost 50 % higher than those of traditionally ground bearings.

Key Words : Hard turning, cutting force, residual stress, , tool wear, surface roughness.

Science Code : 708.3.028

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ilgi ve desteğini esirgemeyen, çok kıymetli bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendirendeğerli Doktora tezdanişmanım Prof. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ'ye sonsuz teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Tezimin her aşamasında yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen ve akademik vizyon kazanmamda engin bilgilerini ve deneyimlerini paylaşan Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Öğretim Üyesi, değerli hocam Sayın Prof. Dr. Ulvi ŞEKER'e ve Karabük Üniversitesi Öğretim Üyeleri, Hocalarım Sayın Doç. Dr. Halil DEMİR, Doç. Dr. Mustafa GÜNAY'a ve tüm mesai arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bu tez 00980-STZ.2011-2 numaralı SAN-TEZ kapsamında Bilim, Teknoloji ve Sanayi Bakanlığı Sanayi Araştırma ve Geliştirme Genel Müdürlüğü ve Ortadoğu Rulman Sanayi Ticaret A.Ş tarafından desteklenmiştir, bu vesileyle bu kurumlara teşekkür ederim. Projenin oluşumundan sonuçlanana kadar geçen sürede ve deneysel çalışmalarda emeği geçen Ortadoğu Rulman Sanayi Ticaret A.Ş'den Dr. Feridun ÖZHAN, Turhan SAVAŞ, Hamdullah MERDANE, Sezgin ŞİMŞEK, Osman Murat BİRCAN, Nazmi SAYDEMİR, Ozan MÜŞTAK, Tuğrul ONAT ve ORS çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Bu günlere gelmemde büyük pay sahibi olan sevgili anneme ve babama, en zor anlarımda yanımda olan eşime ve kızlarıma tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xviii
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	5
TEMEL KAVRAMLAR VE LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	5
2.1. RULMANLI YATAKLAR	5
2.1.1. Rulman Çelikleri	7
2.1.2. Rulman Bileziklerinin Üretimi	8
2.2. SERT TORNALAMA	12
2.2.1. Sert Tornalamada Kullanılan Kesici Takım Malzemeleri Ve Takım Geometrisi	15
2.2.2. Sert Tornalamada Takım Aşınması Ve Takım Ömrü	17
2.2.3. Sert Tornalamada Yüzey Bütünlüğü	18
2.2.4. Takım Tezgahı, Takım Tutucu Ve Bağlama Sistemi	19
2.3. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ	20
2.3.1. Yüzey Pürüzlülüğünün Oluşumu	21
2.3.2. Yüzey Pürüzlülüğünü Etkileyen Faktörler	22
2.3.3. Yüzey Yapısı	23
2.3.4. Yüzey Pürüzlülük Parametreleri	24

	<u>Sayfa</u>
2.3.4.1. Ortalama Yüzey Pürüzlüğü (Ra)	25
2.3.4.2. Profilin Karelerinin Ortalamasının Karekökü (Rq)	26
2.3.4.3. On Nokta Yüksekliği (Rz)	27
2.4. TAKIM AŞINMASI.....	28
2.4.1. Aşınma Mekanizmaları.....	30
2.4.1.1. Abrasyon Aşınma	31
2.4.1.2. Difüzyon Aşınma (Atomik Yer Değiştirme)	32
2.4.1.3. Oksidasyon Aşınma	32
2.4.1.4. Yorulma İle Aşınma	33
2.4.1.5. Adhezyon (Yapışma) Aşınma.....	33
2.4.2. Takım Aşınma Tipleri.....	34
2.4.2.1. Yan Yüzey (Yanak) Aşınması	34
2.4.2.2. Krater Aşınması	35
2.4.2.3. Plastik Deformasyon.....	36
2.4.2.3. Çentik Aşınması.....	36
2.4.2.4. Termal (Isıl) Çatlaklar	37
2.4.2.5. Mekanik Yorulma Çatlakları	38
2.4.2.6. Çıtlama (Çentiklenme).....	38
2.3.2.7. Kırılma.....	39
2.3.2.8. Kesici Kenarda Yığılma (BUE).....	39
2.5. KALINTI GERİLMELER	40
2.5.1. Kalıntı Gerilme Ölçme Metotları.....	43
2.5.1.1. Mekanik Metotlar	44
2.5.1.2. X-Ray ve Nötron Işını Metotları.....	47
2.5.1.3. Dalga Metotları	48
2.6. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	49
2.6.1. Literatür Araştırmasına Giriş.....	49
2.6.2. Deneysel Çalışmalar	50
2.6.3. Teorik Çalışmalar	61
2.6.4. Literatür Araştırmasının Değerlendirilmesi.....	64

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 3	66
MATERYAL VE METOD	66
3.1. DENEY NUMUNELERİ	66
3.2. KESİCİ TAKIM VE TAKIM TUTUCU	67
3.3. CNC TAKIM TEZGAHI	71
3.4. KESME KUVVETLERİNİN ÖLÇÜLMESİ	72
3.5. TAKIM AŞINMASININ ÖLÇÜMÜ	74
3.6. SEM İNCELEMESİ	76
3.7. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ, BOYUT VE KONUM TOLERANSLARININ ÖLÇÜLMESİ	77
3.8. KALINTI GERİLME ÖLÇÜMÜ	77
3.9. MİKRO SERTLİK ÖLÇÜMLERİ	78
3.10. KESME PARAMETRELERİNİN SEÇİMİ	79
3.11. İŞ PARÇASI BAĞLAMA APARATI	79
3.12. DENEY SETİNİN OLUŞTURULMASI	80
 BÖLÜM 4	 83
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA	83
4.1. KESME KUVVETLERİ	83
4.1.1. İç Rulman Bileziğinin İşlenmesinde Oluşan Kesme Kuvvetleri	83
4.1.2. Dış Rulman Bileziğinin İşlenmesinde Oluşan Kesme Kuvvetleri	94
4.2. KESİCİ TAKIM AŞINMALARI	99
4.2.1. İç Rulman Bileziğinin CBN İle İşlenmesinde Oluşan Aşınmalar	99
4.2.2. İç Rulman Bileziğinin Seramik İle İşlenmesinde Oluşan Aşınmalar ...	102
4.3. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ	110
4.3.1. İç Bileziğin İşlenmesinde Elde Edilen Yüzey Pürüzlülükleri	111
4.3.2. Dış Bilezik Yuvarlanma Yolunun İşlenmesinde Elde Edilen Yüzey Pürüzlülükleri	116
4.4. KALINTI GERİLMELER	117
4.5. MİKROYAPI VE MİKRO SERTLİK	124
4.6. İÇ ÇAP VE DAİRESELLİK HATASI	127

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 5	130
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	130
5.1. SONUÇLAR	130
5.2. ÖNERİLER	132
KAYNAKLAR	133
ÖZGEÇMİŞ	144

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Standart rulman elemanları.....	5
Şekil 2.2. Rulman yataklarında kullanılan yuvarlanma elemanları.....	6
Şekil 2.3. Borudan üretilen rulman bileziğinin üretim aşamaları.....	10
Şekil 2.4. Çubuktan üretilen rulman bileziğinin üretim aşamaları.....	11
Şekil 2.5. Sıcak dövme ile üretilen rulman bileziğinin üretim aşamaları.....	12
Şekil 2.6. Taşlama ve sert tornalama maliyetlerinin karşılaştırılması.....	14
Şekil 2.7. Tipik kesici kenar durumları.....	16
Şekil 2.8. İlerleme ve uç yarıçapının yüzey pürüzlülüğüne etkisi.....	22
Şekil 2.9. Yüzey geometrisi ve yapısı.....	23
Şekil 2.10. Örnekleme uzunluğu ve sayısı ile ölçüm uzunluğu.....	25
Şekil 2.11. Ortalama yüzey pürüzlülüğünün grafiksel ifadesi.....	26
Şekil 2.12. On nokta yüksekliği parametresinin grafiksel ifadesi.....	27
Şekil 2.13. R_v , R_p , R_t yüzey pürüzlülük parametrelerinin grafiksel ifadesi.....	28
Şekil 2.14. Tipik aşınma bölgeleri.....	29
Şekil 2.15. Metallerin işlenmesinde temel aşınma mekanizmaları.....	31
Şekil 2.16. Kesici takımında oluşan yan yüzey (yanak) aşınması.....	35
Şekil 2.17. Kesici takımında oluşan krater aşınması.....	35
Şekil 2.18. Kesici takımında oluşan plastik deformasyon.....	36
Şekil 2.19. Kesici takımında oluşan çentik aşınması.....	37
Şekil 2.20. Kesici takımında oluşan termal çatlaklar.....	37
Şekil 2.21. Kesici takımında oluşan mekanik yorulma çatlakları.....	38
Şekil 2.22. Kesici takımında gerçekleşen çıtılma.....	39
Şekil 2.23. Kesici takımında oluşan kırılma.....	39
Şekil 2.24. Kesici kenarda oluşan BUE.....	40
Şekil 2.25. Yüzeyde oluşan kalıntı gerilme bileşenleri ve yönleri.....	42
Şekil 2.26. İşlenmiş yüzeyin altındaki derinlik.....	43
Şekil 2.27. Katman kaldırma teorisi.....	44
Şekil 2.28. Rozet gerinim ölçerlerin yerleştirilmesi.....	45
Şekil 2.29. Halka yöntemi uygulanmış numunenin SEM görüntüsü.....	46

Şekil 2.30. Kesici kenar durumunun takım ömrüne etkisi	51
Şekil 3.1. Deney numuneleri.....	66
Şekil 3.2. CBN kesici takıma ait özellikler.....	68
Şekil 3.3. CBN kesici uç bağlamada kullanılan katerler	69
Şekil 3.4. Seramik kesici takıma ait özellikler	70
Şekil 3.5. Seramik kesici uç bağlamada kullanılan katerler	71
Şekil 3.6. Muratec MW120 CNC torna tezgahı.....	72
Şekil 3.7. Kesme kuvveti ölçüm ekipmanları	73
Şekil 3.8. Dinamometre bağlama aparatı.....	73
Şekil 3.9. Takım mikroskobu.	74
Şekil 3.10. Kesici takım yan kenar aşınma bandı ölçümü.....	75
Şekil 3.11. SEM cihazı.	76
Şekil 3.12. XRD cihazı.	78
Şekil 3.13. Mikrosertlik ölçüm cihazı görüntüsü.	78
Şekil 3.14. Bağlama sistem bileşenleri.....	80
Şekil 3.15. Sert tornalama ve kuvvet ölçümü için oluşturulan deney düzeneği.....	82
Şekil 4.1. İç bilezik delik çapının CBN ile işlenmesinde oluşan kuvvetlerin zamana göre değişimi.	84
Şekil 4.2. İç bilezik delik çapının işlenmesinde oluşan radyal kuvvetlerin kesme hızına göre değişimi	85
Şekil 4.3. İç bilezik delik çapının işlenmesinde oluşan radyal kuvvetlerin ilerleme miktarına göre değişimi.....	86
Şekil 4.4. İç bilezik delik çapının işlenmesinde oluşan esas kesme kuvvetinin kesme hızına göre değişimi	87
Şekil 4.5. İç bilezik yuvarlanma yolunun işlenmesinde oluşan kuvvetlerin zamana göre değişimi.	88
Şekil 4.6. İç bilezik yuvarlanma yolunun işlenmesinde oluşan radyal kuvvetlerin ilerleme miktarına göre değişimi.....	90
Şekil 4.7. İç bilezik yuvarlama yolunda talaş kesit değişimleri ve kuvvetler.....	91
Şekil 4.8. İç bilezik yuvarlanma yolunun işlenmesinde oluşan ilerleme kuvvetlerinin kesme hızına göre değişimi.	92
Şekil 4.9. İç bilezik yuvarlanma yolunun işlenmesinde oluşan kuvvetlerin kesme hızına göre değişimleri.	93
Şekil 4.10. Dış bilezik yuvarlanma yolunun CBN kesici ile işlenmesinde oluşan kuvvetlerin zamana göre değişimi.	95

Şekil 4.11. Dış bilezik yuvarlanma yolunun CBN ile işlenmesinde oluşan ilerleme kuvvetinin ilerleme miktarına göre değişimi	96
Şekil 4.12. Dış bilezik yuvarlanma yolunda talaş kesiti değişimleri ve kuvvetler. ...	97
Şekil 4.13. Dış bilezik yuvarlanma yolunun CBN ile işlenmesinde oluşan radyal kuvvetin kesme hızına göre değişimi	98
Şekil 4.14. Dış bilezik yuvarlanma yolunun CBN ile işlenmesinde oluşan kuvvetlerin kesme hızına göre değişimi	99
Şekil 4.15. İç bileziğin 120 m/dk ve 0,04 mm/dev’de CBN ile işlenmesinde kesici takımında oluşan aşınmalar (100X)	100
Şekil 4.16. İç bileziğin CBN ile işlenmesinde oluşan aşınma miktarları	101
Şekil 4.17. İç bileziğin seramik ile işlenmesinde oluşan aşınma miktarları	103
Şekil 4.18. İç bilezik delik çapının 120 m/dk ve 0,04 mm/dev’de CBN ile işlenmesinde oluşan aşınmaların SEM görüntüsü (1000X)	104
Şekil 4.19. İç bilezik delik çapının işlenmesinde işlenen parça sayısına göre oluşan aşınma miktarları	105
Şekil 4.20. İç bilezik delik çapının 120 m/dk ve 0,04 mm/dev’de CBN ile işlenmesinde oluşan aşınmanın SEM görüntüsü (500X)	105
Şekil 4.21. İç bilezik yuvarlanma yolunun 120 m/dk ve 0,04 mm/dev’de CBN ile işlenmesinde oluşan aşınmanın SEM görüntüsü (1000X)	106
Şekil 4.22. İç bilezik yuvarlanma yolunun işlenmesinde işlenen parça sayısına göre oluşan aşınma miktarları	107
Şekil 4.23. İç bilezik yuvarlanma yolunun 120 m/dk ve 0,04 mm/dev’de CBN ile işlenmesinde oluşan aşınmanın SEM görüntüsü (500X)	107
Şekil 4.24. İç bilezik delik çapının işlenmesinde kullanılan seramik kesici takımın SEM görüntüsü (500X)	108
Şekil 4.25. İç bilezik yuvarlanma yolunun işlenmesinde kullanılan seramik kesici takımın SEM görüntüsü (500X)	109
Şekil 4.26. İç bileziğin CBN ile işlenmesinde kesici takımında oluşan aşınmaların SEM görüntüsü	110
Şekil 4.27. İç bileziğin CBN ile işlenmesinde oluşan yüzey pürüzlülükleri	112
Şekil 4.28. İç bileziğin 0,04 mm/dev ilerleme miktarında CBN ile işlenmesinde oluşan aşınmaların SEM görüntüsü	114
Şekil 4.29. İç bileziğin seramik ile işlenmesinde oluşan yüzey pürüzlülükleri	115
Şekil 4.30. Dış bilezik yuvarlanma yolunun CBN ile işlenmesinde oluşan yüzey pürüzlülüğünün kesme hızına göre değişimi	116
Şekil 4.31. Dış bilezik yuvarlanma yolunun CBN ile işlenmesinde oluşan yüzey pürüzlülüğünün ilerleme miktarına göre değişimi	117
Şekil 4.32. Kalıntı gerilme ölçüm yönleri	118

Şekil 4.33. İç bilezik yuvarlanma yolunun CBN ile işlenmesinde oluşan çevresel kalıntı gerilme.	118
Şekil 4.34. İç bilezik yuvarlanma yolunun CBN ile işlenmesinde oluşan eksenel kalıntı gerilme.	119
Şekil 4.35. İç bilezik yuvarlanma yolunun yüzeyinde oluşan çevresel kalıntı gerilmenin kesme parametrelerine göre değişimi.	120
Şekil 4.36. İç bilezik yuvarlanma yolunun yüzeyinde oluşan eksenel kalıntı gerilmenin kesme parametrelerine göre değişimi	120
Şekil 4.37. Dış bilezik yuvarlanma yolunun yüzeyinde oluşan eksenel kalıntı gerilmenin ilerleme miktarına göre değişimi.	121
Şekil 4.38. İç bilezik yuvarlanma yolunda oluşan çevresel kalıntı gerilmenin kesici takım malzemesine göre değişimi.....	122
Şekil 4.39. İç bilezik yuvarlanma yolunda oluşan eksenel kalıntı gerilmenin kesici takım malzemesine göre değişimi.....	123
Şekil 4.40. 120 m/dk kesme hızı ve 0,04 mm/ dev ilerleme miktarında işlenen iç rulman bileziğinin mikroyapısı (1000x).....	124
Şekil 4.41. 120 m/dk kesme hızı ve 0,04 mm/ dev ilerleme miktarında işlenen iç rulman bileziği mikroyapısının SEM görüntüsü (10000x).....	125
Şekil 4.42. İç rulman bileziğinin 120 m/dk kesme hızı ve 0,04 mm/dev ilerleme miktarında işlenmesinde yuvarlanma yolunda ölçülen mikro sertlikler.	126
Şekil 4.43. İç rulman bileziğinin 140 m/dk kesme hızı ve 0,04 mm/dev ilerleme miktarında işlenmesinde yuvarlanma yolunda ölçülen mikro sertlikler.	126
Şekil 4.44. İç rulman bileziğinin 160 m/dk kesme hızı ve 0,04 mm/dev ilerleme miktarında işlenmesinde yuvarlanma yolunda ölçülen mikro sertlikler.	127
Şekil 4.45. İç bilezik delik çapının işlenmesinde 12. parçada oluşan ölçü hataları.....	128
Şekil 4.46. İç bilezik iç çapının işlenmesinde 12. parçada oluşan dairesellik hataları.....	129

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. Rulmanlı yatakların sınıflandırılması.	7
Çizelge 2.2. Rz ve Ra için standart örnekleme ve değerlendirme uzunlukları	25
Çizelge 3.1. AISI 52100 rulman çeliğinin kimyasal bileşimi (% ağırlık).....	67
Çizelge 3.2. AISI 52100 rulman çeliğinin özellikleri.	67
Çizelge 3.3. CBN kesici takım için kesme parametre önerileri.	79
Çizelge 3.4. CBN ve seramik kesici takımlar için kesme parametreleri.....	79
Çizelge 4.1. İç bilezik delik çapının CBN ile işlenmesinde elde edilen kuvvetler. ...	84
Çizelge 4.2. İç bilezik delik çapının seramik ile işlenmesinde elde edilen kuvvetler.	85
Çizelge 4.3. İç bilezik yuvarlanma yolunun CBN ile işlenmesinde elde edilen kuvvetler.	89
Çizelge 4.4. İç bilezik yuvarlanma yolunun seramik ile işlenmesinde elde edilen kuvvetler	89
Çizelge 4.5. Dış bilezik yuvarlanma yolunun CBN ile işlenmesinde elde edilen kuvvetler.	95
Çizelge 4.6. Rulman bileziklerinin işlenmesinde kullanılan kesme parametreleri. .	100
Çizelge 4.7. Yorulma testinde kullanılan iç ve dış bilezikler	124

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

Al	: Alüminyum
AlCrN	: Alüminyum krom nitrür
Al ₂ O ₃	: Alüminyum oksit
C	: Karbon
Cu	: Bakır
Cr	: Krom
F _c	: Esas kesme kuvveti
F _f	: İlerleme kuvveti
F _p	: Kayma düzlemindeki normal kuvvet
f	: İlerleme miktarı
Mg	: Magnezyum
Mn	: Mangan
Mo	: Molibden
MPa	: Mega paskal
Ni	: Nikel
N	: Azot
P	: Fosfor
R _p	: Maksimum tepe yüksekliği
R _v	: Maksimum çukur derinliği
R _z	: On nokta yüksekliği
R _t	: Maksimum tepe-çukur yüksekliği, µm
R _a	: Ortalama yüzey pürüzlülüğü
R _q	: Pürüzlülük kareler ortalamasının karekökü
S	: Kükürt
Si	: Silisyum
SiC	: Silisyum karbür

SiO₂ : Silisyum oksit
TaC : Tantal karbür
TiAlN : Titanyum+alüminyum+nitrür
TiCN : Titanyum+karbür+nitrür
TiC : Titanyum karbür
TiN : Titanyum nitrür
TiC : Titanyum karbür
WC-Co : Tungsten karbür-kobalt
ZrO₂ : Zirkonyum oksit
 λ : Dalga boyu
 μm : Mikrometre (mikron)
m/dk : Metre / dakika
mm/dev : Milimetre / devir

KISALTMALAR

ANN	: Artificial Neural Networks (Yapay Sinir Açı)
AISI	: American Iron and Steel Institute (Amerika Demir ve elik Enstitüsü)
BUE	: Built-Up Edge (Sıvanma)
CNC	: Computer Numerical Control (Bilgisayarlı Sayısal Denetim)
CBN	: Cubic Boron Nitride(Kübik Bor Nitrür)
CVD	: Chemical Vapor Deposition(Kimyasal Buhar Biriktirme)
DIN	: Deutch Industrie Normen (Alman Endüstri Normları)
EDM	: Electrical Discharge Machining(Elektro Erozyon ile İşleme)
FE	: Finite Elements (Sonlu Elemanlar)
HRC	: Rockwell Hardness (Rockwell C Cinsinden Sertlik Değerleri)
HSS	: High Speed Steel (Yüksek Hız eliği)
HSM	: High Speed Machining (Yüksek Hızda İşleme)
HV	: Vickers Hardness (İş Parçasının Vickers Cinsinden Sertlik Değerleri)
ISO	: International Organization for Standardization (Uluslararası Standart Organizasyonu)
ORS	: Ortadoğu Rulman Sanayi
PCBN	: Çok Kristalli Kübik Bor Nitrür
PCD	: Poly-Crystalline Diamond (Çok Kristalli Elmas)
PVD	: Physical Vapor Deposition (Fiziksel Buhar Biriktirme)
RSM	: Response Surface Methodology (Yanıt Yüzey Metodu)
SEM	: Scanning Electron Microscope (Taramalı Elektron Mikroskop)
TEM	: Transmission Electron Microscope (Geçirimli Elektron Mikroskobu)
XRD	: X-Ray Diffraction (X-R Yayınımı)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Talaşlı imalat işlemi en önemli imalat yöntemlerinden biri olup endüstrinin çekirdeğini oluşturmaktadır. Son yıllarda uzay, havacılık ve otomotiv gibi sektörlerdeki gelişmeler bu endüstrilerdeki ürünlerin üretiminde kullanılan makine ve teçhizatın ve üretim yöntemlerinin değişmesineneden olmaktadır. Sertleştirilmiş parçaların doğrudan işlenmesi son 25 yılda yaşanan gelişmelerden birisidir. Bu gelişme, sertliği 45 HRC üzerindeki malzemelerin tornalama, frezeleme ve delik delme gibi farklı imalat yöntemleri ile doğrudan işlenmesine imkantanmaktadır [1-4].

Sert tornalama, rijitliği ve hassasiyeti yüksek takım tezgahlarında, aşınma direnci yüksek kesici takımlar kullanarak sertleştirilmiş malzemelerde iyi bir yüzey bütünlüğü elde edebilmek için yapılan bir talaşlı imalat işlemidir. Sertleştirilmiş malzemeler genel olarak yumuşak halde son şekline yakın geometrilerde işlenirler ve taşlama işlemiyle son şekillerine getirilirler. Sertleştirilmiş parçaların işlenmesinde taşlama yöntemi günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak son yıllardaki kesici takım ve takım tezgahlarındaki teknolojik gelişmeler, sertleştirilmiş malzemelerin tornalama yöntemi ile doğrudan işlenebilmesinive bu yöntemin yaygın bir şekilde kullanılmasını sağlamıştır. İşlem süresinin kısa olması, kaldırılan talaş miktarının fazla olması, kısa ayar zamanı, kesme sıvısının kullanımına bazı durumlarda ihtiyaç olmaması, bir kesici takımla çok farklı geometrilerin tek tezgahta elde edilebilmesi ve işlenmiş parçalarda basma tipinde kalıntı gerilmelerin yüksek olması ve maliyetinin düşük olması sert tornalamanın taşlama işlemine göre avantajlarından bazılarıdır. Bu avantajlar sert tornalama yönteminin rulman, hidrolik, kalıp, otomotiv, uçak endüstrisi gibi sektörlerde üretilen miller, akslar, dişliler, rulman bilezikleri, motor parçaları, kam şaftları, flep dişlileri, iniş takımları gibi ekipmanların imalatında yaygın bir şekilde kullanılmasını sağlamıştır [1-13].

Rulmanlar mekanik sistemlerin en önemli bileşenlerinden olup bu sistemlerin verimini önemli derecede etkilerler. Genellikle rulmanlardan, statik ve dinamik yükleri karşılaması, uzun yorulma ömrüne sahip olması, yüksek aşınma direnci ve yüksek dayanım gibi özellikleri karşılaması istenir. Bu isteklerin karşılanabilmesi için rulmanı oluşturan bileşenlerin uygun üretim yöntemleri ile üretilmesi gerekmektedir. Rulmanı oluşturan en önemli bileşenler iç ve dış rulman bilezikleridir. İç ve dış rulman bilezikleri genel olarak yumuşak haldeki AISI 52100 rulman çeliğinden genellikle dövme, soğuk ovalama ve talaşlı imalat yöntemleriyle son şekline yakın geometride üretilirler. Daha sonra istenilen sertlik değerinin elde edilmesi için sertleştirme ve temperleme ısıl işlemleri uygulanır. Nihai geometrilerine ve yüzey kalitelerine taşlama ve süperfiniş yöntemleriyle getirilirler [14-16].

Üretilen parçaların maruz kaldığı talaşlı imalat ve taşlama gibi şekillendirme yöntemleri, istenilen geometri ve yüzey pürüzlülük değerini sağlamakla birlikte bu parçaların yorulma ömrüne etki eden yüzey altındaki değişimlere de etki etmektedir. İmalat işlemi esnasında parçanın yüzey katmanı mekanik ve ısıl gerilmelere maruz kalır. Bu gerilmeler de yüzey katmanında mikroyapı, sertlik ve kalıntı gerilmelerin değişmesine neden olur [11]. Yüzey katmanında oluşan kalıntı gerilmeler bu etkiler sonucu çekme veya basma tipinde olabilmektedir. Çekme tipinde oluşan kalıntı gerilme parçanın çalışması esnasında yorulma ömrünü kısaltırken basma tipinde kalıntı gerilme de yorulma ömrünü uzatmaktadır [17]. Sert tornalama yöntemi ile üretilmiş parçaların yüzey katmanlarının incelenmesi sonucu kalıntı gerilmelerin genellikle basma tipinde olduğu yapılan çeşitli bilimsel araştırma sonuçlarından görülmektedir. Ayrıca, bu parçalar yorulma deneylerine tabi tutulduklarında taşlama yöntemiyle üretilmiş parçalara nazaran daha yüksek yorulma dayanımı sergilediği de görülmektedir [10-13, 17-19].

Yapılan araştırmalarda sert tornalanmış parçalarda oluşan yüksek basma tipinde kalıntı gerilmelerin yorulma ömrünü önemli derecede artırdığı görülmüştür. Ancak, kesici takım aşınmasından kaynaklanan iş parçası boyutlarındaki değişim ve aşınmış takımın işlenmiş yüzeyde oluşturduğu beyaz katman bu işlemin dezavantajlarından biridir. Beyaz katmanın yorulma ömrünü olumsuz yönde etkilediği bu

alandan yapılan çalışmalardan görölmektedir. Sert tornalama işleminin taşlama işleminin yerine bitirme işleminin kullanılabilmesi için kesici takım aşınmasını en aza indirecek kesici takım malzemelerinin, kesici takım kaplamasının, kesici takım geometrisinin ve işleme şartlarının belirlenmesi gerekmektedir. Ayrıca, işlenen parçanın boyutlardaki değişimin işleme esnasında telafi edilebilmesi için takım aşınma hızının da belirlenmesi gerekmektedir [20-25].

Bu tezin amacı; sertleştirilmiş ve temperlenmiş AISI 52100 çeliğinden üretilen rulman bileziklerinin yuvarlanma yollarınıseramik ve CBN kesici takımlarlabelirlenen kesme parametrelerinde işleyerek rulmanlar için gerekli olan ölçüleri, toleransları ve yüzey bütünlüğünü sağlayarak rulmanların yorulma ömürlerini artırmak ve daha uzun süre çalışmalarını sağlamaktır. Bu amaçla, CBN ve seramik kesici takımlarla iç bilezik delik çapı ve yuvarlama yolu ile dış bilezik yuvarlanma yolu belirlenen üç farklı kesme hızı ve ilerleme miktarlarında işlenmiş ve işleme sırasında kesici takımlarda oluşan kuvvetler dinamometre ile ölçülmüştür. İşleme sonucunda kesici takımlarda oluşan aşınmalar takım mikroskobu ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmiştir. İşlenen bileziklerin yuvarlanma yollarında ve delik çapında oluşan yüzey pürüzlülükleri ölçülmüştür. Ayrıca, rulman tasarımı ile belirlenen boyut ve geometrik toleransları da incelemiştir. İşlenen yüzeylerin kalıntı gerilmeleri ve mikro sertlikleri ölçülmüştür. İşlenen yüzeylerdeki değişimleri görmek amacı ile mikroyapıları incelenmiştir.

Tezin takip eden bölümünde; rulmanlı yataklar, sert tornalama, yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması, kalıntı gerilme ile ilgili temel kavramlar ve sertleştirilmiş çeliklerin işlenebilirliği ile ilgili yapılan deneysel ve teorik çalışmalarla ilgili literatür araştırması verilmiştir. Üçüncü bölümde, deneysel çalışma sürecinde kullanılacak olan materyaller ile ölçüm tekniklerine yer verilmiştir. Bunlar: Deneylerde kullanılan numuneler, kesici takım ve tutucular, kesme kuvvetlerinin ölçülmesi, takım aşınması ve SEM incelemeleri, yüzey pürüzlülüğü, boyut ve konum tolerans ölçümleri, kalıntı gerilme ölçümleri, iş parçası bağlama sistemi ve mikro sertlik ölçümleridir.

Dördüncü bölümde, iç bilezik delik çapı ve yuvarlanma yolu dış bilezik yuvarlanma yolunun CBN ve seramik kesici takımlarla işlenemesin oluşan kuvvetler, kesici

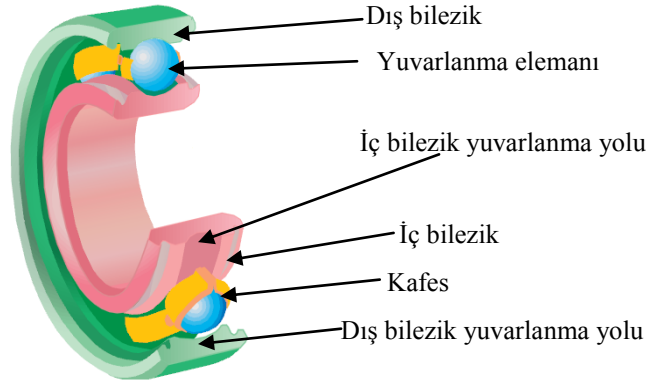
takımlarda oluşan aşınmalar, işlenen yzeylerdeki yzey pürzölölükleri, kalıntı gerilmeler, mikroyapı ve mikro sertlikler, boyut ve konum toleransları işleme parametrelerine göre değerlendirilmiştir. Son bölümde, deneysel çalışmaların genel sonuçlarının yorumlanmasına yer verilmiş, ileride yapılması gerekli çalışmalar hakkında önerilerde bulunulmuştur.

BÖLÜM 2

TEMEL KAVRAMLAR VE LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. RULMANLI YATAKLAR

Rulmanlı yataklar, aralarında nispidönme hareketi olan iki eleman arasında sürtünmeyi minimuma indirerek ve sorunsuz yük aktarımı sağlayan endüstrinin birçok alanında kullanılan makine elemanlarıdır. Rulmanlı yataklar belirli parçaların birleşmesinden meydana gelir. Rulmanlı yataklar; bir iç bilezik, bir dış bilezik ve iki bilezik arasında yuvarlanma hareketi yapan yuvarlanma elemanlarından oluşur (Şekil 2.1).

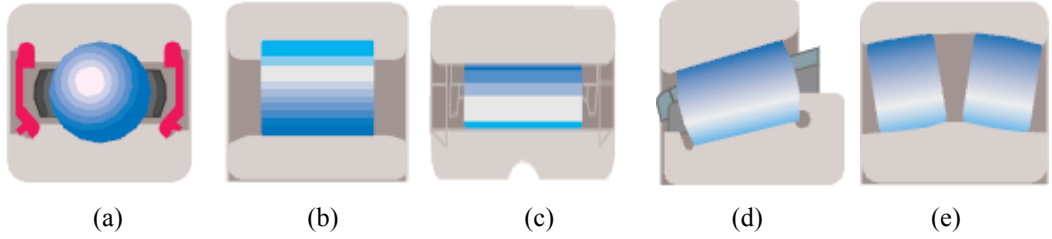


Şekil 2.1. Standart rulman elemanları [26].

İç bilezik, küçük olan bileziktir ve ismini sahip olduğu pozisyonundan alır. Yuvarlanma elemanları için bir yol oluşturmak üzere dış çapında bir yuvarlanma yoluna sahiptir. Yuvarlanma yolunun yüzeyi hassas, son derece sıkı toleranslarda ve çok düzgün olacak şekilde süperfiniş işlemine tabi tutulur. İç bilezik milin üzerine monte edilir ve genellikle rulmanın dönen elemanıdır. Dış bilezik, iç bilezikten daha büyüktür. Yuvarlanmanın sağlanabilmesi için dış rulman bileziğinin iç çapında da yuvarlanma yolu bulunmaktadır. Dış rulman bilezikleri iç rulman bilezikleri gibi aynı

hassasiyette üretilmektedir. Dış bilezikler genellikle bir gövde içine yerleştirilerek rulmanın belli bir pozisyonda bağlanmasını sağlar. Ayrıca yuvarlanma elemanlarının ayrılarak birbirine sürtünmesini önlemek ve eşit aralıklarda iç ve dış bilezikler arasında yuvarlanmasını sağlamak için kılavuz kafesleri bulunur [14, 26].

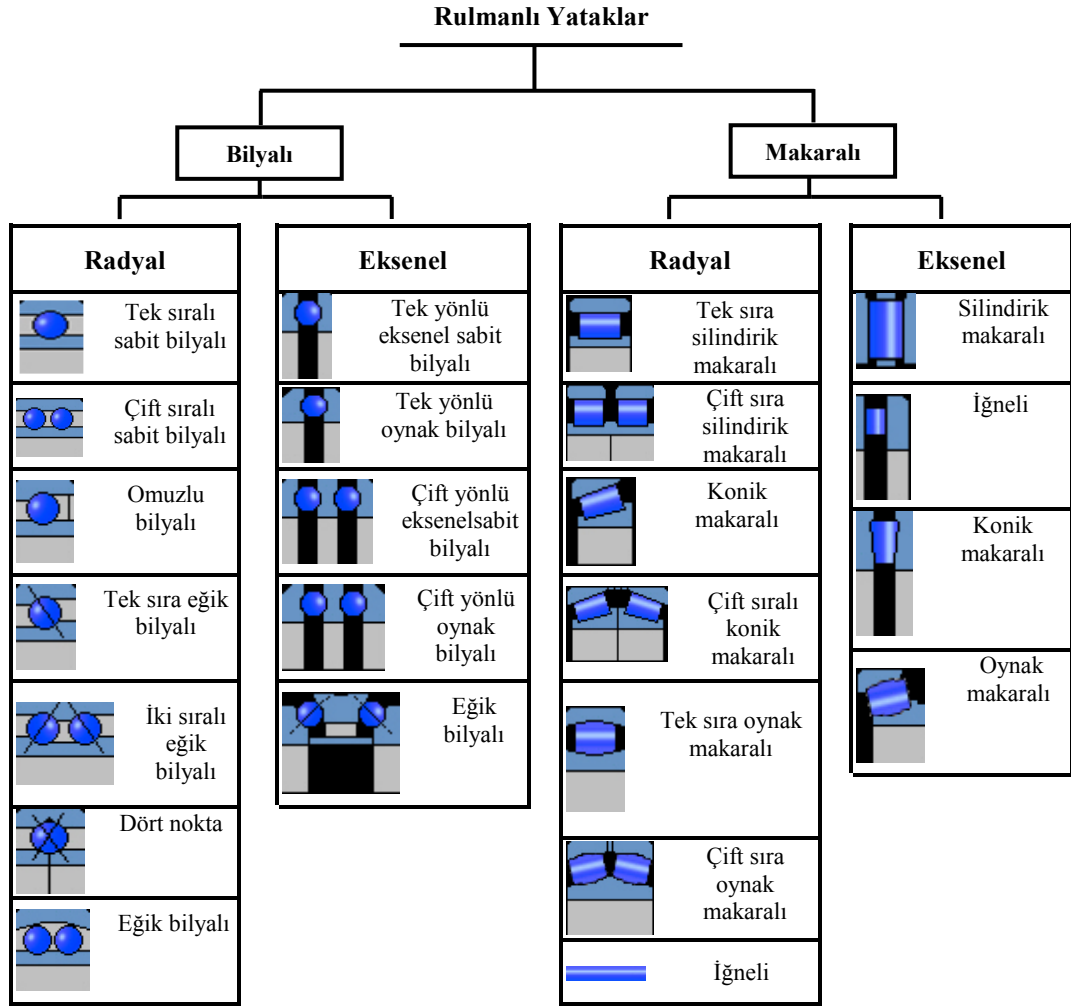
Rulmanlı yataklar dönen bir makine elemanı ile duran bir makine elemanı arasında kuvvet geçişini aradaki yuvarlanma elemanları vasıtasıyla sağlar. Rulmanlı yataklar, tasarımlarına ve kullanılan yuvarlanma yolu elemanlarına göre değişmekte ve sonuçta çok çeşitli rulman tipleri ortaya çıkmaktadır. Rulmanlı yataklarda; bilya, silindirik makara, iğne makara, konik makara, simetrik oynak makara ve asimetrik oynak makarastandart yuvarlanma elemanı olarak kullanılmaktadır (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Rulman yataklarında kullanılan yuvarlanma elemanları, a) bilya, b) silindirik makara, c) iğne makara, d) konik makara, e) simetrik makara [27].

Bilyalar küresel şekillidirler, kullandıkları yataklarda sürtünme kuvvetleri diğer rulmanlara göre daha düşüktür ve çok yüksek hızlarda dönen rulmanlı yataklarda tercih edilirler. Çelik bilyaların yanı sıra seramik bilyalarda rulmanlarda kullanılmaktadırlar. Bilyaların rulmandaki teması noktasaldır. Rulmanlarda kullanılan makaralar çizgisel temas ile yük taşırlar. Temas uçlarındaki yük dağılımını minimize etmek için yüzeylerinde bombe mevcuttur. Çizgisel temasa sahip olması nedeniyle aynı ölçülerdeki bilyalı rulmana göre daha fazla yük taşırlar. Rulmanlı yataklar yuvarlanma elemanlarının tiplerine göre bilyalı ve makaralı rulmanlar, maruz kaldıkları yüklere göre radyal ve aksenal, standart veya özel imalat durumlarına göre sınıflandırılırlar. Bilyalı rulmanların sınıflandırılması Çizelge 2.1’de gösterilmiştir [14, 26-28].

Çizelge 2.1. Rulmanlı yatakların sınıflandırılması [27, 28].



2.1.1. Rulman Çelikleri

Rulmanlarda kullanılan çeliklerin performansı ve yorulma ömrü çok önemlidir. Rulmanlı yataklar, statik ve dinamik yüklere, temas ettikleri yüzeylerdeki gerilmeye, farklı sıcaklıklara, aşınmaya, ani yüklere ve titreşimlere maruz kaldıklarında mukavemetlerinin yüksek olması gerekmektedir. Rulmanlarda kullanılan malzemelerin bu ağır çalışma şartlarını karşılaması gerekmektedir.

Rulman üretiminde genellikle AISI 52100 çeliği kullanılmaktadır. AISI 52100 yüksek miktarda karbon ve diğer alaşım elementlerini içermektedir. Yüksek karbon ve molibden içerdiği bu çeliklerde ısıtma işlemi ile yüksek sertlik değerleri elde

edilmesini sağlamak ve elde edilen yüksek sertlik değerleri aşınma direnci ve aşırı yükleri taşıma kapasitesini arttırmaktadır.

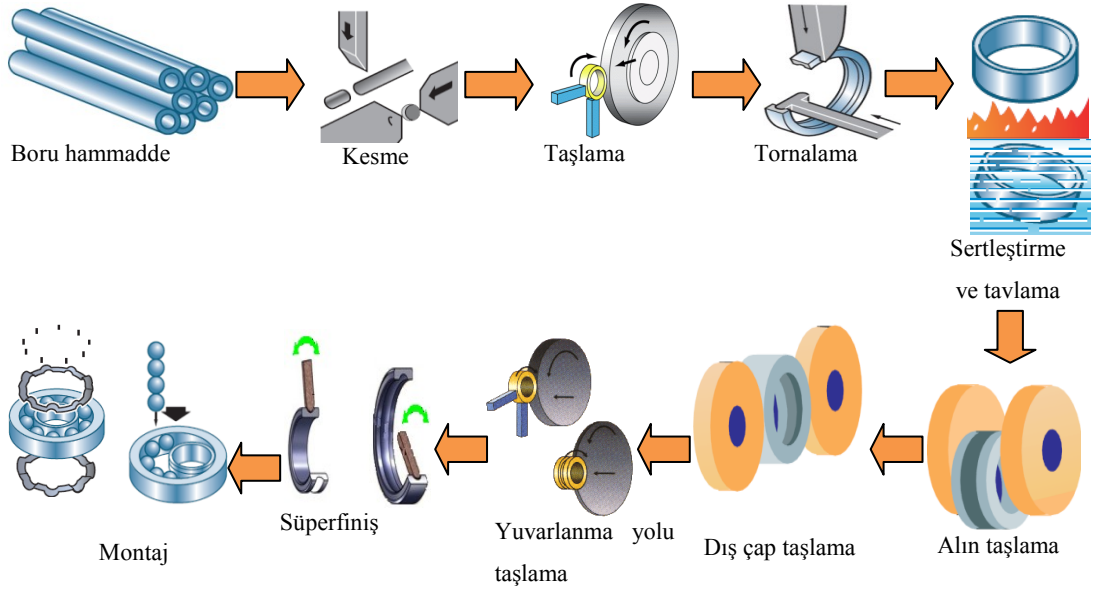
Düşük karbonlu AISI 8620, 9310, 5120, 4820, 4415, 3310, 1115 gibi semantasyon çelikleri de rulman üretiminde kullanılmaktadır. Korozyon direnci yüksek olması istenen rulmanlar da 440 C ve ACD34 serisi martenzit paslanmaz çelikler kullanılır. Bu çelik serilerinde 60 ± 2 HRC sertlik değerleri elde edilebilmektedir. Bu çeliklerin yük taşıma kapasiteleri AISI 52100 çeliklere göre yaklaşık %20 daha azdır. SV30 serisi paslanmaz çelikler düşük karbon içeriğine ve alaşım elementi olarak azot içeriğine sahiptir. Krom karbür yerine krom azot daha fazla oluşmakta bu da daha dayanıklı, daha sert iyi bir mikroyapının oluşmasına sebep olmakta ve dolayısıyla yorulma ömrünü arttırmaktadır. Bu çeliğin korozyon dayanımı 440 C ve ACD34 serilerinden 5 kat daha fazladır. AISI 316 paslanmaz çeliklerinin düşük karbon içeriğinden dolayı mıknatıslama özellikleri düşük ve korozyon dirençleri yüksektir. Bu çelikler sertleştirilmeden kullanıldıkları için bu çelikten üretilen rulmanlar düşük yük ve hızlarda çalışırlar. Bu çeliğin maliyeti yüksek olduğundan daha az sayıda üretilen özel rulmanların imalatında kullanılmaktadır. Orta derecede aşınma direncine sahip ve daha kolay şekillendirilebildikleri için diğer 300 serisi çeliklerde rulman üretiminde kullanılmaktadır [14, 29].

2.1.2. Rulman Bileziklerinin Üretimi

Rulman üretimi genel olarak; tornalama, ısıl işlem, taşlama, yıkama, kapak / kafes presleme, montaj ve paketleme aşamalarından oluşur. Rulman bilezikleri, parça büyüklüğüne göre CNC torna tezgahları veya ardışık operasyonlara uygun düzenlenmiş hat halinde çalışan tek milli torna tezgahlarında tornalanır. Rulman bileziklerinin iç ve dış çapları, yuvarlanma yolları, kapak yuvaları tornalama yöntemi ile istenilen ölçü ve toleranslarda işlenir. Tornalama işleminden sonra rulman bileziklerine ısıl işlem uygulanır. Rulman bileziklerine atmosfer kontrollü fırınlarda ısıl işlem yapılarak malzemenin yapısı ve sertliği artırılır, dolayısıyla çalışma yüklerini uzun süre taşıyabilecek duruma getirilir. Isıl işlemden sonra puntasız taşlama tezgahlarında rulman bileziklerinin alınları, iç ve dış çapları, yuvarlanma yolları istenilen şekil ve konum toleranslarında taşlanır. Süperfinit işlemleri ile bilhassa

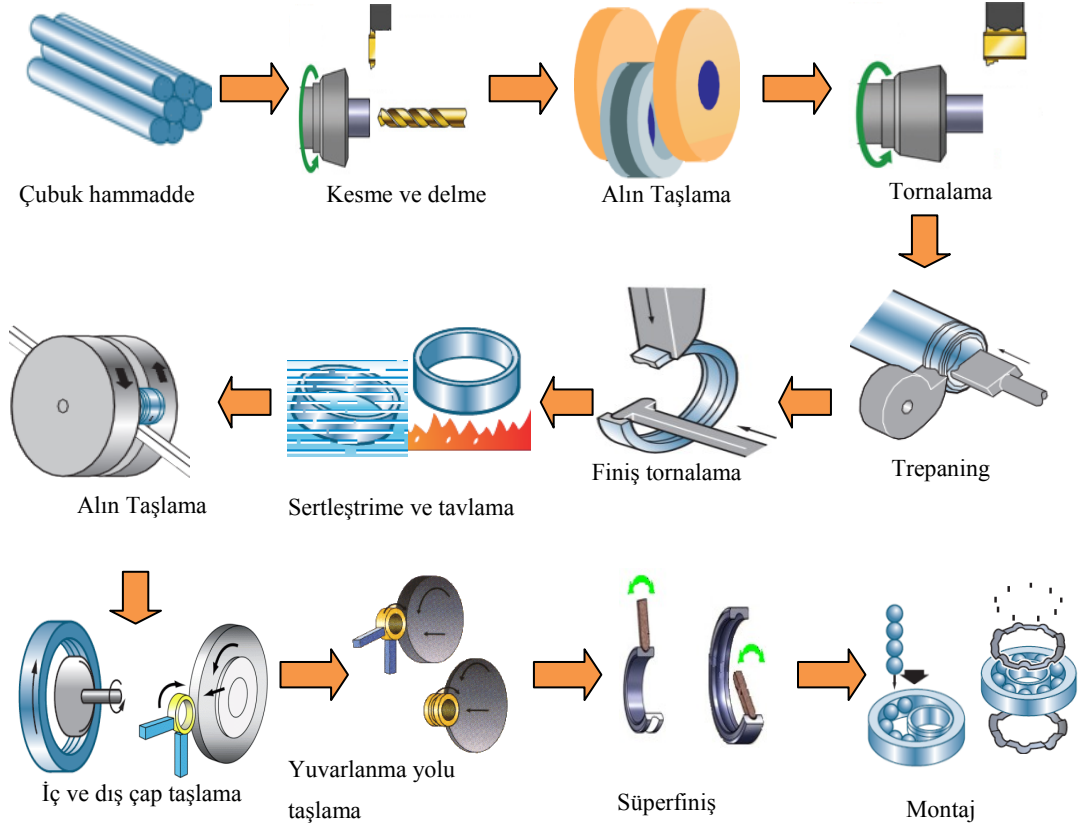
yuvarlanma yolundaki mikro pürüzlülükler alınarak taşlamadan 10 kez daha iyi yüzey pürüzlülüğü elde edilir.Montaj yapılmadan önce rulmanın tüm ana parçaları ve aksesuarları ultra filtrasyon ünitelerine sahip yıkama makinesinde ultrasonik destekli banyolarda yıkanır ve her türlü kirlilikten arındırılır.Rulmanların kafes, kapak ve muhafaza parçaları preslerde derin çekme sacından üretilir. Preslenen sac parçaların çapakları rotofiniş tezgahlarında temizlenir. Rulmanların montajı otomatik hatlarda el değmeden kontrollü olarak yapılır. İç ve dış bilezikler eşleştirilip bilyalar yuvarlanma yoluna yerleştirildikten sonra kafes montajı yapılır, rulman yıkanır ve rulmanın içine gres basılarak kapakları takılır. Tam otomatik hatlarda rulmanların son kontrolleri ve gürültü seviyelerinin kontrolleri yapılır. Hatların son istasyonunda uygulanan konzervasyon ile rulmanların son kullanıcıya bekleme süresince çevre şartlarından etkilenmeden ulaşması sağlanır. Paketleme işlemi, birbirinden farklı boyut ve kullanım alanları için üretilmiş rulmanların, tüketiciye en uygun şekilde ulaşmasını sağlayacak biçimde, müşteri isteklerine ve ürün özelliklerine uygun yapılır.

Rulman bileziklerinin üretiminde, rulmanın boyutlarına bağlı olarak üç farklı yöntem kullanır. Birinci yöntem, boru şeklindeki ham rulman çeliğinin işlenmesi ile rulman bileziklerinin üretilmesidir.Boru şeklindeki çeliklerin makinalarda doğrudan işlenebilmesi için küreselleştirilmiş ve tavllanmış çelikler kullanılır. Boru şeklindeki rulman çeliği kullanılarak yapılan üretimde, dikişsiz borular hammadde olarak kullanır. Küreselleştirilmiş borular, üretilecek bileziklerin ölçülerine yakın olacak şekilde kesilir. Kesme işleminden sonra bileziklere, taşlama ve tornalama işlemleri uygulanarak kaba olarak işlenir. İşlenen bilezikler sertleştirme ve tavlama işlemine tabi tutulur. Isıl işlemde sonra bileziklerin alın yüzeyleri taşlanır. Alın taşlama işleminden sonra bileziklerin iç ve dış çapları, puntasız taşlama tezgahlarında taşlanarak istenilen tolerans değerlerine getirilir. Bu işlemde sonra iç ve dış bileziklerin yuvarlanma yolları taşlanır ve yuvarlanma yollarına süperfinitiş işlemi uygulanır. Bu işlemde sonra bileziklerin montajı yapılır. Bileziklerin borudan üretilme işlemleri Şekil 2.3'te gösterilmiştir [14, 30-32].



Şekil 2.3. Borudan üretilen rulman bileziğinin üretim aşamaları [14, 26-28, 30-32].

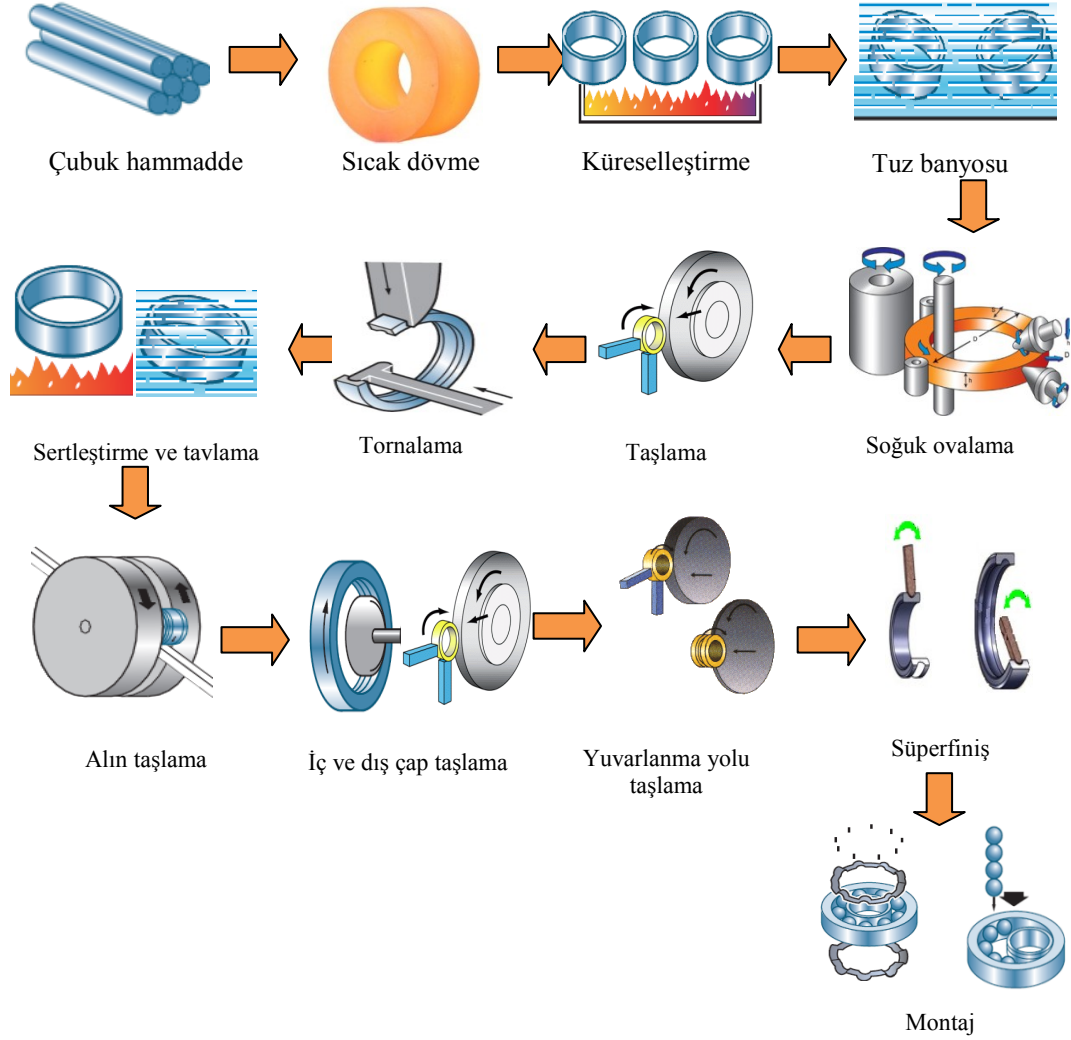
İkinci yöntemde rulman bileziği üretmek için küreselleştirilmiş ve tavllanmış çubuk malzemeler kullanılır. Rulman bilezikleri istenilen genişliklerde işleme payı bırakılarak kesilir ve daha sonra merkezden delik delinir. Delme işleminden sonra bileziklere alın taşlama yapılarak tornalamaya hazırlık yapılır. Tornalama işleminden sonra trepaning (boşaltma) işlemi uygulanır. Trepaning işleminde delinen malzeme boşaltılarak iç ve dış bilezik elde edilir ve bileziğin genel formları oluşturulur. Bu işlem tamamlandıktan sonra finiş tornalama yapılır. İşlenen bilezikler ısı işleme tabi tutulur. Sertleştirme ve tavlama işlemlerinden sonra bileziklerin alın yüzeyleri daha sonra da dış çapları puntasız taşlama ile taşlanır. Alın ve dış çap taşlama işleminden sonra iç rulman bileziklerinde delik taşlama yapılır. İç ve dış bileziklerin yuvarlanma yolları taşlanır ve bu işlemde sonra yuvarlanma yollarına süperfiniş yapılır [14, 26-28, 30-32].



Şekil 2.4. Çubuktan üretilen rulman bileziğinin üretim aşamaları [14, 26-28, 30-32].

Üçüncü yöntem, sıcak olarak haddelenmiş çelik çubuklardan sıcak dövme yöntemi ile rulman bileziklerinin üretilmesidir. Sıcak dövme işleminde kullanılan çubuklar küreselleştirilmemiş ve tavlammamış olduğundan maliyetleri daha düşüktür. Sıcak dövme operasyonunda çubuk şeklindeki malzeme önce 1200 °C'ye indüksiyon ile ısıtılır ve yüksek hızlı özel sıcak dövme preslerinde bilezik çapına bağlı olarak 100 ton ile 900 ton arasında kuvvet uygulanarak saniyede 1-2 parça şekillendirilir. Minimum hurda ile farklı çaplarda rulman bilezikleri sıcak dövme ile üretilmektedir. Son yıllarda seri üretimde hızlı ve ucuz olduğu için çok kullanılan bir yöntemdir. Dövülerek üretilen bilezikler küreselleştirme tavlamasından ve tuz banyosundan geçirilerek yapısı homojen ve sertliği talaşlı imalata uygun hale getirilir. Belirli çaplara kadar dövülmüş ve ısıl işlem görmüş bilezikler soğuk ovalama operasyonundan geçirilerek çapları büyütülür. Bu operasyon esnasında malzeme yapısı kontrollü olarak deforme edilerek, bilezik boyunca homojen bir genişleme sağlanır ve malzeme yapısı belli bir oranda iyileştirilir. Bu işlemden sonra uygulanacak olan yöntemler sırasıyla taşlama, tornalama, sertleştirme ve tavlama,

alın taşlama, dış çap taşlama, delik ve yuvarlanma yolu taşlama, süperfiniş ve montajdır. Bu üretim süreci Şekil 2.5’te gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Sıcak dövme ile üretilen rulman bileziğinin üretim aşamaları [14, 26-28, 30-32].

2.2. SERT TORNALAMA

Çalışmaları esnasında maruz kaldığı yükler sonucu dayanımı ve sertliği yüksek olması gereken çelik malzemeler geleneksel olarak yumuşak halde işlenerek son şekline yakın geometriye getirilirler. Taşlama işlemiyle son şekillerine getirilmeden önce de sertleştirme ve temperleme ısıl işlemlerine tabi tutulurlar. Son geometrileri ve gerekli yüzey topografyaları taşlama ve gerektiğinde de süperfiniş işlemleriyle sağlanır. Son 25 yıldaki teknolojik gelişmeler sonucu rijit takım tezgahları,

kesicitağım ve tutucu sistemlerinde iyileştirmeler sağlanmış bu da sertleştirilmiş malzemeleri doğrudan tornalama, frezeleme, delme ve diğer imalat yontemleri kullanarak taşlama işlemine gerek kalmadan şekillendirmeyi moomkun hale getirmiştir. Rulman, hidrolik, kalıp, otomotiv, uçak enduştrisi gibi sektuşlerde uşretilen miller, akslar, dişliler, rulman bilezikleri, motor paręaları, kam şaftları, flep dişlileri, iniş takımları gibi ekipmanların imalatında sert paręa işleme teknoloğisi yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [1-4].

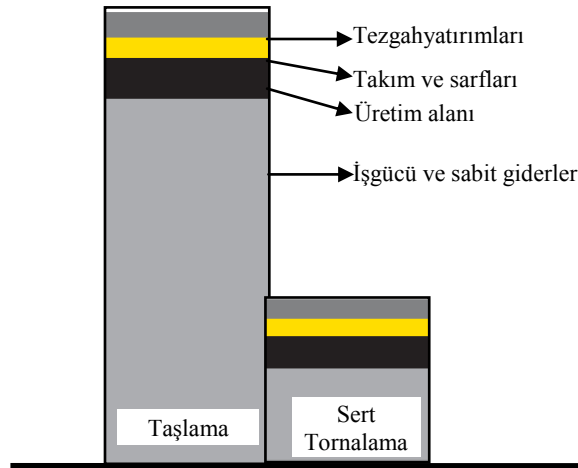
Sert tornalama, rijitliği ve hassasiyeti yuşsek takım tezgahlarında, aşınma direnciyuşsek kesici takımlar kullanarak, sertliği 45 HRC uşzerindeki sertleştirilmiş malzemelerde iyi bir yuşzey bütuñluđu elde edebilmek için yapılan bir talaşlı imalat işlemidir. Sert paręa tornalama, genellikle yuşsek boyutsal hassasiyet ve yuşzey kalitesi ihtiyacı sergileyen ince veya yarı ince bitirme işlemidir. Sert tornalama işlemlerinde iş paręası malzemesi olarak; alaşımlı ęelikler, rulman ęelikleri, sıcak ve soğuk iş takım ęelikleri, yuşsek hız ęelikleri, kalıp ęelikleri, sert krom kaplanmış ęelikler, nitruşlenmiş ęelikler, yuşzeyi sertleştirilmiş ęelikler, toz metallere, Waspoly, Stellite ve diğer süper alaşımlar iş paręası malzemesi olarak kullanılmaktadır [2, 3].

Sertleştirilmiş paręaların işlenmesinde taşlama yontemi gounuımızde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak son yıllardaki kesici takım ve takım tezgahlarındaki teknoloğik gelişmeler, sertleştirilmiş malzemelerin tornalama yontemi ile doğrudan işlenebilmesi taşlama yontemine bir alternatif oluşturmuş ve bu yontemin yaygın bir şekilde kullanılmasını sağlamıştır. Yapılan araştırmalarda uşzellikle yuşsek kesme hızlarında sertleştirilmiş ęeliklerin sert tornalama yontemi ile işlenmesinin, taşlama işlemine goure biręok avantajının olduğu gouřuľmuřtur. Sert tornalamanın sağladığı avantajlar:

- Yatırım ve uşretim maliyeti duişuık olması,
- Paręaların uşretim süresini azaltması,
- Farklı geometrilerin tek bir kesici takımla işlenebilmesi,
- Finiş operasyonlarını azaltması,
- Isıl işlemden kaynaklanan bozulmaları en aza indirgemesi,
- Yuşsek miktarda talaş kaldırma kapasitesi sağlaması,

- İyi bir yüzey bütünlüğü sağlaması,
- Üretimde esneklik sağlaması,
- Kesme sıvısının kullanımına çoğunlukla ihtiyaç olmaması,
- Üretilen parçaların yorulma dayanımlarının yüksek olmasıdır [1-13].

Sert tornalama işlemi, üretilen parça sayısının az olması durumunda daha da cazip olmaktadır. Bunun nedenleri ise taşlama işleminde üretime başlamadan önce ayar zamanlarının uzun olması ve özel profilleri oluşturmak için özel taş geometrilerine ihtiyaç duyulmasıdır. Her bir işlem için oluşturulan taşlar çok yüksek maliyetler gerektirmektedir. Farklı ölçü ve şekillerin CNC programlarla ayarlanabilmesi, kesicilerin CNC tezgahlarda kolay pozisyonlanması ve kontrol edilmesi ile istenilen karmaşık şekiller işlenebilmektedir [2]. Sert parçaların tornalanması ve taşlanmasında oluşan maliyetlerin karşılaştırılması Şekil 2.6’da gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Taşlama ve sert tornalama maliyetlerinin karşılaştırılması [33].

CBN kesici takımların maliyetinin yüksek olması, sert tornalama işleminin çoğunlukla bitirme işlemi olması nedeniyle kullanılacak takım tezgahlarının geleneksel talaşlı imalat işlemlerinde kullanılan takım tezgahlarından daha rijit, iş bağlama sistemlerinin daha hassas, dönen sistemlerdeki salgılarının daha düşük olması gerekliliği ve mevcut sistemlerin değiştirilmesine olan dirençten dolayı sert tornalama işleminin potansiyelinden günümüzde yeterince faydalanılamamaktadır [1].

2.2.1. Sert Tornalamada Kullanılan Kesici Takım Malzemeleri Ve Takım Geometrisi

Kesici takımlar ve takım tezgahları alanındaki gelişmeler sert tornalama işlemini günümüzde yaygın hale getiren önemli nedenlerdendir. Sert iş parçası malzemelerinin özellikleri nedeniyle kullanılan kesici takımlar; yüksek sertlik, yüksek termal iletkenlik, yüksek aşınma direnci, fiziksel ve kimyasal kararlılık gibi gereksinimleri karşılaması gerekir. Sert tornalama ve frezeleme işlemleri için en çok kullanılan kesici takım malzemeleri, seramik ve kübik bor nitridür (CBN) [2].

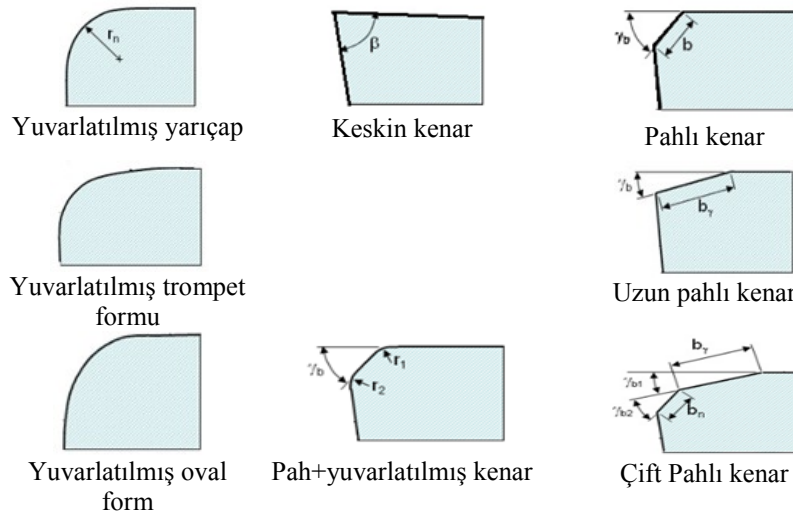
CBN kesici takımların geliştirilmesi ve ticari olarak yaygınlaşması ile daha önceleri yalnızca taşlama işlemi ile son geometrilerine getirilen sertleştirilmiş çelikler doğrudan tornalama işlemi ile de son geometrilerine getirilebilmiştir. CBN kesici takımlar, yüksek sıcak sertliği, demire olan düşük ilgisi, yüksek ısı iletkenliği ve düşük termal genleşme katsayısına sahip olduğundan sertleştirilmiş çelikler, takım çelikleri ve işlenmesi zor malzemeler gibi çeşitli malzemelerin işlenmesinde yaygın biçimde kullanılmaktadır.

CBN kesiciler, CBN parçacıkların kobalt, TiC, TiN veya diğer malzemeler ile karıştırılarak sinterlenmesi ile oluşturulur. CBN kesici takımlar; %90 oranında CBN tanelerden ve metalik bağlayıcılardan (kobalt) oluşan yüksek içerikli ve %50-70 oranında CBN tanelerden ve seramik bağlayıcılardan (TiC, TiN,) oluşan düşük içerikli CBN kesici takımlar olmak üzere genel olarak iki kategoriye ayrılır. Yüksek CBN içerikli kesici takımlar yüksek sertlik ve toklukları nedeni ile genellikle araklı (kesikli) tornalama işlemlerinde, düşük içerikli CBN kesici takımlara seramik fazın eklenmesi ile kimyasal kararlılıkları, düşük difüzyon eğilimleri ve düşük ısı iletkenlikleri ile sürekli tornalama işlemlerinde kullanılmaktadır [2, 8, 10, 34].

CBN kesici takımlar yüksek sertlikleri nedeniyle oldukça kırılığandır. Bu nedenle kesici kenar dayanımını arttırmak için büyük negatif talaş açısı kullanılmaktadır. Keskin bir kesici kenardan ziyade pahlı bir kesici kenar işleme esnasında oluşan kesme kuvvetlerini ve sıcaklığı artırır. Ancak, CBN kesici takımların yüksek sertlikleri keskin bir kesici kenara müsaade etmemektedir. Kesici kenarın keskin

olması durumunda dayanım azalmakta ve işleme esnasında kesici uçta küçük kırılmalar söz konusu olmaktadır. Kesici uçlar, kesicilerin erken kırılmasını önlemek ve takımda güçlü bir kesici kenar oluşturmak için pah kırılarak ya da honlanarak üretilir [1-6, 34-36].

Yuvarlatılmış kesici kenarlar genellikle finiş, yarı finiş, hassas işleme ve mikroişlemelerde kullanılırken pah kırılmış kesici kenarlar ise sert tornalama, kaba işleme ve kesikli işlemlerde kullanılmaktadır. Pah kırılmış kesici kenarlar genellikle CBN ve seramik kesici takımlara, yuvarlatılmış kenarlar ise elmas, PCD, HSS ve sementit karbür kesici takım malzemelerine uygulanırlar. Kesici takımlarda genel olarak kullanılan kesici kenar durumları Şekil 2.2’de gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Tipik kesici kenar durumları [36].

Sert tornalama işleminde CBN kesici takımlara alternatif olarak alümina (Al_2O_3) seramikler ve kaplamalı karbür takımlar da kullanılmaktadır. Saf alümina takımların kırılma dayanımlarının ve termal şok dirençlerinin düşük olması sert tornalama işlemlerini sınırlamaktadır. İş parçasındaki sert karbürler, yüksek kesme kuvvetleri, titreşim, termal şok ve takımın iş parçasına giriş ve çıkışları nedeniyle bu kesici takım malzemelerinde genellikle kırılmalar ve kopmalar meydana gelmektedir. Alümina takımların kırılma ve termal şok direnci; ZrO_2 , TiC, TiN ve SiC whisker takviyesi ve rijit bağlama sistemlerinin kullanılması ile artırılabilir. SiC takviyeli seramikler genellikle kesikli tornalama işlemleri için tavsiye edilmektedir.

Sertleştirilmiş çeliklerin tornalanmasında bazı kaplamalı karbür takımlar iyi termal şok direnci ve kırılma dayanımına sahip iken yüksek aşınma oranları ve iş parçası ile kimyasal reaksiyonları takım ömrünü azaltmaktadır. Seramik kesiciler genellikle sertleştirilmiş çeliklerin işlenmesinde kullanılan kesiciler arasında en ucuz olanıdır. Fakat düşük kırılma tokluğu ve düşük sertliklerinden dolayı daha düşük işleme parametrelerinde kullanılmaktadır [37-46].

CBN kesici takımlarda kesici kenar durumu; deformasyon bölgesinin şeklini, kesme sırasındaki sıcaklık dağılımını, kesme kuvvetlerini, kesme sırasındaki gerilme dağılımını etkilemekte, bu etkiler de tornalamada talaş oluşumunu, talaş akışını, iş parçasının yüzey bütünlüğünü ve pürüzlülüğünü ve kesici takım aşınmasını etkilemektedir [8, 9].

2.2.2. Sert Tornalamada Takım Aşınması Ve Takım Ömrü

Sert tornalamanın taşlama yerine birçok ekonomik avantajları olmasına rağmen, takım aşınması önemli bir engel teşkil etmektedir. Sert tornalamada genel olarak CBN ve seramik kesici takımlar kullanılmakta ve bu kesici takım takımlarda yan kenar ve krater aşınması görülmektedir. Yan yüzey aşınması, işlenmiş parçalarda boyutsal doğruluk ve yüzey üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. CBN kesici takımlarda abrasyon, adhezyon, difüzyon ve kimyasal aşınma mekanizmaları oluşmaktadır. Kesici kenar geometrisindeki pah açısı, pah uzunluğu ve honlama takım ömrünü etkilemektedir. Takım aşınması, kesme hızı, ilerleme, talaş derinliği, takım geometrisi, kesici takım ve iş parçası malzemesi, titreşim, takım ve iş parçası bağlama sistemi ve kullanılan takım tezgahı gibi bir çok özellikten etkilenmektedir. Takım aşınması, takım ömrünü azaltılmasının yanında, yüzey pürüzlülüğünü ve kesme kuvvetlerini artırmakta, iş parçası boyutlarını değiştirmekte ve istenmeyen kalıntıgerilme ve beyaz tabaka oluşumuna neden olmaktadır. Hassas sert tornalama işleminde istenilen hassasiyeti ve yüzey kalitesini devam ettirebilmek için takım aşınması en aza indirilmelidir. Takım aşınması yalnızca parça boyutları ve yüzey kalitesini etkilemez aynı zamanda kesme kuvvetlerini de önemli derecede artırır. Kesme kuvvetlerinin artması takım hareketindeki tamlığın azalmasına ve dolayısıyla iş parçası ölçülerinin istenilenin dışına çıkmasına neden olur [36-56]. Sert tornalama

işleminde elde edilen yüzeyin taşlama ile elde edilenden daha iyi ya da yakın olması için takım ömrü dikkatle izlenmelidir [9, 49].

2.2.3. Sert Tornalamada Yüzey Bütünlüğü

Sert tornalama iş parçasının yüzey bütünlüğünü önemli ölçüde etkiler. Yüzey bütünlüğü, yüzeyin geometrik değerleri ile fiziksel özellikleri arasındaki karşılıklı ilişki olarak karakterize edilebilir. Yüzey bütünlüğü işlenmiş parçaların ömürlerini önemli bir şekilde etkilemektedir. İşlenmiş parçalardaki iyi bir yüzey bütünlüğü ile daha fazla ömür elde edilebilmektedir. Yüzey pürüzlülüğü, kalıntı gerilme, beyaz katman, mikroyapı ve sertlik değişimleri sert tornalamada yüzey bütünlüğünü oluşturan bileşenlerden bazılarıdır. Sert tornalama işlemlerinde kullanılan kesici takım malzemeleri, takım geometrisi, takım aşınması, iş parçası malzemesi ve kesme parametreleri yüzey bütünlüğünü etkilemektedir [57-60].

Üretilen parçaların maruz kaldığı talaşlı imalat ve taşlama gibi şekillendirme yöntemleri, istenilen geometri ve yüzey pürüzlülük değerini sağlamakla birlikte bu parçaların yorulma ömrüne etki eden yüzey altındaki değişimlere de etki etmektedir. İmalat işlemi esnasında parçanın yüzey katmanı mekanik ve ısı gerilmelere maruz kalır. Bu gerilmeler de yüzey katmanında mikroyapı ve sertliğin değişmesine ve kalıntı gerilme oluşmasına neden olur [11]. Yüzey katmanında oluşan kalıntı gerilmeler bu etkiler sonucu çekme veya basma tipinde olabilmektedir. Çekme tipinde oluşan kalıntı gerilme parçanın çalışması esnasında yorulma ömrünü kısaltırken basma tipinde kalıntı gerilme de yorulma ömrünü uzatmaktadır [34]. Sert tornalama yöntemi ile üretilmiş parçaların yüzey katmanlarının incelenmesi sonucu kalıntı gerilmelerin genellikle yüksek seviyede basma tipinde olduğu yapılan çeşitli bilimsel araştırma sonuçlarından görülmektedir. Bu durumun doğal bir sonucu olarak ta bu parçaların taşlama yöntemiyle üretilmiş parçalara nazaran daha yüksek yorulma dayanımı sergilediği görülmektedir [18].

Sert tornalamada, işlenmiş yüzeylerin altında faz dönüşümüne uğramış, martenzit yapının mikroyapısının değişimi sonucunda bir beyaz katman oluşur. Bu katman parlatma ve dağlama yapıldıktan sonra optik mikroskopla bakıldığında beyaz bir

tabaka şeklinde gözüktüğünden “beyaz katman” olarak adlandırılmaktadır. Beyaz katman; işleme sırasında ani ısınma ve soğuma sonucu oluşan faz dönüşümü, yüksek plastik deformasyondan dolayı yüzey altında ince taneli bir yapı oluşumu ya da işlenen yüzeyin çevreye karşı gösterdiği reaksiyon şeklinde ifade edilmektedir. Beyaz katman oluşumu işleme şartlarına bağlı olarak 10 µm'dan az bir kalınlıkta oluşmaktadır. Beyaz katman sert ve kırılğan bir yapıya sahip olup yorulma ömrünü etkilemekte ve genellikle çekme tipinde kalıntı gerilme oluşumuna neden olmaktadır. Sert tornalamada kesme hızı, ilerleme miktarı, takım geometrisi, takım aşınması, takım uç yarıçapı ve iş parçasının sertliği beyaz katman oluşumuna neden olmaktadır. Beyaz katmanın altında siyah katman da oluşabilmektedir. Siyah katman, beyaz katmanın altında koyu bir bölgedir ve temperlenmiş martenzitin üzerinde oluşur. Bu katman genel olarak ana malzemeden daha yumuşak bir yapıya sahiptir [57-60].

2.2.4. Takım Tezgahı, Takım Tutucu Ve Bağlama Sistemi

Takım tezgahları teknolojisindeki gelişmeler, sert tornalama yöntemi ile üretilen parçaların kalitesini arttırmak için yüksek hassasiyetli tezgahların üretilmesine öncülük etmektedir. Bu tezgahların geometrik ve kinematik hassasiyetlerinin yanı sıra rijitliklerine de dikkat edilmelidir.

Sert tornalamada kullanılan takım ve tezgahların, hassasiyetleri ve hareket kapasiteleri birçok bileşenden etkilenmektedir. Eksenlerin kararlılığı ve rijitliği, tezgahın hata telafi özellikleri, geometrik hizalanmalar, ısı oluşumundan kaynaklanan termal çarpılmalar ve kontrol özellikleri gibi bileşenler tezgah ve takımların davranışlarına etki ederler.

Sert tornalama işlemlerinde rijit fener mili ve takım tutucuların kullanılması gerekmektedir. Çoğu zaman rijitliğin yetersiz olduğu durumlarda tırlama ya da kötü parça kalitesi elde edilmektedir. Rijit takımların kullanılması ile daha iyi ve güvenli bir performans sergilenmektedir. Çabuk takım değiştirme sistemleri ya da taretler, geleneksel takımların rijitliğinden daha hassas olarak ayarlanması gerekmektedir. Sert tornalama uygulamalarında takım geometrisi ve merkezleme yükseklik ayarları kesme kalitesini etkilemektedir [61].

Sert tornalamada, bağlama sistemi, işlem tipi, tezgahın yapısı ve takım tutucudan kaynaklanan hatalar üretilen parçaların hassasiyetlerini etkilemektedir. Bu hatalar sert tornalamada takım aşınmasına, yüksek kesme kuvvetlerine ve kesme sıcaklığına neden olmaktadır. Bu nedenle sert tornalama işlemlerinde sıklıkla taşlamada olduğu gibi düşük yüzey pürüzlülük değerleri, ölçü hassasiyeti ve konum toleransları elde edilememektedir [8, 10, 11, 45].

Sert tornalanmış parçalarda şekil ve konum toleransları ve ölçü hassasiyeti en önemli kalite karakteristiğidir. Sert tornalamada boyutsal ve geometrik toleranslara birçok değişken etki etmektedir. Hassas işlemede boyutsal ve geometrik toleransların elde edilmesinde en önemli bileşen bağlama sistemidir. Farklı tipteki bağlama sistemleri, bağlama sisteminin iş parçası ile etkileşimi, uygulanan sıkma basıncı, bağlama sisteminin rijitliği ve hassasiyeti istenilen toleranslardan çeşitli sapmalara neden olmaktadır. Rulman bileziği gibi özellikle ince cidarlı parçaların işlenmesinde bu hatalar daha da belirgin olmaktadır. Ayrıca, işleme esnasında oluşan kesme kuvvetleri ve ısı oluşumundan kaynaklanan ısı genleşmeleri de toleranslardaki sapmaları artırmaktadır. Kesici takım bağlama sistemi, kesici takım ve takım tutucu da kinematik ve geometrik hatalara neden olmaktadır [7, 62-66].

2.3. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ

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 [67]. Talaş kaldırma işleminde; seçilen yöntem, kesicinin cinsine ve işleme şartlarında bağlı olarak fiziksel, kimyasal, ısı faktörlerinin ve kesici-iş parçası arasındaki mekanik hareketlerin etkisi ile işlenen yüzeylerde genellikle istenmediği halde işleme izleri oluşmakta ve düzensiz sapmalar meydana gelmektedir. Bu durum yüzey pürüzlülüğü olarak ifade edilmektedir [68].

Talaşlı imalat yöntemleri kullanılarak üretilen makine parçalarının yüzey kalitesi birçok değişkene bağlıdır. İşlenmiş bir yüzeyin yapısı, kalite açısından en önemli

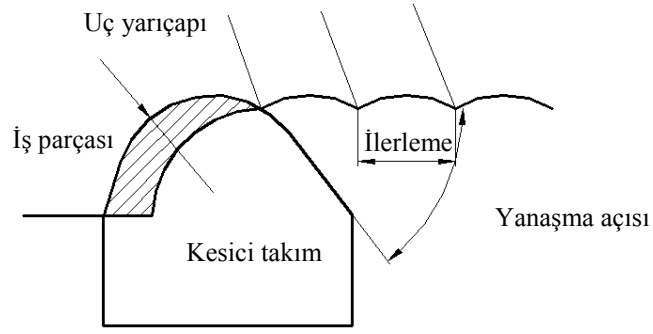
kriterlerden biridir. İşlenmiş parça yüzeylerinin tribolojik özellikleri, yüzey dokusundan birinci derecede etkilenmektedir. Yüzey pürüzlülüğü sadece aşınma, sürtünme ve yağlama gibi tribolojinin geleneksel konularında değil aynı zamanda sızdırmazlık, hidrodinamik, elektrik, ısı iletimi gibi farklı alanlarda da dikkate alınması gereken önemli bir faktördür [69].

İşleme metodu ne olursa olsun talaş kaldırılan yüzeylerde belli bir yüzey pürüzlülüğünün oluşması kaçınılmazdır. Farklı metotlarla işlenen aynı malzemelerin yüzey pürüzlülükleri sayısal değer olarak aynı olmasına rağmen bazen bunların aşınma, korozyon, sürtünme ve yorulma dirençlerinin farklı oldukları bilinmektedir. Çünkü yüzeydeki işleme izlerinin yönleri ve dağılımları da performansı etkiler. Bu nedenle işlenecek parçaların bazılarında yüzey pürüzlülük değerinin yanında işleme metodunun da belirtilmesi istenir [69].

Yüzey karakteristiklerinin ölçümü için önce “yüzey dokusu” ve “yüzey pürüzlülüğü” terimlerinin neyi ifade ettiğini anlamak gerekmektedir. Herhangi bir yüzeyin geometrik şekli “yüzey dokusu” olarak tanımlanmaktadır. Bir yüzey dokusu genel olarak pürüzlülük, dalgalanma ve şekil hatası şeklinde tanımlanan karakteristiklerden meydana gelmektedir. Geleneksel olarak bir yüzey dokusu nicelik bakımından ölçüldüğünde analiz edilen sadece pürüzlülüktür; dalgalanma ve şekil hatları mekanik, elektriksel ve dijital olarak kaydedilen verilerden çıkartılmaktadır [70].

2.3.1. Yüzey Pürüzlülüğünün Oluşumu

İdeal kesici takım seçilerek (hatalar, vurunular, yığıntı talaş, titreşim ve takımın hatalı bağlanması gibi etkenlerin minimize edilmesi) kesici uç biçimine ve ilerlemeye bağlı olarak elde edilen en iyi yüzey pürüzlülüğü “ideal” yüzey pürüzlülüğü olarak adlandırılabilir. İdeal yüzey pürüzlülüğünün oluşumu Şekil 2.8’de gösterilmiştir. Ancak uygulamada, genellikle aşağıda tanımlanan ideal pürüzlülük şartlarına ulaşmak mümkün değildir. Normalde gerçek pürüzlülükte en etkili pürüzlülük tipi doğal yüzey pürüzlülüğüdür [71, 72].



Şekil 2.8. İlerleme ve uç yarıçapının yüzey pürüzlülüğüne etkisi [71].

Doğal yüzey pürüzlülüğü, gerçek yüzey pürüzlülüğünün büyük bir kısmını içerir. Doğal yüzey pürüzlülüğünü takım tezgâhı, iş bağlama sistemi, takım sistemi ve çalışma ortamı gibi faktörler etkilediğinden pürüzlülük değerini tahmin etmek zordur. Doğal yüzey pürüzlülüğüne sebep olan en önemli faktörlerden biri de yığıntı talaş oluşumudur. Yığıntı talaş devamlı olarak oluşur, dağılır ve dağılan sert parçalar iş parçasına sürtünür. Talaş takım sürtünmesini azaltan ve yığıntı talaş oluşumunu azaltan takım geometrisi ve kesme parametreleri daha düzgün yüzey oluşmasını sağlar. Kesme hızındaki artışla ideal yüzey pürüzlülüğüne yaklaşılabılır. Uç yarıçapı sabit kalmak şartıyla, ilerleme hızındaki artış ise yüzey pürüzlülüğünü artırır. Genelde yüzey pürüzlülüğü değerleri olarak taşlama işlemi için 0,05-1,6 μm , finiş tornalama için 0,1 den 1,0 μm , frezeleme ve kaba tornalama için ise 1,6 μm 'den daha yüksek olan R_a değerleri kabul edilebilir [71, 72].

İdeal yüzey pürüzlülüğü için yapılan geometrik hesaplamalar neticesinde aşağıda formül 2.1'de verilen ampirik ilişki elde edilmiştir.

$$R_a = 0,064 x f^2 / 8 r \quad (2.1)$$

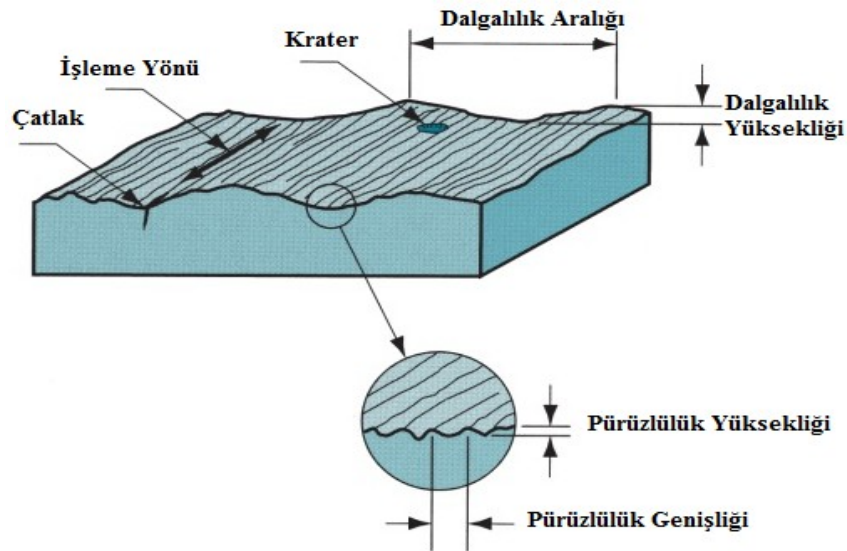
2.3.2. Yüzey Pürüzlülüğünü Etkileyen Faktörler

Bir talaşlı imalat işlemi sonucu elde edilen yüzey pürüzlülüğünü etkileyen faktörler vardır. İş parçası malzemesinin özellikleri, kesici takımın geometrisi, işlem esnasında kullanılan işlem değişkenleri, kesme sıvısının kullanılması ve işlem gerçekleştirilen takım tezgahının rijitliği bu faktörlerdendir [71, 72].

2.3.3. Yüzey Yapısı

Talaş kaldırmada bir parçanın yüzeyi iki önemli görüntüsü ile tanımlanır ve kontrol edilir. Birincisi yüzeyin geometrik düzensizlikleri, ikincisi ise yüzey ve yüzey katmanındaki metalürjik değişikliklerdir. İkinci özellik yüzey bütünlüğü ile ilgilidir. Yüzey bütünlüğü ve yüzey özellikleri tanımlanmalı, ölçülmeli ve ürünün istenilen özel sınırları içerisinde olup olmadığı belirlenmelidir. Yüzey yapısı; pürüzlülük, dalgalılık, tepeler ve çukurluklar ile belirlenir (Şekil 2.9) [73].

İşlenen yüzeylerde dalgalılık ve pürüzlülük olmak üzere iki tip yüzey sapması meydana gelir. Dalgalılık yüzeyin geometrik şeklini karakterize ederken, pürüzlülük yüzey kalitesini tayin eder. Yüzey pürüzlülüğü standartlara göre yüzeye dik olan bir kesitte, belirli bir numune uzunluğu boyunca, belirli bir referans profiline ve profil ortalama çizgisine göre tayin edilir. Referans profil olarak genellikle geometrik profil alınır. Profil ortalama çizgisinin yeri, bu çizginin üstünde ve altında kalan alanların toplamı birbirine eşit olacak şekilde belirlenir. Doğrultu, yüzey pürüzlerinin referans alınan bir alın yüzeyine göre durumunu belirler. Yüzey geometrileri, işleme metoduna bağlı olarak değişir [74].



Şekil 2.9. Yüzey geometrisi ve yapısı [75].

2.3.4. Yüzey Pürüzlülük Parametreleri

Yüzey pürüzlülük değerlerinin ölçülmesinde; profil parametreleri, motif parametreleri ve malzeme olasılık eğrisine dayanan parametreler olmak üzere üç farklı yüzey durum parametresi belirlenmiştir. Profil parametresi, R- profilleri, W- profilleri ve P-profilleri olmak üzere üç farklı yüzey parametresinden oluşmaktadır. R- profil parametresi, yüzey pürüzlülük profilinden, W- profil parametresi, dalgalılık profilinden ve P- profil parametresi de ana profilden hesaplanan parametrelerdir. Parametrenin ilk harfi hesaplanan değer için hangi profilden yapıldığını ifade eder [76, 77].

λ_s profil filtresi: Pürüzlülük ile pürüzlülükten daha kısa dalga boylu sapmaları ayıran filtredir.

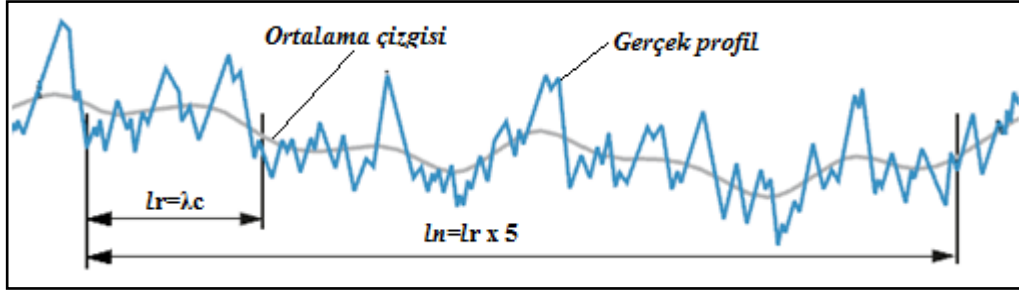
λ_c profil filtresi: Pürüzlülük ile dalgalılık sapmalarını ayıran filtredir.

λ_f profil filtresi: Dalgalılık ile dalgalılıktan daha uzun dalga boylu sapmaları ayıran filtredir.

Örnekleme uzunluğu l_p , l_r , l_w : Yüzey yapısı değerlendirmesi için esas olan uzunluktur. $l_r = \lambda_c$, $l_w = \lambda_f$, $l_p = l_n$ olarak seçilir (Şekil 2.10).

Değerlendirme uzunluğu: Profil üzerinde değerlendirilen bütün örnekleme uzunluklarının bir araya gelmesi ile (l_n) ile ifade edilen değerlendirme uzunluğu oluşur. l_n uzunluğu $n \geq 5$ olmak üzere, örnekleme uzunluğu (l_r) ile n çarpılarak elde edilir ($l_n = l_r \times n$) (Şekil 2.10).

Ortalama çizgisi: Gerçek profilin nominal şekline en küçük kareler metoduyla uydurulmuş olan çizgidir. Başka bir ifade ile ölçme boyu içinde profilin üstte ve altta kalan alanlarının eşit olduğu yerden geçen doğrudur (Şekil 2.10) [75-78].



Şekil 2.10. Örneklem uzunluğu ve sayısı ile ölçüm uzunluğu [77].

Yüzey pürüzlülük ölçümlerinde kullanılan örneklem ve değerlendirme uzunlukları istenilen yüzey kalitesine göre seçilmektedir. Ra ve Rz için standart örneklem ve değerlendirme uzunlukları Çizelge 2.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.2. Rz ve Ra için standart örneklem ve değerlendirme uzunlukları [72].

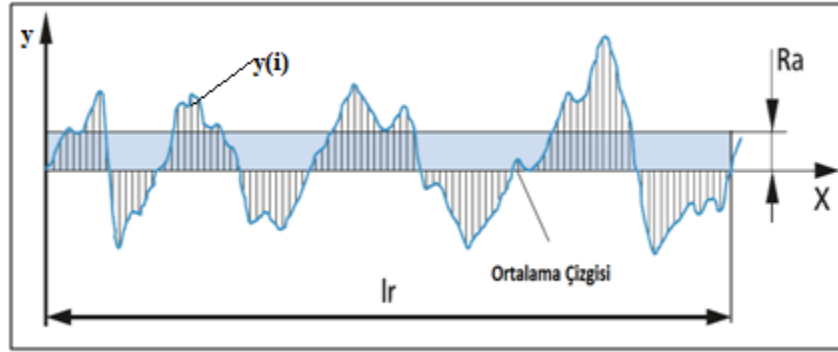
Pürüzlülük		Örneklem uzunluğu	Örneklem uzunluğu / Ölçüm uzunluğu
Rz (µm)	Ra (µm)	lr=λc (mm)	lr / ln (mm)
> 0,025...0,1	> 0,006...0,02	0,08	0,08 / 0,4
> 0,1...0,5	> 0,02...0,1	0,25	0,25 / 1,25
> 0,5...10	> 0,1...2	0,8	0,8 / 4
> 10...50	> 2...10	2,5	2,5 / 12,5
> 50...200	> 10...80	8	8 / 40

2.3.4.1. Ortalama Yüzey Pürüzlüğü (Ra)

Şekil 2.11’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 [71-73, 78].

$$Ra = \frac{1}{l_r} \int_0^{l_r} |y(x)| dx \quad (2.2)$$

$$Ra = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i| \quad (2.3)$$



Şekil 2.11. Ortalama yüzey pürüzlülüğünün grafiksel ifadesi[77].

2.3.4.2. Profilin Karelerinin Ortalamasının Karekökü (Rq)

Profil ortalama çizgisi ile oluşturduğu yükseklik değişimlerinin karelerinin ortalamasının kareköküdür. Bu parametre ortalama yüzey pürüzlülüğü Ra'dan daha hassas bilgi vermektedir. Matematiksel ifadesi aşağıdaki şekilde edilebilir [71-73, 78].

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{l_r} \int_0^{l_r} \{ |y(x)| \}^2 dx} \quad (2.4)$$

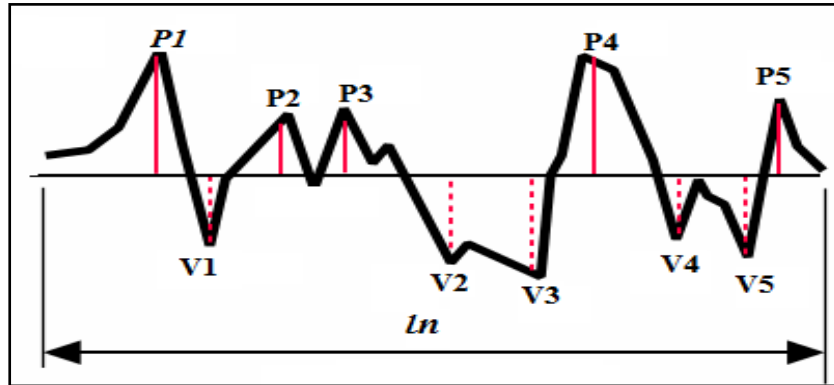
$$Rq = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2} \quad (2.5)$$

2.3.4.3. On Nokta Yüksekliği (Rz)

Bu parametre Ra ortalama yüzey pürüzlülüğü değerinden daha düşük ve yüksek şekilde oluşan tepe ve çukur noktaların tespiti açısından önemli bir parametredir. Bu parametrenin tanımında dünya genelinde, ISO ve DIN standardında olmak üzere iki çeşit tanımlama kabul görmüştür. ISO sisteminde bu parametrenin tanımı en derin ve en çukurda kalan 10 adet profilin farkının aritmetik ortalaması olarak, DIN standardında tanımı ise en yüksek ve en çukurda kalan 10 adet profilin toplamının ortalaması şeklinde ifade edilmektedir. Şekil 2.12’de bu parametrenin grafiksel ifadesi yer almaktadır. Her iki dünya standardında matematiksel ifadesi aşağıda formül 2.6 ve 2.7’de verilmiştir [71-73, 78].

$$R_{z(ISO)} = \frac{1}{n} \left(\sum_{1}^n p_i - \sum_{1}^n v_i \right) \quad (2.6)$$

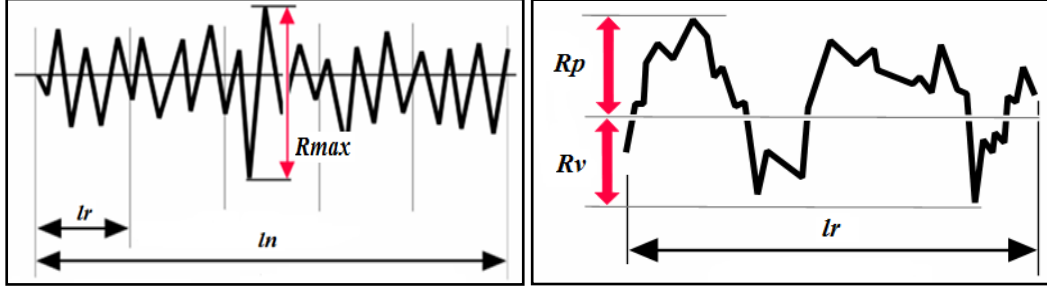
$$R_{z(DIN)} = \frac{1}{2n} \left(\sum_{1}^n p_i - \sum_{1}^n v_i \right) \quad (2.7)$$



Şekil 2.12. On nokta yüksekliği parametresinin grafiksel ifadesi [79].

Maksimum tepe yüksekliği (Rp);ortalama çizgisi üstünde oluşan en uzun tepe yüksekliğidir. Maksimum çukur derinliği (Rv);Ortalama çizgisi altında oluşan en derin çukurdur. Maksimum profil yüksekliği (Rt-Rmax); En büyük tepe yüksekliği ile en derin girintinin mutlak olarak toplamıdır. Rmax=Rp+Rv şekline ifade edilir. Şekil 2.13.’te maksimum tepe yüksekliği (Rp), maksimum çukur derinliği (Rv) ve

maksimum profil yüksekliği (R_t) yüzey pürüzlülük parametrelerinin grafiksel ifadesi yer almaktadır [79].



Şekil 2.13. R_v , R_p , R_t yüzey pürüzlülük parametrelerinin grafiksel ifadesi [79].

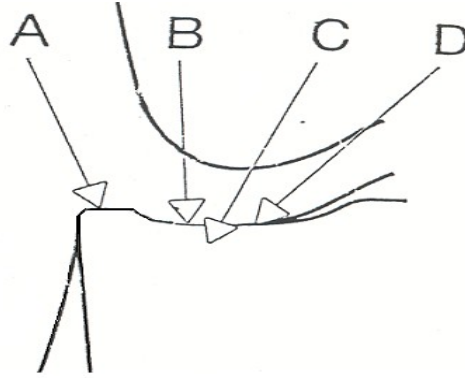
2.4. TAKIM AŞINMASI

Talaş kaldırma işleminde iş parçası, takım-talaş ara yüzeyindeki sürtünmeler ve meydana gelen ısı, takımın aşınmasına ve plastik deformasyona sebep olur. Plastik deformasyon ve sürtünme sonucu açığa çıkan ısının bir kısmı talaşla taşınmasına rağmen, takım ucunda kalan kısmı da kesme şartlarına, iş parçası ve takım çiftine bağlı olarak yüksek sıcaklıklar oluşturur. Takım ucunda oluşan bu yüksek sıcaklıklar ve mekanik gerilmelerden dolayı kesici takım malzeme kaybına neden olur [73]. Başka bir ifade ile aşınma; izafi hareket yapan elemanlar arasındaki sürtünme sonucu meydana gelen malzeme erozyonu veya kayıplarıdır. Aşınma; kuvvet, kayma hızı, sıcaklık, yağlama durumu, malzeme cinsi ve sertliğinden etkilenen karmaşık bir olaydır. Bu etkilerin bazılarının baskın olması farklı aşınma mekanizmalarını ortaya çıkarmaktadır. Bazı durumlarda, birkaç aşınma mekanizması birlikte etkili olmaktadır. Dolayısıyla bu durum, aşınma olayını ve simülasyonunu karmaşık bir hale getirmektedir [80].

Bütün kesici takımlar talaş kaldırma işlemleri sırasında aşınır ve bu aşınma; kesici takım ömrünü tamamlayıncaya kadar devam eder. Aşınma, temas eden yüzeylerde mekanik etkilerle malzeme kaybı olarak tanımlanabilir yani takım-iş parçası-işleme şartları arasındaki karşılıklı etkileşimin bir sonucudur. Takım aşınması kaçınılmazdır ve negatif bir süreç değildir. Olup olmaması değil, olduğunda ne kadar ve hangi tipte

olduğu önemlidir. Kabul edilebilir belirli bir süre zarfında, kesici kenar kayda değer ölçüde talaş kaldırma işlemi gerçekleştirdiğinde pozitif bir süreçtir [80-82].

Takım aşınması, kesici kenar üzerindeki yük faktörlerinin bir kombinasyonunun ürünüdür. Kesici kenar ömrü, takım geometrisini değiştirmeye çalışan çeşitli yüklerle belirlenir. Aşınma, takım-iş parçası-işleme şartları arasındaki karşılıklı etkileşimin bir sonucudur (Şekil 2.14) [82].



Şekil 2.14. Tipik aşınma bölgeleri [82].

A. Mekanik Yük Faktörleri: Mekanik yüklerin statik bileşenlerinden başka, talaş oluşumu sürecinin kendisinden oluşan çeşitli dinamik yükler de söz konusudur. Bunların en önemlileri değişen talaş derinliğinden, kesikli işlemeden kaynaklananlar ve frezelemede görülenlerdir.

B. Termal (ısı) Yük Faktörleri: Talaş kaldırma (metal işlenmesi) talaş yüzeyinde ve kesici ucun yan yüzeyinde (yanaklarda) çok miktarda ısı oluşmasına sebep olur. Termal yük önemli ölçüde takım malzemesi üzerindedir ve frezeleme de olduğu gibi bazı işlemlerde, kesici kenarlar iş parçasından ayrılırken ve tekrar girerken ortaya çıkan dinamik bir faktördür.

C. Kimyasal Yük Faktörleri: Talaş oluşumu-biçimlenmesi süreci, devamlı olarak yeni bir metal yüzeyi oluşturulması anlamı taşır ve talaş oluşumu sırasında takım malzemesi boyunca oldukça yüksek sıcaklıklar ve gerilmeler oluşur. Oluşan bölgeler

metallerin kimyasal reaksiyonları ve difüzyonu için oldukça uygun bir ortam hazırlar.

D. Aşındırıcı Yük Faktörleri: Pek çok iş parçası malzemesinin işlenmesi sırasında, sertlikleri takım malzemesi ile karşılaştırılabilecek kadar yüksek çeşitli tipte oldukça sert parçacıklar vardır. Daha sonra bunlar takım üzerinde taşlamadan daha çok aşındırma etkisi oluştururlar. Bu kalıntıları veya kabuk döküntüleri, parçacıkların miktarı malzeme miktarının çok büyük kısmını oluşturmasa bile işleme sırasında tüm işlenecek malzemenin kesici kenardan geçmesiyle hemen hemen değişen miktarlarda aşınmayaneden olur.

Kesici takım aşınmasına neden olan başlıca etkenleri şöylece sıralayabiliriz:

- Takım ve iş parçası malzemesi
- Kesme hızı,
- İlerleme miktarı,
- Takım ve oluşantalaş geometrisi,
- Talaş derinliği,
- Soğutma sıvısı [82]

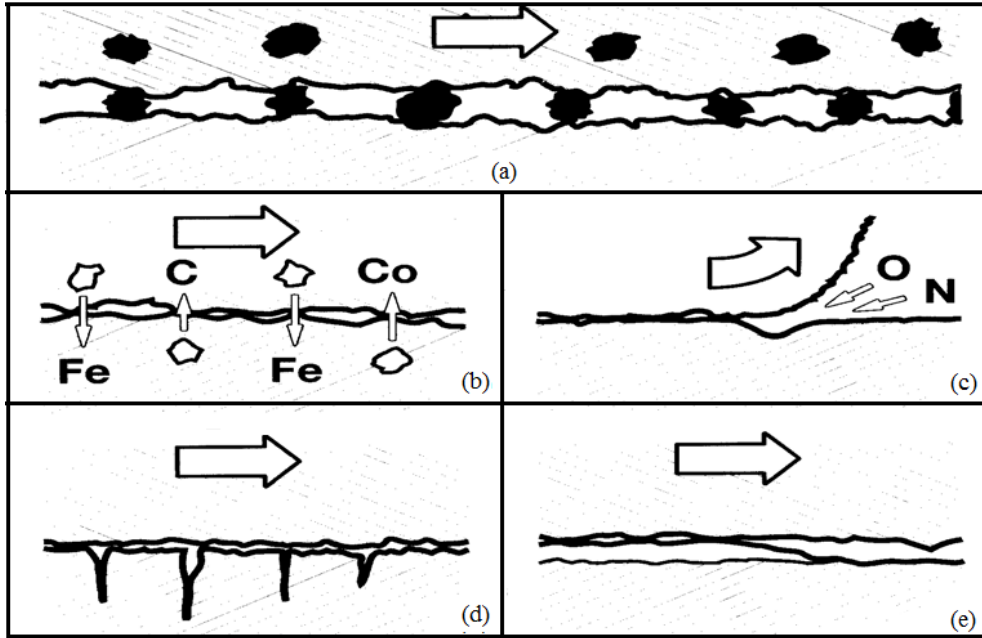
2.4.1. Aşınma Mekanizmaları

Takım aşınması kesici kenar üzerine etkiyen yük faktörlerinin bir sonucudur. Kesici kenarın ömrü birçok yüke bağlı olarak belirlenir. Aşınma takım, iş parçası malzemesi ve işleme koşullarının etkileşiminden kaynaklanan bir olaydır. Bu olayların sonucunda bazı temel aşınma mekanizmaları talaş kaldırma işlemine etki eder.

Bunlar:

- 1.Abrasyon (aşındırıcılarla) aşınma (abresiv aşınma),
- 2.Difüzyon aşınma,
- 3.Oksidasyon aşınma,
- 4.Yorulma ile aşınma (statik veya dinamik),
- 5.Yapışma (adhesyon) ile aşınma (adhesiv aşınma),

şeklinde özetlenebilir (Şekil 2.15). Takım malzemesinin yüklere karşı direnç kabiliyetinin talaşlı imalattaki aşınma mekanizmalarından nasıl etkileneceğini tayin eder [82].



Şekil 2.15. Metallerin işlenmesinde temel aşınma mekanizmaları, a) abresiv, b) difüzyon, c) oksidasyon, d) yorulma, e) yapışma (adhesyon) ile aşınma [82].

2.4.1.1. AbrasyonAşınma

Abrasyon aşınma (aşındırıcılarla aşınma – abresiv aşınma) çok yaygındır ve çoğunlukla (ama tamamen değil) iş parçası malzemesinin sert parçacıkları sebep olur. Sert parçacıklar iş parçası yüzeyi ile takım arasına geldiğinde taşlama işlemine benzer bir durum oluşur. Abrasiv aşınma, çoğu zaman takım ömrünü kontrol eden aşınma tipleri olan serbest yüzey aşınması, çentik aşınması ve burun yarıçapı aşınmasının kaynağıdır. Kesici uç üzerindeki mekanik yükler sonucunda kesici kenarın yan yüzeyinde aşınma meydana gelir.

Kesici kenarın abresiv aşınmaya karşı direnç kabiliyeti, önemli ölçüde kesici takım malzemesinin sertliğine bağlıdır. Abrasiv aşınma takım talaş yüzeyinde ise krater (çukur) oluşmasına neden olur[73, 80-82].

2.4.1.2. Difüzyon Aşınma (Atomik Yer Değiştirme)

Difüzyon aşınmasında, talaş kaldırma işlemi sırasında oluşan kimyasal yükler daha etkilidir. Takım malzemesinin kimyasal özellikleri ve takım malzemesinin iş parçası malzemesine olan birleşme eğilimi (benzeşme-yakınlık) difüzyon aşınma mekanizmasının oluşmasını belirler. Takım malzemesinin sertliği süreçte çok fazla etkili değildir. Malzemeler arasındaki metalürjik ilişki aşınma mekanizmasının büyüklüğünü tayin eder. Bazı takım malzemeleri bazı iş parçası malzemelerine karşı yüksek birleşme eğilimine sahipken bazıları iş parçası malzemelerinin çoğuna karşı asaldır (birleşme eğilimi yoktur).

Difüzyon aşınmasının hızı, takım malzemesinin iş parçası içinde çözülme kabiliyetine ve yüksek sıcaklıkta takım ile talaş arasındaki temas süresine bağlıdır. Difüzyon aşınması, takım malzemesinin daha az çözülme eğilimine sahip bir malzemeyle değiştirilmesiyle azaltılır [82-83].

2.4.1.3. Oksidasyon Aşınma

Bu aşınma mekanizması kesme işlemi esnasında daha çok kimyasal yükten etkilenir. Takım bileşiklerinin atmosferdeki oksijenle reaksiyona girmesiyle meydana gelir. Bu aşınma genellikle, takım üzerindeki sıcak bölgede takım-talaş temas bölgesi etrafında atmosferle temas eden yüzeylerde meydana gelir. Kesici takım malzemeleri oksidasyon sebebiyle aşınmaya maruz kalırlar. Özellikle kesici kenarla parçanın ara yüzeyinde, talaş derinliğinin bittiği yerde, oksitlenmemeydana gelir. Oksidasyon bu bölgede, kesici kenarda tipik çentiklerin oluşmasına sebep olur. Çentik bölgesinin yakınlarında takım malzemesinin rengindeki bozulmalar oksidasyonu ifade eder. Oksidasyon nedeniyle iş parçasının aşınması sonucunda, takımdaki abrasiv aşınmayı artıran sert oksit parçacıkları meydana gelir. Oksidasyon, alüminyum oksit bazlı seramik takımlarda oluşmaz [82, 84].

Pek çok malzeme için oksitlenme oldukça farklı olmakla beraber metal malzemelerin çoğu için yüksek sıcaklık ve havanın varlığı oksidasyon demektir. Tungsten ve kobaltta, talaş tarafından daha kolay kazanıp uzaklaştırılabilen gözenekli oksit filmi

şeklinde oluşur. Bununla beraber alüminyum oksit gibi bazı oksitler daha dayanıklı ve daha serttir. Bazı kesici takım malzemeleri oksidasyon sebebiyle aşınmaya diğerlerinden daha meyillidirler. Özellikle kenarla parçanın ara yüzeyinde, talaş derinliğinin bittiği yerde, hava talaş kaldırma sürecine katılır. Oksidasyon bu bölgede kesici kenarda tipik çentiklerin oluşmasına sebep olur. Ancak bu tür aşınma günümüzün işleme şartlarında nispeten yaygın olmayan bir durumdur [82].

2.4.1.4. Yorulma İle Aşınma

Yorulma aşınması, genellikle termo-mekanik bir süreçtir. Sıcaklık dalgalanmaları ve kesme kuvvetlerinin yüklenmesi ve düşmesi kesici takımda çatlaklara ve kırılmalara sebep olur. Kesintili kesmedendolayı sürekli ısınma ve soğuma ve aynı zamanda kesici kenarın çarpmalar darbelerle maruz kalmasından kaynaklanır. Bazı takım malzemeleri bu tür yorulmaya diğerlerinden daha duyarlıdır. Aynı zamanda, kesme kuvvetleri çok yüksek olduğunda yalnızca darbeler sonucu da ortaya çıkabilir. Mekanik yorulma sert veya işlenmesi zor (dayanım sınırı yüksek) malzemelerin oldukça yüksek ilerleme değerleri ile işlenmesinden veya takım malzemesinin yeterince sert olmamasından kaynaklanabilir. Bununla beraber bazı durumlarda plastik deformasyonun hakimiyeti de söz konusudur [82].

2.4.1.5. Adhezyon (Yapışma) Aşınma

Birbiri ile temas halinde çalışan iki metal parçanın birbirine bastırılması halinde yüzeyler yüksek noktalarda temas ederler. Bu durumda temas noktalarında çok yüksek basınçlar meydana gelir. Bu yüksek basınç nedeniyle metaller arasında temas bölgelerinde atomik bağlar oluşarak mikro kaynaklar meydana gelir. Temas yüzeyleri birbirine göre nispi hareket ederse atomik bağlar kopar ve mikro kaynaklar kırılır. Bu durumda takım ve iş parçası birbirlerinin yüzeylerinden (yumuşak olandan) çok küçük parçalar koparılır. Bu şekilde ortaya çıkan aşınma adhezyon aşınması olarak adlandırılır.

Takımın talaş yüzeyinde daha çok düşük işleme sıcaklıklarında oluşur. Bu mekanizma genellikle kesici kenar ile talaş arasında kenarda yığıntı talaş (BUE)

oluşmasına sebep olur. Yığıntı talaşın dinamik bir yapısı vardır. Birbirini takip eden katmanlar talaş yüzeyine kaynaklanarak sertleşir ve kesici kenarın bir parçası haline alır. BUE tabakası kopup uzaklaşır ve tekrar oluşmaya başlayabilir veya kesici kenardan küçük parçaların kırılıp uzaklaşmasına sebep olabilir. Belirli bir sıcaklık aralığı, takım ve iş parçası malzemesi arasındaki ilgi ve kesme kuvvetleri ile oluşan yüklerin kombinasyonu adhezyon aşınmasınaneden olur.

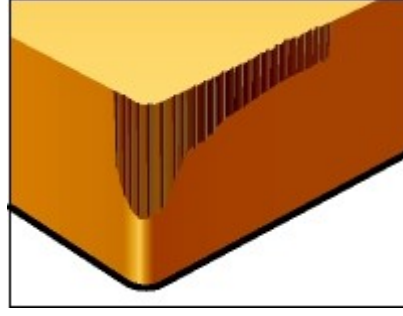
Talaş kaldırma işleminde, bu temel mekanizmalar birleşerek kesici kenarın geometri ve yapısını değiştirir. Çoğunlukla takım malzemesinin özelliklerine ve aşınma mekanizmalarına bağlı olarak kesici uçta farklı aşınma tipleri meydana gelmektedir. Bunlardan en başlıcaları; yan yüzey aşınması(yanak aşınması), krater aşınması ve çentik oluşumudur [73, 82].

2.4.2. Takım Aşınma Tipleri

Talaşlı imalat işlemlerinde işlenen malzeme, kesici takım ve işleme biçimine bağlı olarak çeşitli aşınmalar oluşur. Bu aşınmalarda çeşitli aşınma mekanizmaları etkindir. Kesici takımlarda sıklıkla görülen aşınma biçimleri yan yüzey aşınması, krater aşınması ve çentik aşınmasıdır.

2.4.2.1. Yan Yüzey (Yanak) Aşınması

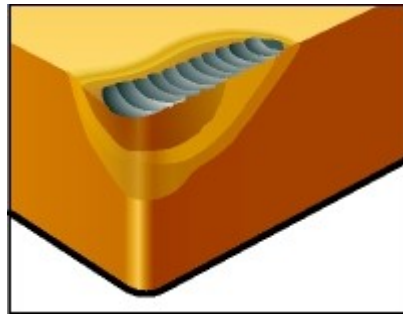
Kesici kenarın yan yüzeylerinde (yanaklarında) genellikle abrasiv aşınma mekanizmasından kaynaklanan bir aşınma tipidir (flank wear). Aşınmabandının genişliği aşınma miktarını belirlemede kullanılır. Takım mikroskopları kullanılarak aşınma miktarları tayin edilebilir. Bu tip aşınma (Şekil 2.16) genellikle karşılaşılabilecek normal bir aşınma tipidir ve genellikle düzenli artan bir yanak aşınması sağlamak en ideal durum olarak kabul edilir. Yan yüzey aşınma miktarı ISO 3685 standardına göre genellikle 0,3mm olduğunda takım ömrünü tamamladığı kabul edilir. Aşırı yanak aşınması sonucu, daha kötü yüzey dokusu ve ölçü ve toleranslardan sapma söz konusu olur ve kesici kenar şekil değiştirdiğinden sürtünme artar [82, 84].



Şekil 2.16. Kesici takımında oluşan yan yüzey (yanak) aşınması [85].

2.4.2.2. Krater Aşınması

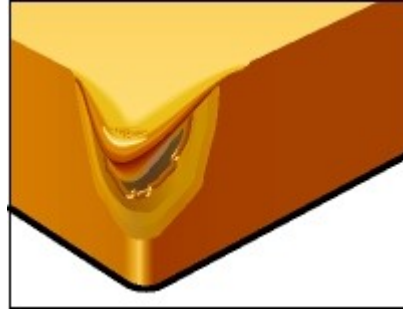
Krater aşınması (crater wear) veya çukur aşınma olarak da bilinen aşınma tipi, takım talaş yüzeyinde abrasiv ve difüzyon aşınma mekanizmaları sebebiyle oluşur. Krater (çukur), ya sert parçacıkların taşlama (aşındırma) etkisiyle yada takım ile talaş malzemesi arasındaki difüzyon etkisiyle, takım malzemesinin talaş yüzeyinden ayrılmasıyla oluşur. Sertlik, sıcak sertlik ve malzemeler (takım-iş) arasındaki minimum kimyasal yakınlık krater aşınması (Şekil 2.17) eğilimini de minimize eder. Aşırı krater aşınması, kesici kenar geometrisini değiştirir ve talaş oluşumunu ve biçimlenmesini bozabilir. Kesme kuvvetlerinin doğrultularını (yönlerini) değiştirir ve aynı zamanda kesici kenarı zayıflatır [82].



Şekil 2.17. Kesici takımında oluşan krater aşınması [85].

2.4.2.3. Plastik Deformasyon

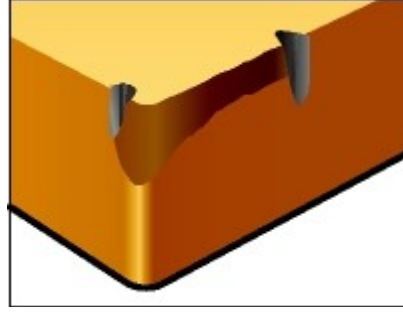
Plastik deformasyon, kesici kenar üzerindeki yüksek basınç ve yüksek sıcaklık kombinasyonunun bir sonucu olarak ortaya çıkar. Yüksek hızlar ve yüksek ilerlemeler, sert iş parçası malzemesi yüksek sıcaklık ve basınç anlamı taşır. Takım malzemesinin bunlara karşı koyabilmesi ve plastik olarak şekil değiştirmemesi için yüksek sıcaklık sertliği kritiktir. Kesici kenarda bir şekil değişikliğinin oluşması daha yüksek sıcaklıkların oluşmasına, talaş akışının değişmesine sebep olur ve kritik bir noktaya ulaşıncaya kadar etkisi devam eder. Kenar yuvarlatmanın (uç radyüsü) boyutu ve takım geometrisi (kesme geometrisi) bu tip aşınmanın (Şekil 2.18) engellenmesinde önemli rol oynar [82].



Şekil 2.18. Kesici takımında oluşan plastik deformasyon [85].

2.4.2.3. Çentik Aşınması

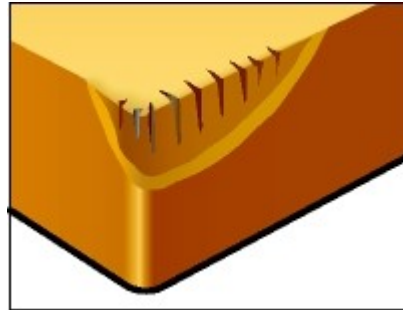
İş parçasının işlenmemiş yüzeyinin kesici kenarla temasta olduğu kısımda çentik aşınması gerçekleşir. Çentik aşınması Şekil 2.19'da görüldüğü gibi yan yüzey aşınmasından daha büyüktür. Çentik aşınmasının yan yüzey aşınmasından fazla olmasının nedenlerinden bir tanesi iş parçası yüzey katmanının daha sert olmasıdır. Ayrıca, çentik aşınmasında oksidasyon da etkin bir mekanizmadır. Aşırı çentik aşınması, bitirme talaşında yüzey dokusunu (yüzey pürüzlülüğünü) etkiler ve özellikle kesici kenarın dayanımını zayıflatır [80, 82].



Şekil 2.19. Kesici takımında oluşan çentik aşınması [85].

2.4.2.4. Termal (Isıl) Çatlaklar

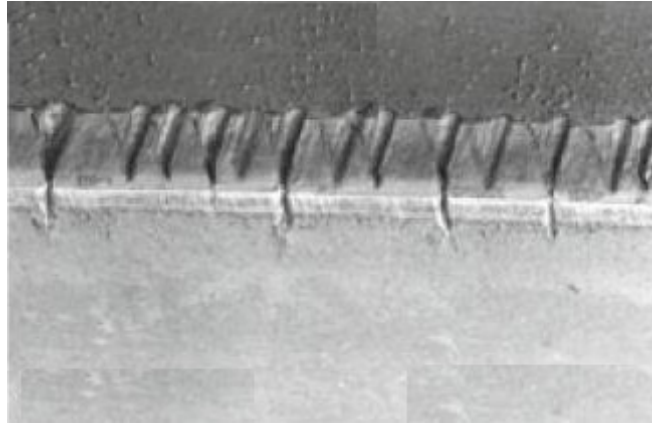
Termal çatlaklar, çoğunlukla termal çevrimlerden (sürekli olarak sıcaklığın artıp azalmasından) kaynaklanan yorulma aşınmasıdır (Şekil 2.20). Özellikle, frezelemede oluşan sıcaklık değişimleri bu tip aşınmanın oluşmasına sebep olur. Termal çatlaklar kesici kenar dik olarak ortaya çıkar ve bu çatlaklar arasındaki takım malzemesi kesici kenardan koparak ayrılabilir. Takım malzemesi parçacıklarının kenardan kendiliğinden ayrılması, takımın kırılma ihtimalini hızlandırır ve kesici kenar bozulmasına sebep olur. Aynı zamanda değişen talaş karınlığı da talaş kaldırma sırasında sıcaklık değişimlerini etkiler. Bu tip problemlerde soğutma sıvısı uygulaması, metallere talaş kaldırma işlemlerinde, genellikle zararlı olabilir. Çünkü soğutma sıvısı, talaş kaldırma sırasındaki (kesici, parça içinde) ve talaştan çıktıktan sonraki (kesici, parçayı terk ettikten sonra) sıcaklık farklarını daha da artırır [82].



Şekil 2.20. Kesici takımında oluşan termal çatlaklar [85].

2.4.2.5. Mekanik Yorulma Çatlakları

Mekanik yorulma çatlakları (Şekil 2.21), kesme kuvveti darbeleri aşırı olduğunda oluşur. Kuvvet kendi kendine kırılmaya sebep olmayacak büyüklükte olmakla beraber, yükteki sürekli değişim sonucu oluşan kırılmalardır. Kesmenin başlangıcında ve kesme kuvvetindeki değişimlerde bu çatlaklar büyüyebilir ve yönü kesici ucun dayanımı ve tokluğu için çok büyük olabilir. Bu tip çatlaklar, termal çatlaklardan farklı olarak, genellikle kesici kenara paraleldir [82].

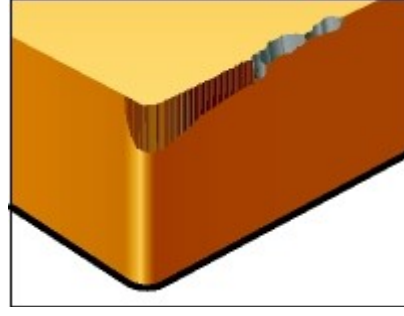


Şekil 2.21. Kesici takımında oluşan mekanik yorulma çatlakları [85].

2.4.2.6. Çıtlama (Çentiklenme)

Kesici kenarda meydana gelen çentikler, aşınmadan ziyade kesici kenar hattındaki küçük boyutlu kırılmalardır (Şekil 2.22). Yükleme ve yükün kaldırılmasından kaynaklanan bu yorulma kesici takım malzemesinden küçük parçacıkların takım yüzeyinden ayrılmasına sebep olur. Çoğunlukla, kesikli (darbeli) çalışma bu tip aşınmaya sebep olur.

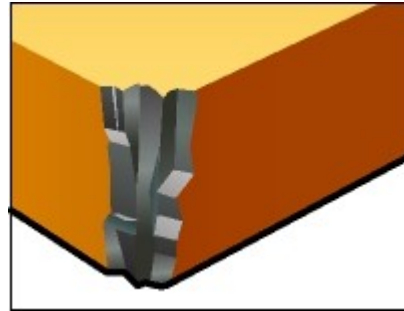
Kenardaki aşınmanın, çentiklenmeye mi yoksa yanak aşınmasına mı karşılık geldiği çok dikkatli incelenmelidir. Çentiklenme veya parçacık kopmaları (parçalanma) bu tip kenar kırılmalarının çeşitlerindedir [82].



Şekil 2.22. Kesici takımında gerçekleşen çıtlama [85].

2.3.2.7. Kırılma

Kırılma (Şekil 2.23), 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 hazırlayacak. 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 [82].

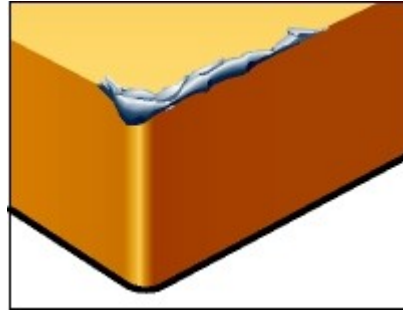


Şekil 2.23. Kesici takımında oluşan kırılma [85].

2.3.2.8. Kesici Kenarda Yığılma (BUE)

Kesici kenarda yığıntı talaş (BUE) oluşması (Şekil 2.24), genellikle yüksek sıcaklık ve onunla ilişkili bir durum olan kesme hızının etkisindedir. BUE kesici kenar

geometrisinde negatif (olumsuz) bir değişikliğe sebep olur ve aynı zamanda takım malzemesi BUE biçimindeki kaynaklanmış malzemeyle birlikte kopup uzaklaşabilir. Kesici takım malzemesi ile iş parçası malzemesinin birbirlerine karşı ilgileri de BUE oluşumunda önemli rol oynar. Düşük sıcaklık ve yüksek basınçlar, iş malzemesinin talaştan takımın talaş yüzeyine basınç kaynağı yapmasına (adhezyon) sebep olur [82].



Şekil 2.24. Kesici kenarda oluşan BUE [85].

2.5. KALINTI GERİLMELER

Yüzey bütünlüğü işlenen yüzeyin kalitesinin bir ölçüsüdür ve yüzey ile yüzey altının gerçek yapısını tanımlayan bir eleman olarak yorumlanır. Yüzey bütünlüğü; yüzey pürüzlülüğünün ifadesi olan yüzey dokusu (yüzey bitirme, boyutsal ve biçim tamlığı gibi), işleme sonucu oluşmuş yüzey katmanlarının metalürjik yapısı (mikro sertlik, mikro yapısal değişiklikler), yüzey ve yüzey altı bölgelerinde oluşmuş kalıntı gerilmelerden oluşur.

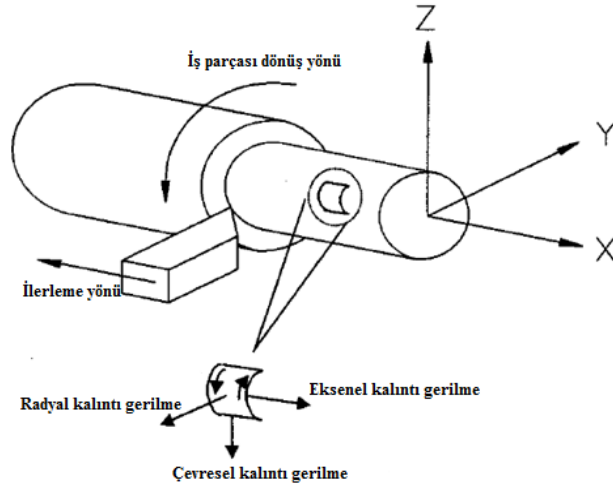
Kalıntı gerilmeler, dış kuvvetlerden bağımsız olarak bir cisimde meydana gelen gerilmeler sistemidir. Bir başka ifadeyle kalıntı gerilmeler, dış kuvvete bağı olmayan ve bir parçada “hapsedilmiş” gerilmeler şeklinde düşünülebilir. Yüzeyde oluşan kalıntı gerilmelerin oluşma nedenleri yüksek basınç, sıcaklık, faz dönüşümleri, ana malzeme ile yüzey tabakasının farklı mekanik özellikleri, kesit alanında eşit olmayan plastik deformasyon ve bu faktörlerin oluşturduğu özelliklerdir. Homojen olmayan plastik deformasyonlar, ısıl işlemler ve çeşitli yüzey işlemleri kalıntı gerilme dengesinde ve dağılımında değişikliğe yol açabilirler [86, 87].

Kalıntı gerilmeler; makro, mikro ve sub-mikroskopik kalıntı gerilmeler şeklinde oluşmaktadır. Makro kalıntı gerilmeler, plastik deformasyondan ileri gelir ve geniş bir alanı etkilerler. Mikro gerilmeler, mikroyapıdaki homojensizlikler nedeniyle (örneğin faz dönüşüm süreçleri) meydana gelir, özellikle tanelerde etkili olurlar ve genellikle rastgele dağılmışlardır. Mikro kalıntı gerilmeler makro gerilmeler içerisinde yer alır. Sub-mikroskopik kalıntı gerilmeler ise kristal kafesi oluşturan atomlar arasında meydana gelir [88].

Parçalardaki kalıntı gerilmeler basma (-) ve çekme (+) tiplerinde olabilir. Bunların değeri, parça hacminde yayılmaları imal usulleri ve imalat parametreleri ile ilgilidir. Parçaların üretiminde kullanılan imal usullerinde kalıntı gerilmeler parça hacminin bir kısmını ya da tamamını kaplamış olabilir ve parça içerisinde muhtelif alanlarda çeşitli değerler işaretler kazanmış olabilirler [86-88].

Kalıntı gerilmeler daima homojen olmayan plastik deformasyonun veya hacim değişiklikleri ile birlikte faz dönüşümlerinin bir sonucudur. İşleme esnasında iş parçası üzerine etkileyen kuvvetler plastik deformasyona neden olur [86, 87]. Talaşlı imalat işlemlerinde ısının etkisi ile çekme tipinde kalıntı gerilme oluşurken mekanik etkiler sonucu da basma tipinde kalıntı gerilme oluşur.

Basma kalıntı gerilmeleri periyodik yükleme altında çalışan parçaların yorulma ömrünü, korozyon yorulmasına karşı dayanımını ve birbiri ile çalışan parçalarda aşınma direncini arttırmaktadır. Ayrıca basma gerilmeleri, malzemelerin mekanik özellikleri üzerinde pozitif bir etki yaparak çatlak ve kırılma oluşumunu azaltmaktadır. Çekme kalıntı gerilmeleri ise çatlak oluşumuna ve gelişimine yardımcı olduğundan zararlıdır. Ayrıca çekme kalıntı gerilmeleri, gerilmeli korozyon çatlaklarının oluşumuna zemin hazırlar. Bu nedenle, parçanın kalıntı gerilme durumunun bilinmesi arıza nedenlerinin anlaşılması açısından önemlidir [87-89]. İş parçası yüzeyinde oluşan kalıntı gerilme bileşenleri ve yönleri Şekil 2.25'te gösterilmiştir.



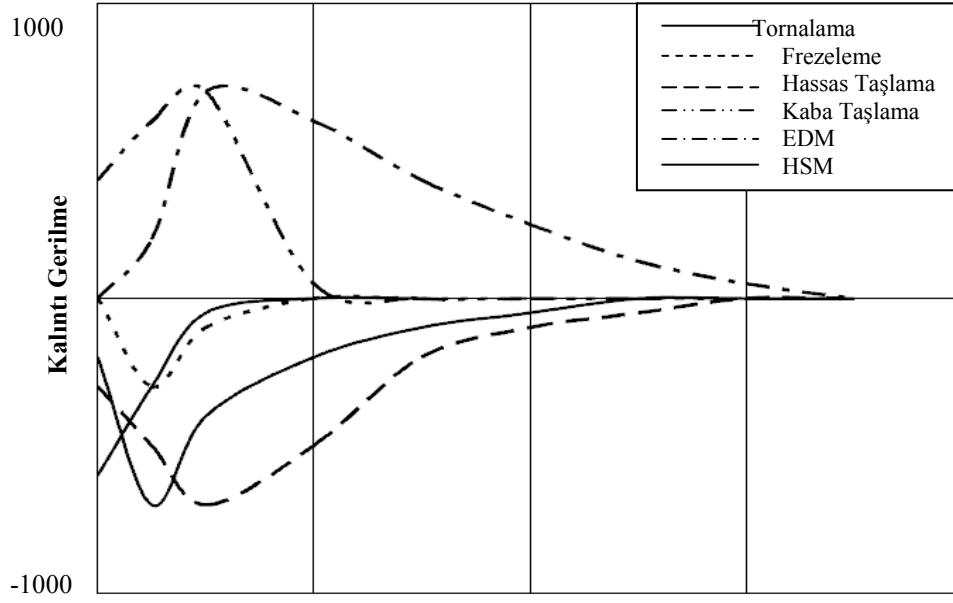
Şekil 2.25. Yüzeyde oluşan kalıntı gerilme bileşenleri ve yönleri [87].

İlerleme artışı genellikle aksenal gerilmelerin daha fazla çekme (daha az basma) tipinde olmasına neden olur. Radyal doğrultulardaki gerilmeler diğer gerilme bileşenlerinden genellikle küçük olmaktadır. Bu nedenle, bütün deneysel çalışmalarda radyal yöndeki kalıntı gerilmeler dikkate alınmaz.

Gerçekte kritik parçalarda istenen kalıntı gerilmeleri oluşturmak için birkaç yöntem kullanılır. Bu yöntemler; sertleştirme, bilyeli dövme, süperfiniş ve yüzey ovalamadır. Yorulma çatlaklarının başlamasına ve yayılmasına karşı direnci arttıran, iyileştirilmiş yorulma özellikleri sağlayan mekanik yüzey işlemleri (derin haddeleme, lazer şokları ile dövme, püskürtmeli dövme, fırçalama gibi), metalik yüzeyler için birçok faydalı etki sağlamaktadır [87, 88].

Sertleştirilmiş parçaların farklı işleme yöntemleri ile işlenmesinde oluşan kalıntı gerilmeler Şekil 2.26'da gösterilmiştir. Kalıntı gerilmelerin yoğunluğunu ve derinliğini ölçme yönü, kesme parametreleri, kesici takım malzemesi ve geometrisi, takım aşınması, iş parçası malzemesinin sertliği ve kimyasal bileşimi gibi değişkenler etkiler. Sonuç olarak basma ve çekme kalıntı gerilmeler oluşur. Şekil 2.26'da görüldüğü gibi kalıntı gerilmelerin işlenen yüzeyden aynı uzaklıkta benzer tepe noktaları oluşmaktadır. İşlenen yüzeyde en fazla basma kalıntı gerilmesinin yüksek hızda işlemede (HSM) olduğu görülmüştür. Elektro erozyon ile işleme (EDM) ile kaba taşlama ile işlemede çekme tipinde kalıntı gerilme oluşmuştur. Bu

işleme yöntemleri ile talaş kaldırmak için daha fazla enerji gerekmekte bu nedenle daha fazla ısı oluşmaktadır. Düşük miktardaki talaşlar ısının iş parçasından taşınmasını engellemekte ve yüzeyde ısının artmasına neden olmaktadır. Tornalama işlemlerinde talaş kesme bölgesinden ısının taşınmasına yardımcı olur [87].



Şekil 2.26. İşlenmiş yüzeyin altındaki derinlik [87].

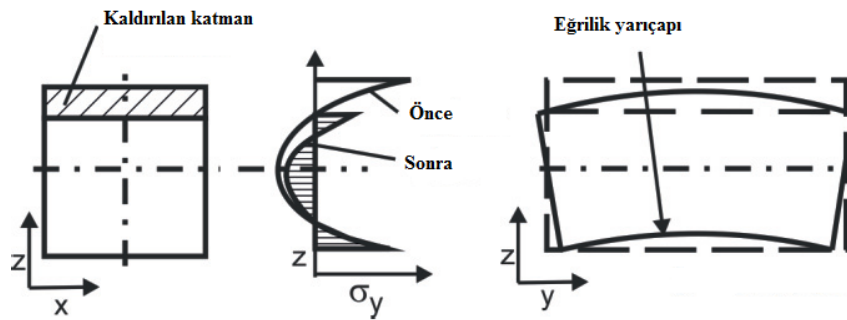
2.5.1. Kalıntı Gerilme Ölçme Metotları

Kalıntı gerilmeler, yorulma ve çatlak oluşumunda önemli olduğundan kalıntı gerilmelerin ölçülmesi önemlidir. Kalıntı gerilmelerin ölçülmesinde genel olarak üç farklı metot kullanılmaktadır. Birinci metot bileşenlerden kesit alma ya da bileşenlerden malzeme kaldırmayı gerektiren mekanik, tahribatlı ya da yarı tahribatlı metotları içerir. Bu uygulamalarda parçanın gerilme dengesi mekanik yöntemlerle bozularak, kalıntı gerilmelerin oluşturduğu deformasyonlar ölçülerek, bunlara neden olan gerilmeler tespit edilir. İkinci metot tahribatsız olan X-ışını kırınımı metodudur. X-ışını metodu sadece birkaç mikron derinlikteki kalıntı gerilmeleri ölçmektedir. Üçüncü metot ise, gerilmeli ve gerilmemiş durumlarda farklı değerlere sahip fiziksel özellikleri gösteren bir malzemede ölçümlerin gerçekleştirildiği tahribatsız metotları içerir. Bu üçüncü grupta ultrasonik ve manyetik özellikler esasına dayalı alt bölümler yer almaktadır [87-90].

2.5.1.1. Mekanik Metotlar

Katman kaldırma metodu: Katman kaldırma tekniği, bir numuneden malzemenin art arda katman şeklinde kaldırılmasını ve katmaların kaldırılmasından sonra numunede oluşan gerilmelerin ölçülmesi esasına dayanır (Şekil 2.27). Katman kaldırma tekniği genellikle katmanlar ve kaplamalar içerisindeki gerilmeleri belirlemek için kullanılır. Numune yüzeyinden malzeme kaldırılması kimyasal aşındırma ya da frezeleme ile yapılır.

Kalıntı gerilmeleri içeren düz bir levhanın bir yüzeyinden ardı ardına tabakalar kaldırıldığı zaman gerilmeler dengesiz hale gelir ve levha eğilir. Levhanın eğriligi kaldırılan tabakadakiorijinal gerilme dağılımına ve levhanın elastik özelliklerine bağlıdır. Tabaka kaldırıldıktan sonra bir dizi eğrilik ölçümleri yapılarak levhadaki gerilme dağılımı ortaya çıkarılabilir. Deformasyon sonucu, numunede oluşan eğrilik optik mikroskop, lazer tarama, gerginlik ölçme, profilometre, gerinim ölçer, X ışınımı kırınımı (XRD) gibi ölçme araçlarının çözünürlük ve aralığına bağlı olmak üzere çeşitli yöntemler kullanılarak ölçülebilir. Elde edilen deformasyon değerleri $0,1 \text{ mm}^{-1}$ civarının altındadır. Yöntem, numune yüzeyine paralel olan bir tabakadaki kalıntı gerilmelerin önemli olarak değişmediği varsayılabilen silindirik ve düz levhalara uygulanabilir ve buyöntemle sadece numune eksenine paralel temel gerilme bileşenleri hesaplanabilir [87-93].

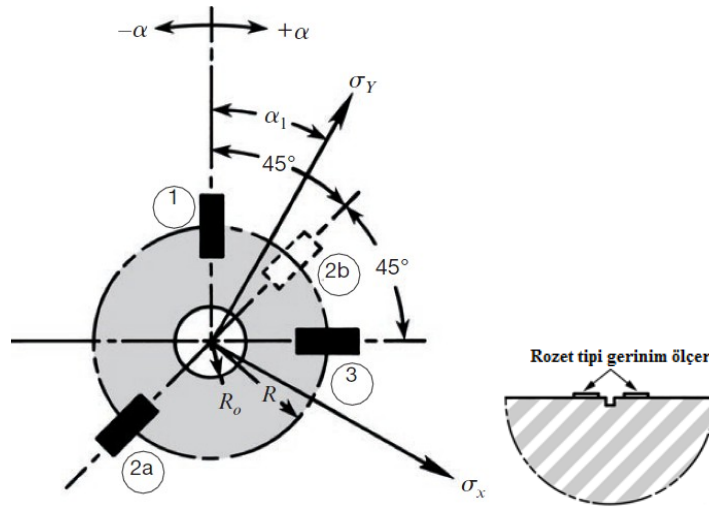


Şekil 2.27. Katman kaldırma teorisi [91].

Delik delme metodu: Kalıntı gerilmeyi ölçmek için kullanılan en yaygın yöntemlerden biridir. Yarı tahribatlı kalıntı gerilme ölçme tekniği olarak da

adlandırılır. Bu yöntem ile yüzeye yakın kalıntı gerilmeler oldukça hassas bir şekilde ölçülebilir. Ölçüm hassasiyeti delme derinliğine bağlı olarak değişir. Artan delme derinliği ile ölçüm hassasiyeti azalır. Delme derinliği yaklaşık olarak gerinim ölçer dairesi çapının yarısını geçmemelidir. Kalıntı gerilme ölçmede kullanılan bu metot, numuneye delinen bir deliğin etrafındaki gerinimlerin ya rozet tipi gerinim ölçer, moire interferometresi, laser interferometresi ya da holografik yöntemler kullanılarak ölçülmesidir. Delik delme metodunda genellikle rozet tipi gerinim ölçerler kullanılmaktadır. Bu metot çok daha az hasara neden olduğundan, hassas, ucuz ve uygulanabilirliği kolay olduğundan birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır [94].

Üç gerinim ölçere sahip rozetle sadece gerilme alanının iki düzlem bileşenini ölçmek mümkündür. Gerinim ölçerler rozetteki delikten sınıra belirli bir mesafede yerleştirilir. Şekil 2.28'deki gibi gerinim ölçerler delinecek deliğin merkezi etrafında çevresel olarak 0° , 90° ve 225° 'lik açılarla değişmeyecek şekilde yerleştirilir ve rozetin merkezinden eşit aralıklarla çıkarılan bu açı uzantıları deliğin merkezi ile çalışacak şekildedir.



Şekil2.28. Rozet gerinim ölçerlerin yerleştirilmesi [94].

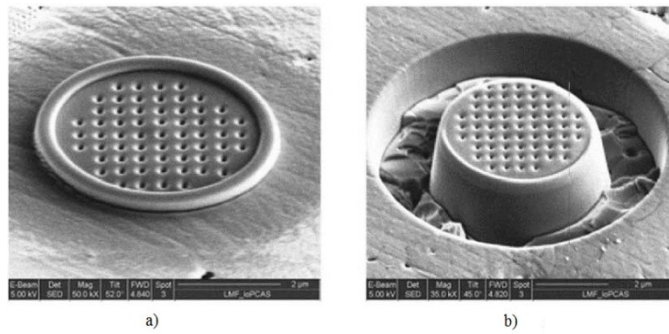
Delik delme metodu ile kalıntı gerilme ölçme altı temel adımdan oluşur:

- Malzemede, kalıntı gerilmelerin ölçüleceği noktaya rozet gerinim ölçer yapıştırılır,

- Gerinim ölçerler kablolarla bir gerinim göstergesine bağlanır, Yüksek hızlı bir delici hassas bir şekilde rozetin delik merkezine yerleştirilir,
- Gerinim ölçerlerin algıladığı gerinim değerleri sıfırlanır ve rozet gerinim ölçer üzerindeki delme işlemi gerçekleştirilir,
- Delme işlemi ile birlikte adım adım gerinimler daire merkezinden okunur,
- Çeşitli analitik işlemler veya paket programlar yardımıyla, belirlenen gerinimlerden çevresel ve eksenel gerilmeler ile çevresel gerilmelerin oluştuğu açı bulunur [94].

Halka çekirdek metodu: Halka çekirdek yöntemi ilk olarak 1951 yılında Milbradt tarafından uygulanmıştır. Malzemeyi çevreleyen halka şeklinde bir kanalın kesilmesinde merkezi bir bölgede oluşan deformasyonun ölçülmesini kapsar (Şekil 2.29). Halka çekirdek yöntemi; delik delme ve çatlak uyma metoduna benzer, bu metot düzlemsel gerilmelerin değerlendirilmesinde ve buna ek olarak derin deliklerin üç boyutlu kalıntı gerilme ölçümlerinde kullanılır.

Daha geniş yüzeylerin kalıntı gerilmelerinin bu metotla ölçülmesi önemli bir avantaj sağlar. Ancak numuneler üzerinde çok daha fazla hasara neden olduğundan pratikte kullanılması zordur bu nedenle çok sık kullanılmaz. Son zamanlarda, halka çekirdek yöntemi yüksek gerilme salım hızı ve ölçüm doğruluğu için önemli olan, büyük buhar türbini rotorlarının kalıntı gerilme ölçümlerinde uygulanmaktadır [90].



Şekil 2.29. Halka yöntemi uygulanmış numunenin SEM görüntüsü a) frezeleme öncesi, b) frezeleme sonrası [90].

Çatlak uyma metodu: Çatlak uyma metodu gerinim ölçme interferometresi kullanılarak çatlakın çevresindeki gerilme gevşemesini gözlemlemek için küçük bir

yarık açılmasını içerir. Yarıklar ince bir testere, freze çakısı ve elektro erozyonda ince bir tel kullanılarak oluşturulabilir. Yarık derinliğinin gittikçe artırılmasıyla, nispeten basit gerimle dağılımları için derinliğin fonksiyonu olarak çatlağa dik gerilme alanına karar vermek mümkündür. Bu nedenle yüzeye yakın ve daha derin kalıntı gerilmeler bu yöntemle ölçülebilir [87, 89, 90].

2.5.1.2. X-Ray ve Nötron Işını Metotları

X-Işını Kırınımı: X-ışınıkırınımı en çok kullanılan tahribatsız yöntemlerden bir tanesi olup, malzemenin yüzeyindeki kalıntı gerilmenin mikron seviyesinde belirlenmesinde kullanılır. Dalga boyutları $\lambda \approx 0,1-0,2$ nm seviyesinde olan X-ışınları malzemenin çok ince bir yüzey katmanına nüfuz ederek yüzeyindeki uzamaları ölçer. Bu uzamalar değişik tahminler kullanılarak gerilmeler biçimine dönüştürülür.

Dalga boyunun doğru bilinmesi ve Bragg açısının değişmesiyle kalıntı gerilmeler doğru olarak hesaplanabilir. X ışını kırınımı, kristallimalzemelerde kristalografik düzlemler arasındaki mesafesinin ölçülmesi esasına dayanmaktadır. Numunelerin yüzeyine nüfuz etmesi için yüksek enerjili X ışınları gönderilir. Numunenin yüzeyine gönderilen X-ışını, Brag Kanunu'na göre kırınım göstererek yansıma yapar. Dalga boyu sabit tutulursa, herhangi belirli düzlem üzerindeki atomlar gelen X-ışınlarının belirli bir açıda kırılmasına neden olur. Yansıyan X-ışınları huzmesi kesişir ve numune çevresinde bulunan film üzerinde iz bırakır. Sadece düzlemler arası mesafeleri Bragg kanununu sağlayan düzlemlerde, radyasyon konisi filmi keser. Film analiz edilerek 2θ açısı hesaplandığında düzlemler arası mesafe belirlenebilir. Numune ψ açısı kadar eğilirse, atomik düzlemler de ψ açısı kadar eğilecektir. Eğer numunede artık gerilme yoksa kırılan eğrilerin ikisi de üst üste gelecektir. Ancak eğer artık gerilme varsa farklı yönlerdeki atomik düzlemler sıkışacak veya genişleyecek ve pik değeri değişecektir.

X ışını kırınımında $\text{Sin}^2 \Psi$ tekniği yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu teknikle açılı yüzeyler kolaylıkla ölçülebilmektedir. X ışını kırınımı metodu ile yüzeyden yaklaşık $5\mu\text{m}$ derinliğe kadar ölçüm yapılmaktadır.

Kuvvetli X-Işınları (Synchotron): Synchotron (veya kuvvetli) X-ışınları geleneksel X-ışınlarından çok daha fazla derine etki edebilme özelliğine sahiptir. Alüminyumda 50 mm derinliğe kadar etki edebilmektedirler. X ışınları metoduna göre 1-10 µm dar ışınlar gönderilmektedir. Ölçümler geleneksel X-ışını yönteminden daha hızlı yapılabilen ve üç boyutlu uzaysal çözümlere imkan sağlamaktadır.

Elektron Kırınımı: Bu metot, hızlı bir biçimde 10 nm gibi çok yüksek uzaysal çözünürlük çapına odaklanabilen elektron ışınlarının kullanılmasını gerektirir. Işın elektron kırınım tekniği, genel olarak en büyük gerinim çözünürlüğünü elde etmek için kullanılır. Sadece 100 µm'den ince numuneler için uygulanabilir, bu da yüzey gevşeme etkilerine hassas sonuçları gösterir ve gerinim değerleri kalınlık boyunca bir bütünü ifade eder. [87-90, 95].

Nötron Kırınımı: Nötron ışını kırınımı yöntemi, X-ışını kırınımı gibi malzemenin kristal yapısındaki atomik düzlemler arasındaki mesafeyi ölçerek kalıntı gerilimlerin hesaplanmasını sağlar. Fakat bu yöntemde malzemeye X-ışınları yerine daha yüksek enerjili nötronlar gönderilir. Bunun sonucunda malzemenin daha derin noktalarından ölçümler alınabilir. Ölçüm derinliği alüminyum için 250 mm 'ye çelik için ise 37 mm 'ye kadar ulaşabilir. Bu yöntem, sadece laboratuvar ortamında gerçekleştirilebilmektedir ve kullanılan cihazlar oldukça pahalıdır. Bu nedenle genellikle araştırma geliştirme çalışmalarında kullanılmaktadır [87-90, 95].

2.5.1.3. Dalga Metotları

Manyetik Barkhausen Gürültüsü Yöntemi: Barkhausen gürültüsü, ferromanyetik malzemeler içinde yer alan manyetik dipollerin hareket etmesi veya yönlenmesi sonucunda ortaya çıkan ses sinyalleridir. Ferromanyetik bir malzemenin mıknatıslanma sırasında oluşturduğu manyetik gürültüyü analiz ederek bir ölçüm yapar. Ölçüm derinliği 10 mm 'ye kadar ulaşabilir. Malzeme geometrisine göre özel olarak hazırlanabilen problar aracılığı ile malzeme mıknatıslanırken aynı anda malzeme üzerinden ölçüm alınır. Barkhausen yöntemi ile kalıntı gerilimlerin yanı sıra ısıtılma işlemlerden sonra veya kaynaklı imalat sonucunda oluşan mikro yapı değişiklikleri de bulunabilir. Barkhausen gürültüsü yöntemi tahribatsız bir muayene

yöntemidir. Kolay kullanımı, hızlı sonuç verebilmesi ve taşınabilir olması nedeni ile günümüzde önemi daha da artmıştır. Bilinen diğer tahribatsız kalıntı gerilim ölçüm yöntemleriyle kıyaslandığında doğru sonuçlar verdiği görülmüştür [87-90, 95].

Ultrasonik Yöntem: Ultrasonik yöntemler, bir katı boyunca hareket eden ses ötesi (ultrason) dalga hızlarının katı içerisindeki mevcut gerilme seviyelerine duyarlılığından faydalanmaktadırlar. Parçadaki mevcut kalıntı gerilmelerin doğrultuları ve büyüklükleri malzemedeki ses ötesi dalga hızlarının değişimine doğrudan etki etmektedir. Ultrasonik yöntem kullanılarak makro kalıntı gerilimler malzemenin derinliğinden bağımsız olarak bulunabilir. Ayrıca mikroyapı değişikliklerinin olduğu bölgelerde de ses hızları değiştiğinden bu bölgelerde de bu farklılıkların ölçülmesi oldukça zorlaşmaktadır. Bu zorlukların dışında ultrasonik yöntem oldukça hızlı, kolay ve ucuz bir tahribatsız kalıntı gerilim ölçme yöntemidir. Bu nedenle ultrasonik yöntemle kalıntı gerilim ölçme üzerine çalışmalar sürdürülmektedir.

Piezospektroskopik (Raman) Etki Yöntemi: Raman ölçüm yöntemi malzeme üzerine gönderilen lazer ışınlarının malzeme ile etkileşimini ölçerek kalıntı gerilimlerin bulunması sağlar. Raman spektrumu bir numunenin fiziksel durumu ve kimyasal yapısı hakkında çok önemli bilgileri ortaya çıkarmadaki dağınık ışığın analizi olarak bilinir. Spektral boşluklar kolayca oluşabilir ve hassas bir şekilde ölçülebilir olduğundan faydalı bir metottur [87-90, 95].

2.6. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.6.1. Literatür Araştırmasına Giriş

AISI 52100 rulman çeliği endüstride yaygın bir şekilde muhtelif parçaların imalatında kullanılmaktadır. Yüksek dayanım özelliklerine sahip bu malzeme geleneksel olarak tavllanmış durumda işlenmekte ve daha sonra sertleştirilmektedir. Nihai geometrisine ise taşlama işlemine tabi tutularak getirilmektedir. Son yıllardaki kesici takım ve tezgah teknolojisindeki gelişmeler rulman çeliklerinin sertleştirilmiş durumdayken işlenmesi kolaylaştırmıştır. Bu teknolojik gelişmeler birçok

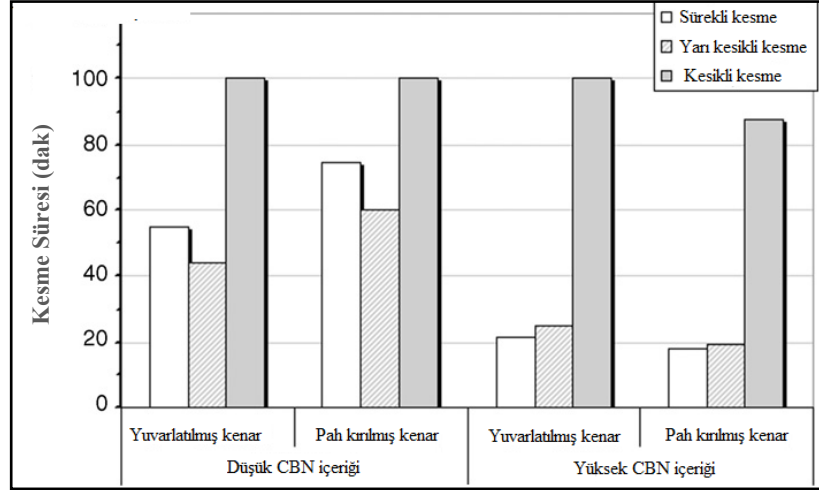
araştırmacının ilgisini çekmiş ve sertleştirilmiş rulman çeliklerinin işlenebilirliği üzerine birçok çalışma yapılmış ve halen de yapılmaya devam etmektedir.

Sertleştirilmiş çeliklerin işlenmesinde tornalama, frezeleme, delme gibi imalat yöntemleri kullanılmaktadır. Sertleştirilmiş çeliklerin işlenmesinde tornalama en yaygın olan yöntemlerden biridir. Sert tornalama işlemlerinde genellikle seramik ve CBN kesici takımlar kullanılmaktadır. Seramik ve CBN kesici takımlarla sertleştirilmiş çeliklerin işlenmesinde bir takım problemler hala devam etmektedir. Yüksek iş parçası sertliğinden dolayı hızlı takım aşınması, takım aşınmasının neden olduğu iş parçası boyutlarındaki değişim, yüksek kesme kuvvetlerinin neden olduğu ısıl etkiler ve yüksek yüzey pürüzlülük değerleri bu problemlerden bazılarıdır. Bu problemleri asgariye indirmek için işlenecek malzemeye uygun kesicitalıkalitesinin seçilmesi ve uygun işleme koşullarının oluşturulması gerekmektedir. Bu amaçla literatürde, sertleştirilmiş çeliklerin tornalanmasında kesici takım geometrisi ve malzemeleri, kesme parametreleri, takım aşınması, yüzey bütünlüğu, kesme kuvvetleri üzerine birçok deneysel, teorik ve analitik çalışma yapılmıştır.

Bu bölümde sertleştirilmiş malzemelerin işlenmesi üzerine yapılmış referans niteliğindeki çalışmaların daha iyi anlaşılabilmesi için bu çalışmalar deneysel ve teorik çalışmalar olmak üzere iki başlık altında incelenmiştir.

2.6.2. Deneysel Çalışmalar

Diniz ve Oliveira, 56 HRC sertliğinde AISI 4340 çeliğinin sert tornalanmasında CBN kalitesi, uç geometrisi ve işleme yönteminin takım aşınması ve takım ömrü üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Yapılan çalışmada, düşük ve yüksek CBN içerikli kesici takım malzemeleri, pah kırılmış ve yuvarlatılmış uç geometrileri ile üç farklı işleme yöntemi; sürekli, yarı kesikli ve kesikli kullanmışlardır. Sonuç olarak, en uzun takım ömrü düşük CBN içerikli takımla elde edilmiştir. Sürekli kesme işleminde en uzun takım ömrü pah kırılmış takım ile elde edilirken, kesikli kesme işleminde en iyi sonuçlar ucu yuvarlatılmış takım ile elde edilmiştir (Şekil 2.30) [96].



Şekil 2.30. Kesici kenar durumunun takım ömrüne etkisi [96].

Yallese vd. sertleştirilmiş ve temperlenmiş AISI 52100 malzemenin CBN kesici takımla tornalanması esnasında CBN takımın aşınmadavranışını belirlemek için çalışma yapmışlardır. İlk olarak kesme hızının çeşitli takım aşınma biçimleri üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla bir seri uzun süreli deneyler yapmışlardır. Bu deneylere müteakip oluşan yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvvetleri ve talaştaki ve iş parçasındaki sıcaklık değişimleri irdelenmiştir. Sonuçlardan 60 HRC sertliğindeki AISI 52100 malzemenin işlenmesinin zor olmasına rağmen kesici takımın aşınma direncinin iyi olduğu belirtilmiştir. Tornalama işlemi esnasında oluşan ısının büyük bir kısmının talaş ile atıldığı sonucuna varılmıştır. 280 m/dk'nın üzerindeki kesme hızlarında sistemin kararsız hale geldiği ve birkaç dakikalık işlemden sonra bile titreşimlerin önemli derecede arttığı görülmüştür. Bu malzeme çifti için ideal kesme hızının 120 m/dk olduğu sonucuna varılmıştır [23].

Benga ve Abroa tarafından yapılan çalışmada, sertleştirilmiş 100Cr6 rulman çeliğinin (62-64 HRC) sürekli olarak işlenmesinde whisker takviyeli alümina, karma alümina ve CBN takımlar kullanılmıştır. Çalışmalarında, takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğünü değerlendirmişlerdir. En iyi takım ömrü ve yüzey pürüzlülük sonuçları CBN takımlarla elde edilirken, karma alümina takımlarla düşük ilerleme miktarlarında, whisker takviyeli alümina takımlarda ise ilerleme miktarı arttırıldığında takım ömrü değerleri artmış ve yüzey pürüzlülükleri iyileşmiştir.

Ayrıca, çalışmada elde edilen Ra yüzey pürüzlülük değerleri 0,25 µm'den küçük çıkmıştır [97].

Coelho tarafından yapılan çalışmada sertleştirilmiş AISI 4340 çelik malzeme üzerinde kaplamalı ve kaplamasız CBN kesici takımlar kullanılarak tornalama deneyleri yapılmıştır. TiAlN, TiAlN-nano kaplama ve AlCN kaplamalı ve kaplamasız CBN kesici takımlar kullanılarak yapılan deneylerde takım aşınması, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü ölçülmüştür. En düşük takım aşınması TiAlN-nanokaplamalı kesici takımlarda gerçekleşmiştir. Bu takımı sırasıyla TiAlN, AlCrN ve kaplamasız PCBN kesici takımlar takip etmiştir. Kesme kuvvetleri de aynı sırayı takip etmiştir. En düşük kuvvetler en az aşınan takımla yapılan deneylerden elde edilmiştir. Kesme işleminin başlangıcında kesici takımlar arasında önemli bir değişiklik görülmemiştir. Kaplamasız kesici takımla en yüksek kesme kuvvetinde edilmiştir. Ra değerleri 0,7 ila 1,2 µm arasında değişmekle birlikte kesici takımlara bağlı olarak fazla bir değişiklik göstermemiştir. Bu çalışmanın sonucundan tüm kesici takımların endüstriyel olarak kabul edilebilir takım ömrü sağladığı ve en uzun takım ömrünün de TiAlN-nano kaplamalı kesici takımla elde edildiği görülmüştür [22].

Chonghai vd. tarafından yapılan çalışmada, ortalama 0,5 ve 0,8 µm boyutunda, yüksek saflıktaki Al₂O₃ ve TiC tozları başlangıç malzemesi olarak seçilmiş ve karbon takviyesi yapılarak, sıcak presleme tekniği yöntemiyle Al₂O₃ seramik kesici takımlar üretilmiştir. Takım aşınmasının morfolojisi, kırılma ve parçaların mikro yapıları taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve geçirmeli elektron mikroskobuyla (TEM) incelenmiştir. Üretilen parçalar daha sonra, seçilen kesme şartları altında tornalama ve frezeleme işlemiyle teste tabii tutulmuşlardır. Gelişmiş seramik kesici takım malzemesinin üretilip performansının belirlenmesi amacıyla yapılan çalışma sonucunda Al₂O₃ esaslı seramik kesici takım içerisine karbon ilavesiyle, kırılma toklukları 5,89 MPa ve sertlikleri 18,9 GPa olacak şekilde geliştirilmiştir. Takviyeli seramik kesici takımların aşınma mekanizmaları incelendiğinde, öncelikle abrasiv ve adhesiv aşınmanın olduğu ve termal şokların takımın kırılmasında önemli rol oynadığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak takviyesiz seramik kesici takımlarla takviyeli

seramikler karşılaştırıldığında sertleştirilmiş karbon çeliklerinin işlenmesinde karbon takviyeli seramiklerin daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir [98].

Luo vd. yüksek sertliğe sahip AISI 4340 alaşımlı çeliğin seramik ve CBN takımlarla işlenmesinde aşınma karakteristiklerini araştırmışlardır. Deneyler kuru kesme şartları altında yapılmıştır. CBN kesici takımlar TiC ve Al₂O₃, seramik takımlarda yine TiC ve Al₂O₃'den oluşmaktadır. Karşılaştırma yapmak amacıyla da P10 kalitesinde karbür takım kullanılmıştır. AISI 4340 çeliğine farklı ısıl işlemler uygulanarak 35 HRC ile 55 HRC arasında sertlikler elde edilmiştir. Aşınma bölgelerinin görüntülenerek değerlendirilmesinden sonra, iş parçası bünyesinde bulunan sert parçacıkların CBN'in bağlayıcısı üzerinde yarattığı abrasyon temel aşınma mekanizması olarak tespit edilmiştir. Seramik takımlar için ise etkin aşınma mekanizması adhezyon ve abrasyon olarak belirlenmiştir. CBN ve seramik takımlar için kesme hızına bağlı olarak takım ömrünün artması takım-talaş ara yüzeyinde oluşan koruyucu bir katmanın varlığına atfedilmiştir. CBN takım için takım malzemesinin bağlayıcısı, seramik takım için ise seramik takımın iş parçası içerisinde çözünmesinin bu katmanı oluşturduğu belirtilmiştir. Bununla birlikte, en yüksek kesme hızlarında, takım yüzeyindeki bu katmanın oldukça az oluştuğu ve iş parçası içerisinde yer alan sert parçacıklarda az oluşan bu katmanın yok edildiği de belirtilmiştir [99].

Zhou vd. pah açısının CBN takımların aşınması üzerindeki etkisini incelemek için yaptıkları çalışmalarında kesme kuvvetleri, takım aşınması ve takım ömrü arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Bu amaçla 60 – 62 HRC sertlikteki 100Cr6 çelik malzemeler üzerinde farklı pah açılarında sahip CBN kesici takımlarla sert tornalama deneyleri yapmışlardır. Deneyler 0,05 mm ilerleme hızı ve 0,05 mm talaş derinliğinde kesme sıvısı kullanılmadan 160 m/dk kesme hızında yapılmıştır. 0,01 mm honlama yarıçapına sahip CBN kesici takımlar için pah açısı olarak 5 farklı değer (0, 10, 15, 20 ve 30°) seçilmiştir. Takım ömrü deneyleri 0,2 mm yan yüzey aşınma değerine ulaşılan kadar devam ettirilmiştir. En uzun takım ömrü 15° pah açısına sahip kesici takımda elde edilmiştir [5].

Chou vd. sertleştirilmiş ve temperlenmiş 61-63 HRC sertlikteki AISI 52100 çeliğinin bitirme tornalanmasında farklı CBN takımların performanslarını ve aşınma davranışlarını incelemek için çalışma yapmışlardır. Takım performansı parça yüzey kalitesi ve takım yan yüzey aşınmasına göre belirlenmiştir. İki farklı kalitede yüksek ve düşük CBN içerikli kesici takım kullanmışlardır. Deneyler torna tezgahında üç farklı kesme hızı (60, 120 ve 240 m/dk), üç farklı talaş derinliği (0,01, 0,05 ve 0,25 mm) ve sabit bir ilerleme hızında (0,012 mm/dev) kesme sıvısı kullanılmadan yapılmıştır. Deney sonuçları düşük CBN içerikli kesici takımın düşük sertliğine rağmen yüksek CBN içerikli takımdan hem yüzey pürüzlülük değeri hem de kesici takım yan yüzey aşınması bakımından daha iyi performans sergilediğini göstermiştir. Talaş derinliği takım aşınması üzerinde önemsiz bir etki göstermiştir. Düşük CBN içerikli kesici takımda düşük talaş derinliği daha düşük yüzey pürüzlülük değerine neden olmuştur. Yüksek CBN içerikli takımın metalik birleştiricisinin yan yüzey aşınma bölgesine yapışan iş parçası malzemesine yapışma eğiliminin yüksek olması nedeniyle bu takımda daha yüksek aşınma gerçekleştiği düşünülmüştür. Bu yapışmanın CBN parçacıkları takımdan koparıp çıkardığı ve çıkan parçacıklarında üç boyutlu abrasif aşınmaya neden olduğu düşünülmüştür [100].

Barry ve Byrne, 52 HRC sertliğinde BS 817M40 çelik malzemenin CBN/TiC kesici takımlarla bitirme işlemine tabi tutulmasında takım aşınma mekanizmalarını incelemek için bir çalışma yapmışlardır. 3 farklı kompozisyona sahip bu çelik malzemelerin işlenmesinde takım aşınmasında 4 kata kadar farklılıklar görülmüştür. İş parçası içerisindeki Al ve S içeriğinin takım aşınmasında etkili olduğu düşünülmüştür [101].

Thiele vd. sertleştirilmiş AISI 52100 çelik malzemenin tornalanmasında kesici uç ve iş parçası sertliğinin yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetlerine etkisini incelemek için yaptıkları çalışmada kesici uç geometrisinin işlenmiş yüzey özelliklerini önemli derecede etkilediği sonucuna varmışlardır. Artan uç yarıçapının ortalama yüzey pürüzlülük değerini kesici ucun artan kazıma etkisinden dolayı artırdığını belirtmişlerdir. Ancak, uç yarıçapının yüzey pürüzlülüğüne etkisi artan iş parçası sertliğiyle azalmıştır. Aynı zamanda, kesici uç geometrisinin aksenal ve radyal kesme kuvveti bileşenlerini önemli derecede etkilediğini belirtmişlerdir [35].

Ucun ve Aslantaş yaptıkları çalışmada kaplamalı karbür kesici takımların sertleştirilmiş AISI 52100 çeliğinin tornalanması işleminde aşınma performansı ve kesme işlemi boyunca oluşan yüzey pürüzlülüğünü incelemişlerdir. Deneyler dört farklı kesme hızı, dört farklı ilerleme hızı ve iki farklı talaş derinliğinde yapılmıştır. Karbür kesici takımlarla sertleştirilmiş malzemelerin işlenmesinde kabul edilebilir bir takım ömrü elde edilmesi için işleme parametrelerinin düşük olduğu sonucuna varılmıştır [102].

Grzesik ve Wanat tarafından yapılan başka bir çalışmada 60 HRC sertliğindeki AISI 5140 çelik iş parçası düşük maliyetli seramik kesici takımlarla işlenmiştir. Elde edilen sonuçlardan kabul edilebilir yüzey pürüzlülük değeri ve takım ömrünün elde edildiği görülmüştür [24].

Klocke vd. sertleştirilmiş çeliklerin işlenmesinde taşlama ve sert tornalama işlemlerini karşılaştırdıkları ayrıntılı değerlendirme çalışmalarında yüzey pürüzlülük değeri ve toleranslar bakımından sert tornalama işleminin taşlama işleminin bir alternatifi olduğunu belirtmişlerdir. Taşlama işlemi ile oluşan yüzeydeki girinti ve çıkıntıların sert tornalama işlemiyle oluşan yüzeydekinden daha keskin ve daha sıkı olduğu inceledikleri çalışmalardan görülmüştür. Sert tornalanmış ve taşlanmış parçaların yüzey katmanlarında parçaların yorulma ömrünü azaltan bir beyaz katman oluşumundan bahsedilmiştir. Taşlanmış parçalardaki beyaz katmanın sert tornalanmış parçalardaki beyaz katmandan daha fazla olduğu da bu çalışmada ifade edilmiştir. Aynı çalışmada, sert tornalama işlemi sonucunda en yüksek çekme tipinde kalıntı gerilmenin doğrudan iş parçası yüzeyinde olduğu ve yüzey katmanında çok az bir değişiklik olduğu belirtilmiştir. Ancak, taşlama işlemiyle üretilen parçalarda en yüksek çekme tipinde kalıntı gerilmenin yüzey altında olduğu ve yüzeyin derin katmanlarına nüfuz ettiği rapor edilmiştir [11].

Choi, sertleştirilmiş AISI 1053 çeliğinin farklı işleme parametrelerinde işlenmesinde oluşan kalıntı gerilmeyi ve oluşan kalıntı gerilmenin yorulma ömrüne ve çatlak oluşumuna etkisini araştırmıştır. Deneylerde 0°, 15° ve 20° pah açısı ile 0,79, 1,59 ve 4,76 mm uç yarıçapına sahip CBN kesici takımlar kullanılmıştır. İşlenen yüzeylerde

basma tipinde kalıntı gerilmeler elde edilmiş en fazla kalıntı gerilmenin yüzeyin 5-25 µm altında oluşmuş ve derinlik arttıkça kalıntı gerilmenin azaldığı görülmüştür. Basma tipindeki kalıntı gerilmenin yorulma ömrünü arttırdığı ve çatlak oluşum başlangıcını azalttığı görülmüştür. 0,79 mm uç yarıçapı ile işlenen numunelerde daha yorulma ömrü elde edilmiş ve uç yarıçapının kalıntı gerilme oluşumunu etkilediği görülmüştür [103].

Smith vd. taşlama+süper bitirme ve sert tornalama+süper bitirme işlemlerine tabi tutularak üretilmiş AISI 52100 çelik parçalarda (60-62 HRC) oluşan kalıntı gerilmeleri ve bu parçaların yorulma ömürlerini ayrıntılı olarak inceleyen bir çalışma yapmışlardır. Elde edilen sonuçlardan her iki parçada da basma tipinde kalıntı gerilme olduğu ancak sert tornalama+süper bitirme işlemiyle üretilen parçadaki basma tipindeki kalıntı gerilmenin daha fazla olduğu ve yüzey katmanında daha derine nüfuz ettiği görülmüştür. Taşlama+süper bitirme işlemiyle üretilen parçadaki basma tipindeki kalıntı gerilmenin ise yüzeyden merkeze doğru artan mesafe ile hızlı bir şekilde azaldığı ve değerinin sıfıra yaklaştığı görülmüştür. Taşlama+süper bitirme işlemiyle üretilen parçanın yorulma dayanımı 19427 çevrim iken sert tornalama+süper bitirme işlemiyle üretilen parçanın yorulma dayanımı 323897 çevrim olmuştur [13].

Benzer bir çalışmada da Guo vd.62 HRC sertlikteki AISI 52100 rulman çeliğini alın tornalama ve düzlem yüzey taşlama yöntemleriyle işlemişlerdir. Daha sonra farklı metotlarla işlenmiş bu parçalar üzerinde yorulma deneyleri (yuvarlanmalı temas yorulması) yapmışlardır. Aşınmamış bir kesici takımla elde edilen parçanın yüzeyinde bir miktar ve yüzey altında ise daha yüksek miktarda basma tipinde kalıntı gerilmenin olduğu, ince taşlama ile elde edilen parçanın yüzeyinde en yüksek basma tipinde kalıntı gerilme olduğu ancak yüzey altında ise çok ince bir katmanda daha az görüldüğü belirtilmiştir. Aynı zamanda aşınmamış takımla elde edilen parçanın yorulma ömrünün % 40 daha fazla olduğu belirtilmiştir. Aşınmış bir takımla elde edilen parçanın yüzeyinde ise çekme tipinde kalıntı gerilmenin olduğu ve bunun da yorulma ömrünü etkilediğini belirtmişlerdir [104].

Jouini vd.61±1 HRC sertlikteki AISI 52100 rulman çeliğinin sert tornalama ve taşlama ile işlenmesinde işlenen parçaların yorulma ömürlerini (yuvarlanmalı temas yorulması) ortalama yüzey pürüzlülük değerine (Ra) göre karşılaştırmışlardır. Sert tornalama yöntemiyle elde edilmiş 0,25 µm Ra değerine sahip parçanın yorulma ömrü 320 000 çevrim iken Ra değerinin 0,11 µm'e düşmesiyle yorulma ömrü 5 200 000'e çıkmıştır. Diğer yandan taşlama ile elde edilen 0,2 µm Ra değerinde yorulma ömrü 1 200 000 iken taşlanma ve akabinde honlama ile edilmiş 0,05 µm Ra değerinde ise yorulma ömrü 3 200 000 çevrim olmuştur [105].

Guddat vd.son yıllarda kullanımı yaygınlaşan silici (wiper) kesici uç geometrisine sahip CBN kesici takımlarla 58-62 HRC sertlikteki AISI 52100 rulman çeliğini işlemişlerdir. Silici uç geometrisine sahip kesici takımlarla yüksek ilerleme hızlarında geleneksel kesici uç geometrisine sahip kesici takımlarla elde edilenlerden daha düşük yüzey pürüzlülük değerleri elde edilebilmektedir. Dolayısıyla işleme zamanı ve maliyeti de düşmektedir. Guddat ve arkadaşları tarafından yapılan bu çalışmada da AISI 52100 çelik malzemenin tornalanması sonucu elde edilen yüzey pürüzlülük değerinde silici geometriye sahip kesici takımın kullanılması ile önemli derecede düşük yüzey pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. Ayrıca, silici kesici uç geometrisi ile iş parçası yüzey katmanında daha yüksek basma tipinde kalıntı elde edilmiştir [106].

Matsumoto vd. yaptıkları çalışmalarında taşlama ve süper bitirme işlemi ile elde edilen parçalardaki kalıntı gerilme profili ile sert tornalama ve süper bitirme işlemi ile elde edilen kalıntı gerilme profilini karşılaştırmışlardır. Sert tornalama ve süper bitirme işlemiyle oluşan kalıntı gerilmelerin taşlama ve süper bitirme işlemiyle elde edilenle karşılaştırıldığında basma tipinde olduğu ve daha derine ulaştığı yazarlar tarafından rapor edilmiştir. Ayrıca, tornalama ve süper bitirme işlemiyle daha uzun yorulma ömrü elde edildiği rapor edilmiştir [18].

Yorulma ömrünü artırması gibi önemli avantajlar sağlaması nedeniyle cazip hale gelen sert tornalama işleminde işleme koşullarının (kesme parametreleri ve kesici takım geometrisi) işlenmiş parçaların yüzey katmanına ve dolayısıyla iş parçası kalitesine etkilerini incelemek amacıyla da çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Hua ve

arkadaşları iki farklı sertlikteki AISI 52100 çelik malzeme üzerinde pahlı ve honlanmış kesici kenarlara sahip CBN kesici takımlarla alın tornalama deneyleri yapmışlardır. Yüzey altında daha yüksek baskı tipinde kalıntı gerilmenin yüksek ilerleme hızlarında elde edilebildiğini belirtmişlerdir. Ancak, bu durumda da kesme kuvvetlerinin önemli derecede artması gibi bir sonuçla karşılaşmıştır. Kesici kenar honlama yarıçapının artması ile de yüzey altında baskı tipi kalıntı gerilmenin arttığını ifade etmişlerdir [107].

Dahlman vd. AISI 52100 çeliğin tornalanması sonucu talaş açısı ve kesme parametrelerinin kalıntı gerilmeleri nasıl etkilediğini araştırmışlardır. Kalıntı gerilmeleri X-ışını metodu ile ölçmüşler ve çalışma neticesinde kalıntı gerilmelerdeki belirgin değişikliklerin ilerleme ve talaş açısından kaynaklandığını belirlemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlarla kalıntı gerilmeler üzerine talaş yüzeyi eğiminin güçlü bir etkiye sahip olduğunu göstermişlerdir. İlerleme oranının artmasıyla basma gerilmelerinde de artma olduğunu, fakat farklı kesme derinliklerinin farklı gerilme seviyesi oluşturmadığını yani kesme derinliğinin kalıntı gerilmeler üzerinde etkili olmadığını bulmuşlardır [108].

Caruso vd. sertleştirilmiş AISI 52100 rulman çeliğinin kuru tornalanmasında kesici takım kenar geometrisi, iş parçasının sertliği, kesme hızı ve mikroyapı değişikliklerinin kalıntı gerilme üzerinde etkisini belirlemek için deneysel bir araştırma yapmışlardır. Kalıntı gerilmeler aksenal ve çevresel olarak X ışını kırınımı tekniği kullanılarak ölçülmüştür. Kesici takım geometrisinin, iş parçası sertliğinin ve kesme parametrelerinin kalıntı gerilmeyi etkilediği, maksimum basma kalıntı gerilmesinin yüzeyin hemen altında olduğu görülmüştür. Kesme hızının artmasıyla beyaz katman oluşumunun arttığı, siyah katman oluşumunun azaldığı tespit edilmiştir. İş parçasındaki sertlik artışı beyaz ve siyah katman oluşumunu arttırmıştır [109].

Daha önce de belirtildiği gibi sert tornalama işleminin önemli faydalarından bir tanesi de kesme sıvısının kullanılmasına ihtiyaç olmamasıdır. Kesme sıvıları taşlama işlemlerinde bol miktarda kullanılır. Tornalama işleminde ise bazen kullanılarak kesici takım ömrünü artırabilir ve sıcaklık artışının getirdiği genleşme gibi olumsuz

etkilerin en alt düzeyde tutulmasına katkı sağlar. Sertleştirilmiş AISI 52100 rulman çeliğinin işlenmesi ile ilgili yapılan çalışmaların çoğunluğunda ise kesme sıvısının kullanılmadığı görülmektedir. Diniz vd. yaptıkları çalışmada en düşük miktarda kesme sıvısının sertleştirilmiş AISI 52100 çeliğinin (58-60 HRC) işlenmesinde CBN kesici takım (düşük CBN içerikli) aşınmasına ve yüzey pürüzlülük değerine etkisini incelemişlerdir. Karşılaştırma amacıyla kuru (kesme sıvısı kullanılmadan) ve bol miktarda kesme sıvısı kullanılarak ta deneyler yapılmıştır. Kesme hızının da CBN kesici takımların aşınma davranışı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Sert tornalama deneyleri dış yüzey tornalama yöntemiyle farklı kesme hızları (110, 130, 150 ve 175 m/dk) ve 0,08 mm/dev ilerleme hızı ve 0,3 mm talaş derinliğinde yapılmıştır [110].

Kuru ve en düşük miktarda sıvı kullanılarak yapılan deneyler sonucu oluşan kesici takım yan yüzey aşınma değerleri kesme sıvısı kullanılarak yapılanlardan daha düşük olmuştur. Elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri ise çoğunlukla birbirlerine benzer olmuştur. En iyi kesme koşullarının kuru (kesme sıvısı kullanılmadan) kesme olduğu yazarlar tarafından ifade edilmiştir. En yüksek kesme hızı değeri olan 175 m/dk'da en düşük yüzey pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. Ancak, en yüksek yan yüzey aşınması da bu kesme hızında görülmüştür. Diğer üç kesme hızında (110, 130 ve 150 m/dk) ise yüzey pürüzlülük ve yan yüzey aşınma değerleri fazla değişim göstermemiştir [110].

Rotella vd. sertleştirilmiş AISI 52100 çeliğinin işlenmesinde sürdürülebilirlik performansını, talaş kaldırma işleminin etkisini çeşitli yönleri ile değerlendirmişlerdir. Deneyler değişken kesme hızları ve ilerleme miktarlarında kesici ucu pahlı CBN kesici takımlar kullanılarak kuru ve kriyojenik işleme şartlarında yapılmıştır. Kesme kuvvetleri, takım aşınması, beyaz katman kalınlığı, yüzey pürüzlülüğü ve kalıntı gerilmeler işlenmiş yüzeyde soğutma sürecinin etkilerini değerlendirmek amacıyla incelenmiştir. Sonuçta, geliştirilmiş ürün ömrü ve daha sürdürülebilir bir fonksiyonel performans için kriyojenik soğutmanın yüzey bütünlüğünü iyileştirmek için kullanılacak bir yöntem olduğu görülmüştür [111].

Sölter vd. rulman bileziklerinin tornalanmasında bağlamadan kaynaklanan dairesellik hatalarını azaltmak için üç ayaklı ayna kullanarak bir strateji geliştirmişlerdir.

Bilezikleri dıştan bağlamak için sert çeneler, içten bağlamak için parçalı çeneler kullanmışlardır. Sonlu elemanlar yönteminden ve deneylerden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Simülasyon ve ölçüm sonuçlarının kabul edilebilir olduğu minimum dairesellik hatasının parçalı çene çapı ve iç bilezik çapı arasındaki sapma ile dış ve iç bağlama arasındaki açılmalık kayma arasındaki ilişkiye bağlı olduğunu göstermişlerdir [112].

Maračeková vd. tornalama sırasında sıkma basıncından kaynaklanan çap değişimlerini araştırmışlardır. Deneylerde dış çapı 60 mm, iç çapı 33 mm olan düşük karbonlu EN ISO C16E silindirik iş parçası kullanılmış ve sıkma basıncı 3,2 MPa alınmıştır. Sonuç olarak sıkma basıncının içi boş parçada elastik deformasyon oluşturduğu ve dairesellik hatalarının olduğu bunun yanında işleme öncesi ve sonrasındaki ölçülerin eşit olmadığı görülmüştür. Deformasyonu önlemek ve daha az dairesellik sapması elde edebilmek için pens ya da farklı bir bağlama sisteminin kullanılması gerektiğini önermişlerdir [113].

Batalha vd. konik rulman bileziğinin sert tornalanmasında kesme parametrelerinin kesme kuvveti ve kalıntı gerilme üzerindeki etkisini ve kesme kuvvetleri ile kalıntı gerilme arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Aynı zamanda kesme parametrelerinin mikroyapıya ve mikroyapının kalıntı gerilmelere etkisini de araştırmışlardır. Deneylerde CBN kesici takımlar kullanılmıştır. Sonuç olarak, kesme kuvvetlerinin kalıntı gerilme oluşumunda önemli bir faktör olduğu belirlenmiştir. Kesme kuvvetlerinin ilerleme miktarından ve kesme derinliğinden etkilendiği görülmüştür. Kesme derinliği ve kalıntı gerilme arasında bir ilişki kurulmuştur. Malzemenin mikroyapısında herhangi bir değişiklik görülememiştir [113].

Guo ve Sahni AISI 52100 rulman çeliğinin sert tornalanmasında ve silindirik taşlanmasında oluşan beyaz katman kalınlığının ölçümlerini karşılaştırmışlardır. İşlemede oluşan beyaz ve siyah katman özelliklerini yüzey yapısı, mikrosertlik, mikroyapı ve kimyasal bileşim açısından karşılaştırılmıştır. Sert tornalama ve taşlama ile elde edilen yüzeylerin yapılarının aynı olduğu ancak taşlama ile elde edilen yüzeylerde beyaz katman kalınlığının daha fazla olduğu görülmüştür. Sert tornalama ve silindirik taşlamada oluşan mikrosertliklerin birbirlerine benzer olduğu fakat

silindirik taşlamada oluşan beyaz katman sertliğinin sert tornalamada oluşan beyaz katmandan % 40 daha fazla olduğu, ancak sert tornalamada oluşan siyah katman sertliğinin silindirik taşlamada oluşan siyah katmandan daha düşük olduğunu tespit etmişlerdir. Sert tornalamada oluşan kalıntı östenitin % 10 fazla olduğunu ve beyaz katmanının östenit açısından temperlenmemiş martenzit olmadığı görülmüştür [60].

2.6.3. Teorik Çalışmalar

Son yıllarda gelişen bilgisayar teknolojisi ve sonlu elemanlar yazılımlarının talaşlı imalatta kullanılması ile birlikte talaş kaldırma sürecindeki problemler deney yapılmadan tahmin edilebilmektedir. Özellikle kesici takım geometrisini, takım-iş parçasında oluşan sıcaklığı, kesme kuvvetlerini, işleme sonucu oluşan kalıntı gerilmeleri, takım aşınmasını, talaş oluşum mekanizmalarının önceden tahmin edilmesine yardımcı olan bilgisayar paket programları (ANSYS, DEFORM, FRANC2D) sayesinde talaş kaldırma mekaniğinde çok büyük gelişmeler sağlanmıştır [115].

Deneysel olarak kullanılan parametrelerin optimizasyonunu yapmak, etkin kesme parametrelerini belirlemek, deney sayısını azaltmak ve deneysel olarak elde edilen sonuçları tahmin etmek için istatistiksel modeller de geliştirilmektedir. Yapılan çalışmalarda Taguchi, varyans analizi (ANNOVA), regresyon analizi, genetik algoritma, yapay sinir ağları (ANN) gibi çeşitli metotlar kullanılmaktadır. Literatürde, sertleştirilmiş AISI 51200 rulman çeliğinin sert tornalanmasında kullanılan çeşitli model ve metotlarla ilgili yapılan bazı çalışmalar aşağıda belirtilmiştir.

Motorcu, ısıtılmış ve küreselleştirilmiş AISI 52100 rulman çeliğinin farklı takımlarla işlenmesinde ana kesme parametreleri ile iş parçası ve takım sertliklerinin, takım ömrü ve takım aşınması üzerindeki etkilerini araştırmıştır. %70 Al₂O₃ + %30 TiC matris esaslı kaplamasız karma alümina seramik, %70 Al₂O₃ + %30 TiC matris esaslı ve PVD yöntemiyle TiN kaplı seramik ve CVD tekniğiyle Ti (C,N) + Al₂O₃ + Ti (C,N) + TiN kaplı karbür kesici takımlar kullanmıştır. Taguchi deneysel tasarım tekniğini kullanmış ve probleme uygun L18 (21x37) ortogonal dizini seçmiştir.

Aşınmış uçları taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile inceleyerek takım aşınma tiplerini belirlemiştir. Isıl işlemsiz AISI 52100 rulman çeliğinin işlenmesinde en iyi takım ömrü performansını kaplamalı seramik takımlarla sağlanırken bunu kaplamasız seramik ve kaplamalı karbür takımlar izlemiştir. Küreselleştirilmiş AISI 52100 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 [116].

İslam, kesme parametrelerinin (kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesme derinliği) ve bunlara ek parametrelerin boyutsal doğruluğa ve yüzey pürüzlülüğüne etkilerini deneysel ve analitik olarak incelemiştir. Soğutma metodu, farklı iç çaplar ve iş parçası malzemesi ek parametreler olarak kullanmıştır. Deneysel tasarım için; soğutma metodu için kuru, sulu ve minimum yağlama, iç çap ölçüsü için 20, 40 ve 60 mm ve iş parçası malzemesi için alüminyum (6061), orta karbonlu çelik (1030) ve alaşımlı çelik (4340) üç farklı seviyede giriş parametresi olarak belirlenmiş ve L27 Taguchi ortogonal dizini kullanmıştır. Tornalanmış parçaların dairesellikleri, çap hataları ve yüzey pürüzlülükleri çıkış parametresi olarak ölçülmüştür. Sonuçlar, geleneksel analiz, Pareto ANOVA ve Taguchi metodu kullanılarak analiz edilmiştir. İş parçası malzemesinin çap hatasında en büyük etkiye sahip olduğunu, dairesellikte ise iç çap ölçüsünün önemli olduğunu göstermiştir [117].

Bouacha ve arkadaşları, AISI 52100 rulman çeliğinin CBN kesici takımlarla sert tornalanmasında işleme parametrelerinin (kesme hızı, ilerleme miktarı, kesme derinliği, işleme süresi) performans karakteristiklerine (takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvveti, kaldırılan talaş hacmi) etkisini ANNOVA ile belirlemişlerdir. İşleme parametreleri ile performans karakteristikleri arasındaki ilişkiyi belirlerken yanıt yüzey metodu (RSM), Grey-Taguchi metodu ve genetik algoritma yöntemlerini kullanarak çoklu optimizasyon yapmışlardır. Sonuç olarak kesme hızının takım aşınması üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu belirlemişlerdir. Kesme derinliği kesme kuvvetlerini önemli ölçüde etkilerken, yüzey pürüzlülüğünü çok etkilemediği görülmüştür. İşleme süresinin tüm performans

karakteristiklerini etkilediği görülmüştür. Kullanılan optimizasyon yöntemlerinde birbirlerine yakın sonuçların elde edildiği, genetik algoritmanın en önemli bir yaklaşım olduğunu belirtmişlerdir [118].

Singh ve Rao, rulman çeliğinin sert tornalanmasında talaş açısı ve uç yarıçapı ile kesme hızı ve ilerlemenin bitirme yüzeyindeki etkisini araştırmışlardır. Deneysel sonuçlara dayanan yanıt yüzey metodu (RSM) kullanılarak işleme parametreleri açısından birinci ve ikinci dereceden matematiksel modeller geliştirilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü tahmin modeli, genetik algoritma kullanarak yüzey pürüzlülük değerleri elde etmek için optimize edilmiştir. Genetik algoritma programı ile yüzey pürüzlülüğünün minimum değerleri ve optimum koşullar belirlenmiştir [119].

Chou ve Song, yeni ve aşınmış kesici takımla yapılan sert tornalamada işlenmiş yüzeyde oluşan sıcaklığın belirlenmesi için bir analitik model geliştirmişlerdir. Talaş oluşumundaki ve takım aşınma bölgesinde oluşan kuvvetleri hesaplamak için bir model oluşturulmuş ve aynı zamanda bu model çerçevesinde işlenmiş yüzeyde oluşan sıcaklık oluşumu da belirlenmiştir. Simülasyon sonucunda yeni takımla maksimum işlenmiş yüzey sıcaklığını kesme hızı ve ilerleme miktarının olumsuz yönde etkilediği ancak artan kesme derinliğinin olumlu yönde olduğunu belirtmişlerdir. İşlenmiş yüzey sıcaklığını yan aşınmasının önemli derece etkilediği aşınmanın 0,2 mm çıkması ile işlenmiş yüzey sıcaklığının 2-3 kat arttığını gözlemişlerdir. Deneysel ve analitik modelde tahmin edilen sonuçların birbirine yakın olduğu görülmüştür [120].

Attanasio vd. sertleştirilmiş AISI 52100 rulman çeliğinin PCBN kesici takımla sert tornalanmasında takım aşınmasının ve kesme parametrelerinin beyaz ve siyah katman oluşumuna etkisini incelemişlerdir. Deneysel sonuçlar takım aşınması ve işleniş yüzeylerin mikroyapısının analizini kapsamaktadır. İşlenmiş yüzeylerindeki mikroyapı değişimlerini ve takım aşınmasını incelemek için Sonlu elemanlar metodu (FEM) kullanılarak bir model geliştirilmiş ve bu modelden elde edilen sonuçlar deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Kesme hızı ve ilerleme miktarının takım aşınmasını önemli derece etkilediği, takım aşınmasının da beyaz ve siyah katman oluşumunu etkilediğini belirtmişlerdir [25].

Li vd. AISI 52100 rulman çeliği, AISI H13 sıcak iş çeliği, AISI 4340 düşük alaşımli çelik, AISI D2 soğuk iş çeliklerinin CBN kesici takımlarla tornalamasında kesme kuvvetlerinin etkilerini araştırmışlardır. DEFORM 2D nümerik simulasyon programında kesme ve ilerleme kuvvetlerini tespit etmişlerdir. Benzer kesme şartlarında AISI 4340'ın tornalanmasında en yüksek kesme kuvveti, AISI 52100 rulman çeliğinin tornalamasında en yüksek ilerleme kuvveti, AISI D2 soğuk iş çeliğinin tornalanmasında da en düşük kesme ve ilerleme kuvvetlerini elde etmişlerdir. Takım uç yarıçapının, negatif talaş açısının ve iş parçası sertliğinin artmasıyla kesme ve ilerleme kuvvetlerinin arttığını tespit etmişlerdir [121].

Özel, yüksek hızda işlemede ve sonlu elemanlar (FE) simülasyonu kullanarak, takım performansı ve işleme parametrelerinin CBN kesici takımlarda farklı kesici kenar durumlarının etkisini araştırmıştır. Ortogonal işleme deneylerinde honlanmış ve pah kırılmış CBN kesici takımlar kullanmış ve kesme kuvvetlerini dinamometre kullanılarak ölçmüştür. Simülasyon sonuçları ile kesme bölgesi, talaş-takım ve iş parçası-takım ara yüzeyinde sıcaklıkların ve gerilimin bir dağılımını sağlamıştır. Sonuç olarak honlanmış CBN kesici takım ile düşük kesme kuvveti elde etmiştir. Honlanmış CBN kesici takım ile yüksek talaş yüzey sıcaklığı, pah kırılmış takım da ise düşük talaş yüzey sıcaklığı elde etmiştir [122].

2.6.4. Literatür Araştırmasının Değerlendirilmesi

Yapılan literatür araştırmasında sertleştirilmiş çeliklerler arasında en yaygın AISI 52100 rulman çeliğinin işlenebilirliği ile ilgili çalışmaların yapıldığı görülmüştür. Sertleştirilmiş çeliklerin işlenmesinde CBN ve seramik kesici takımların kullanıldığı görülmüştür. Her iki kesici takım malzemesi için kesici kenar geometrisinin önemli olduğu kesici takımların dayanımlarını arttırmak kesici kenarlara pah ve honlama işlemi yapılmaktadır.

CBN kesici takımlarda CBN içeriğinin önemli olduğu, darbeli ve kesikli işlemlerde yüksek CBN içeriğine sahip kesici takımlar kullanılırken normal sert tornalama işlemlerinde düşük CBN içerikli takımlar tercih edilmektedir. Seramik kesici

takımlarda da ticari olarak ta kullanılan Al_2O_3+TiN içerikli takımlar kullanılmaktadır.

Sert tornalamada, yüzey pürüzlülüğüne etki eden faktörlerin kesici takım uç yarıçapı, talaş derinliği, ilerleme ve kesme hızı olduğu görülmüştür. Ancak; yüzey pürüzlülüğünün sadece yukarıda belirtilen parametrelere bağlı olmadığı, bugüne kadar yapılan teorik ve deneysel çalışmalar dikkate alınarak, yüzey pürüzlülük değerlerinde, fiziksel ve dinamik etkilerden dolayı farklılıklar bulunduğu gözlenmiştir.

Kesme sırasında, kesme hızı, ilerleme, talaş derinliği, kesme kuvvetleri gibi işleme parametrelerinin, kesme kuvveti ve sıcaklık oluşumuna büyük bir etkisinin söz konusu olduğu, bunun sonucunda kesici takımda aşınmalara neden olduğu görülmüştür. Sert tornalamada kesici takımda oluşan aşınmaların genellikle yan yüzey ve krater aşınması şeklinde olduğu görülmüştür.

Sert tornalamada oluşan ölçü ve tolerans sapmalarının iş parçası bağlama sisteminden kaynaklandığı ve iş parçası bağlama sisteminin önemi vurgulanmıştır. Aynı zamanda kullanılan tezgahın hassasiyetinin yüksek olması gerekmektedir.

Sert tornalamada yüzey ve yüzey altında oluşan kalıntı gerilmenin basma tipinde olduğu ve bu gerilmenin üretilen iş parçalarının çalışma ömrünü arttırdığı belirtilmiştir.

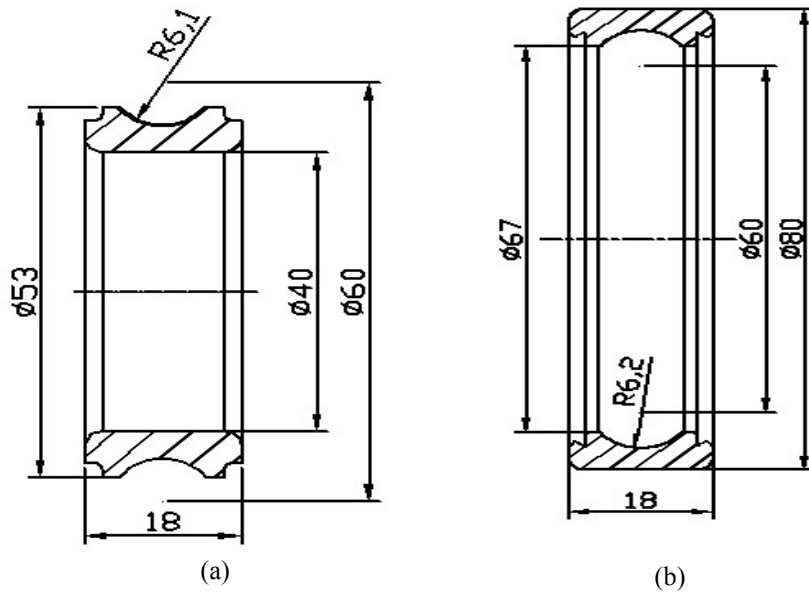
Literatürde, sert parçaların tornalanmasında genellikle çubuk malzemelerin, nadiren içi boş parçaların kullanıldığı görülmüştür. Rulman bileziği şeklindeki parçaların daha yumuşak haldeyken işlenmesi ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. Literatürde sertleştirilmiş rulman bileziklerinin sert tornalanması ile ilgili çok az sayıda olup bunlara ulaşamamıştır.

BÖLÜM 3

MATERYAL VE METOD

3.1. DENEY NUMUNELERİ

Deneylede AISI 52100 rulman çeliğinden üretilmiş 60 ± 2 HRC sertliğinde iç ve dış rulman bilezikleri kullanılmıştır. Sert tornalama deneylelerinde kullanılan iç ve dış rulman bilezikleri sıcak dövme, küreselleştirme ısıl işleme, soğuk ovalama, yumuşak tornalama, ısıl işleme ve alın taşlama işlemlerinden sonra sert tornalamaya uygun ölçü ve toleranslara getirilmiştir. Sert tornalama deneylelerinde kullanılan iç ve dış rulman bilezik numunelerinin resmi Şekil 3.1'de gösterilmiştir. Rulman bileziklerini bağlama sistemi ile sağlıklı bir şekilde bağlayabilmek için, iç bileziklerin alın yüzeyleri ve dış çapları (omuz) ile dış bileziklerin alın yüzeyleri ve dış çapları taşlanmıştır. Deneylelerde kullanılan bileziklere uygulanan ısıl işleme, sertlik ölçümleri, kimyasal analiz işlemleri ve alın ve dış çap taşlama işlemleri ORS'de yapılmıştır.



Şekil 3.1. Deneyle numuneleri a) iç, b) dış rulman bileziği.

Deneylerde kullanılan AISI 52100 rulman çeliğinin kimyasal bileşimi Çizelge 3.1 ve özellikleri Çizelge 3.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. AISI 52100 rulman çeliğinin kimyasal bileşimi (% ağırlık).

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	Ti	Al	N	Sn	O ₂
0,99	0,24	0,36	0,016	0,006	0,06	1,43	0,02	0,10	PPM 17	0,017	PPM 52	0,007	PPM 5

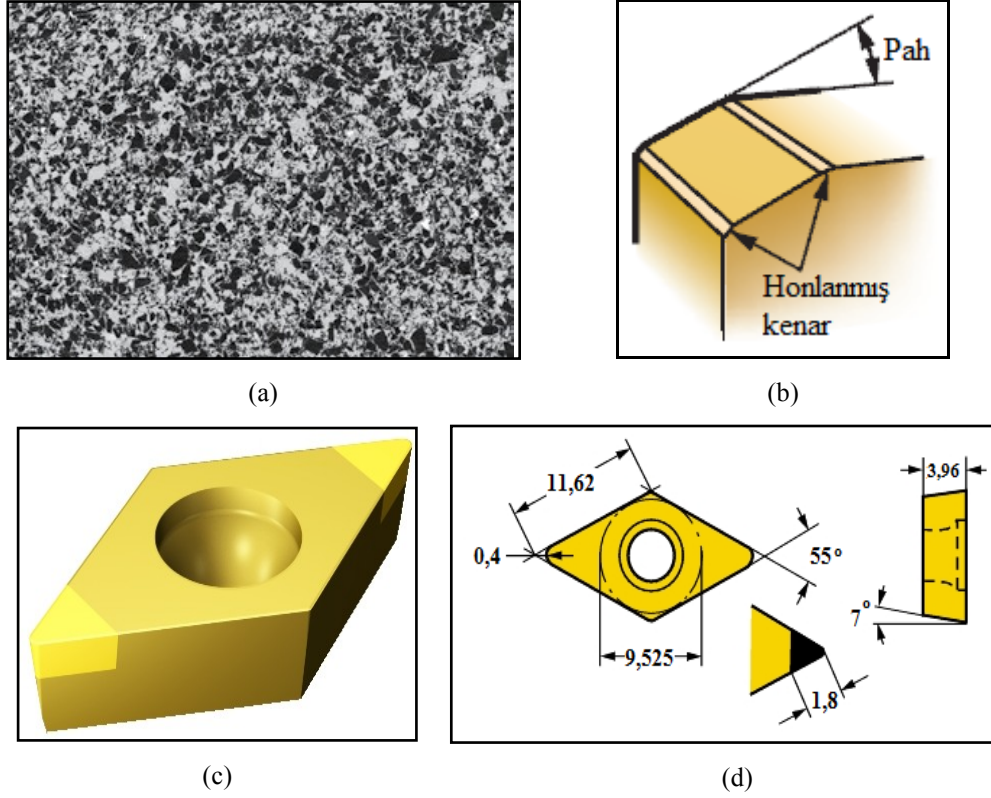
Çizelge 3.2. AISI 52100 rulman çeliğinin özellikleri.

DIN Normu	Akma dayanımı	Elastikiyet Modülü	Poisson oranı	Kayma modülü	Yoğunluk	Uzama (%)	Termal iletkenlik	Elektrik iletkenliği
100Cr6	2300 MPa	210 GPa	0,30	80 GPa	7810 kg/m ³	2	46,6 W/m ^{°K}	0,22 Ωm

3.2. KESİCİ TAKIM VE TAKIM TUTUCU

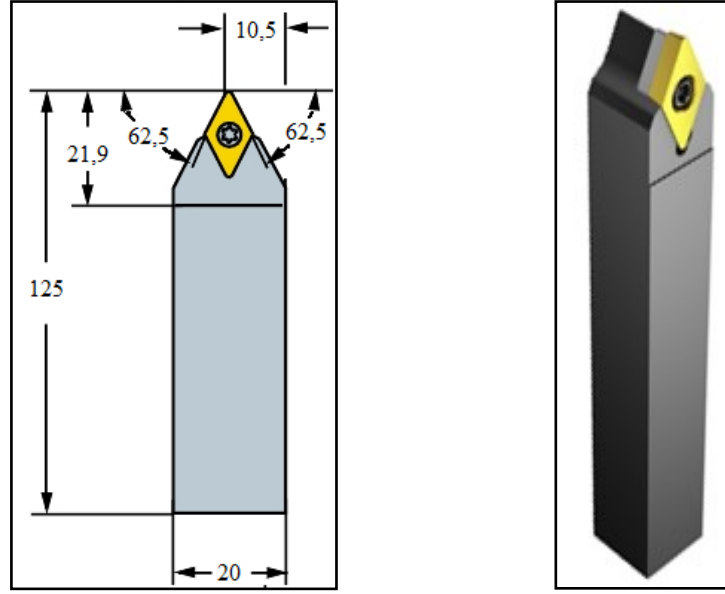
CBN kesici takımlar

İç ve dış rulman bileziklerinin yuvarlanma yollarının ve iç bilezik deliğinin sert tornalanması deneylerinde Sandvik Coromant tarafından üretilmiş ticari CBN kesici uçlar kullanılmıştır. CBN kesici uçlar; DCGW11T304 S01020 geometrisinde, CB7015 Sandvik kalitesinde (ISO H15) düşük CBN içeriğine ve pah + honlanmış kesici kenar geometrisine sahiptir. CB7015, seramik bağlayıcıda ince tane boyutlu %50 CBN içerir. Bu kalite ile en iyi sonuçlar tezgah şartları çok kararlı olduğunda sürekli işlemeden hafif kesintili işlemlere kadar olan kesmeişlemlerinde elde edilir. CB7015, aşınmanın kolay algılanması amacıyla kaplanmıştır. CBN kesici takımlar PVD TiAlN kaplamalı olup 3-4 µm kaplama kalınlığındadır. Deneylerde kullanılan CBN kesici takıma ait özellikler Şekil 3.2’de gösterilmiştir.

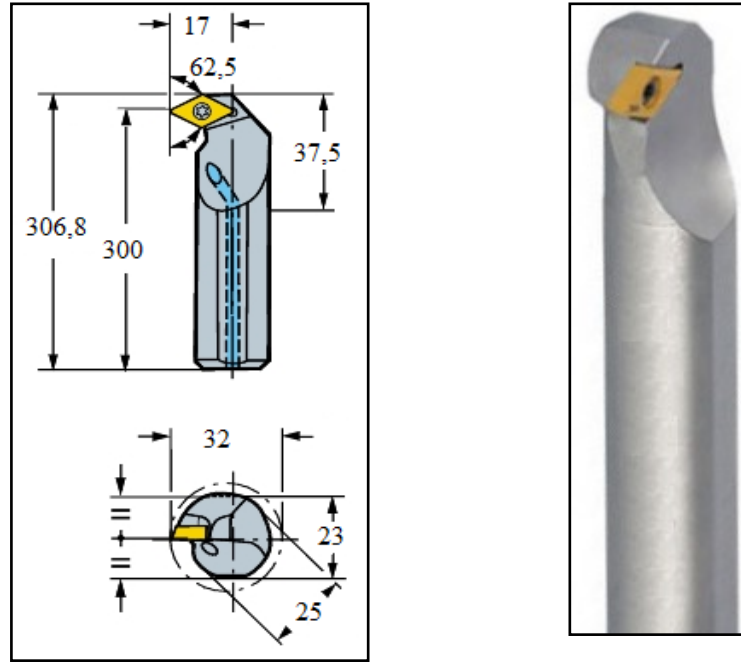


Şekil 3.2. CBN kesici takıma ait özellikler, a) mikroyapısı, b) kenar durumu, c) şekli, d) ölçüleri [123].

Sert tornalama deneylerinde kullanılan CBN kesici takımlar istenilen geometriyi sağlayacak şekilde seçilmiştir. İç bilezik yuvarlanma yolunun işlenmesinde CBN kesici takımları bağlamak için SDNCN 2020K 11 ISO kodlu dış çap kateri, iç rulman bileziğinin iç çapının ve dış bilezik yuvarlanma yolunun sert tornalanmasında takım içi soğutma özelliğine sahip A25T SDXCR 11 ISO kodlu iç çap kateri kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan CBN kesici takımları bağlamada kullanılan katerlere ait bilgiler Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



(a)



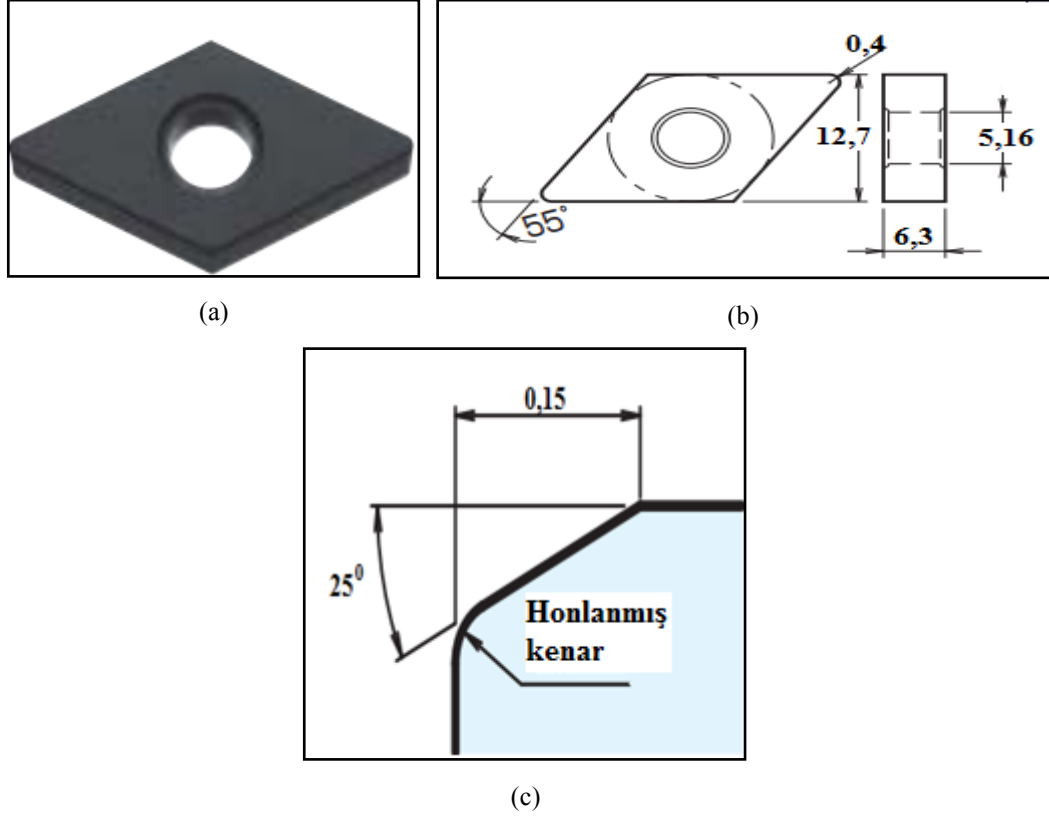
(b)

Şekil 3.3. CBN kesici uç bağlamada kullanılan katerler a) dış çap, b) iç çap [124,125].

Seramik kesici takımlar

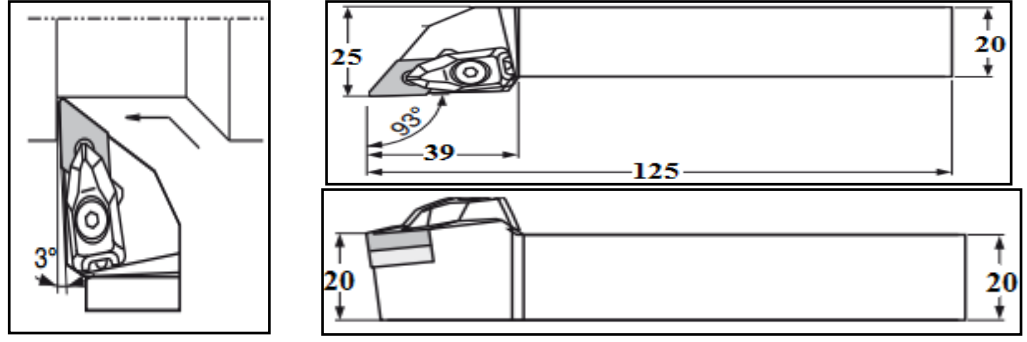
Deneylerde Kyocera firması tarafından üretilen A66N ticari kalitesinde seramik kesici uçlar kullanılmıştır. A66N kalitesi Al_2O_3+TiC matris esaslı olup PVD TiN kaplamaya sahiptir. Seramik uçlar DNGA 150604 S1525 geometrisinde olup pah ve honlanmış kesici kenar geometrisine sahiptir. Sertleştirilmiş çeliklerin ve diğer sert

malzemelerin orta talaş kaldırma ve bitirmeişlemlerinde iyi performans sağlamaktadırlar. Seramik kesici takıma ait bilgiler Şekil 3.4'te gösterilmiştir.

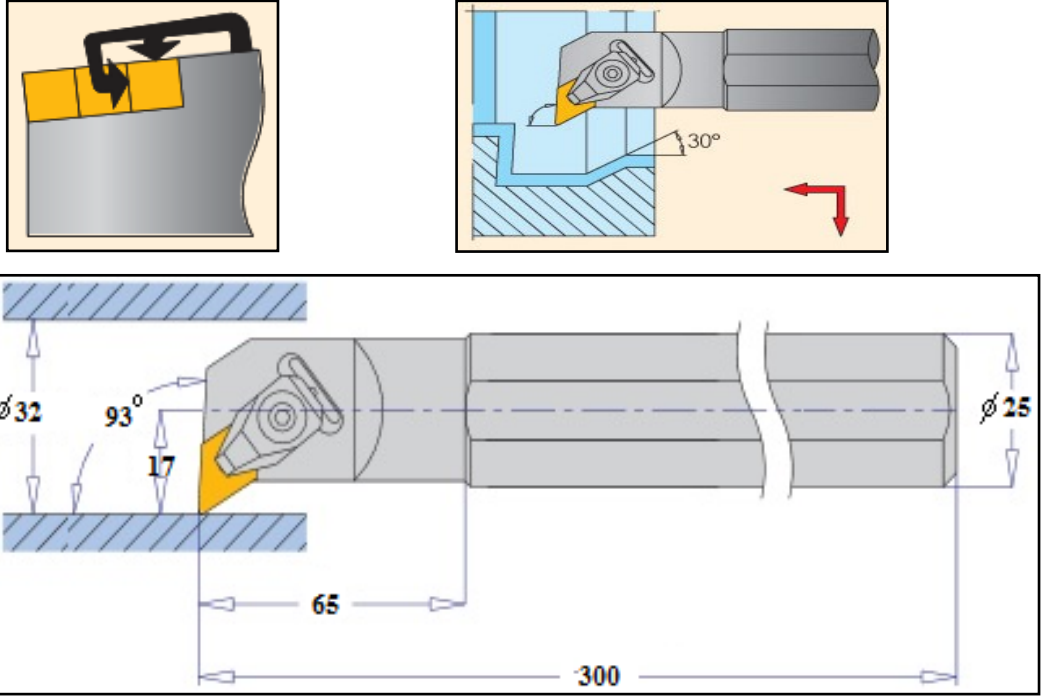


Şekil 3.4. Seramik kesici takıma ait özellikler a) şekli b) ölçüleri c) kenar durumu [126,127].

İç ve dış rulman bileziklerinin yuvarlanma yollarının seramik kesici takımlar ile işlenmesinde DDJNR 2020 K15 ISO kodlu dış çap kateri, iç rulman bileziğinin iç çapının sert tornalanmasında S25T DDUNR15 ISO kodlu iç çap kateri kullanılmıştır. Seramik uçların bağlanmasında kullanılan takım tutuculara ait bilgiler Şekil 3.5'te gösterilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 3.5. Seramik kesici uç bağlamada kullanılan katerler, a) dış çap, b) iç çap [128].

3.3. CNC TAKIM TEZGAHI

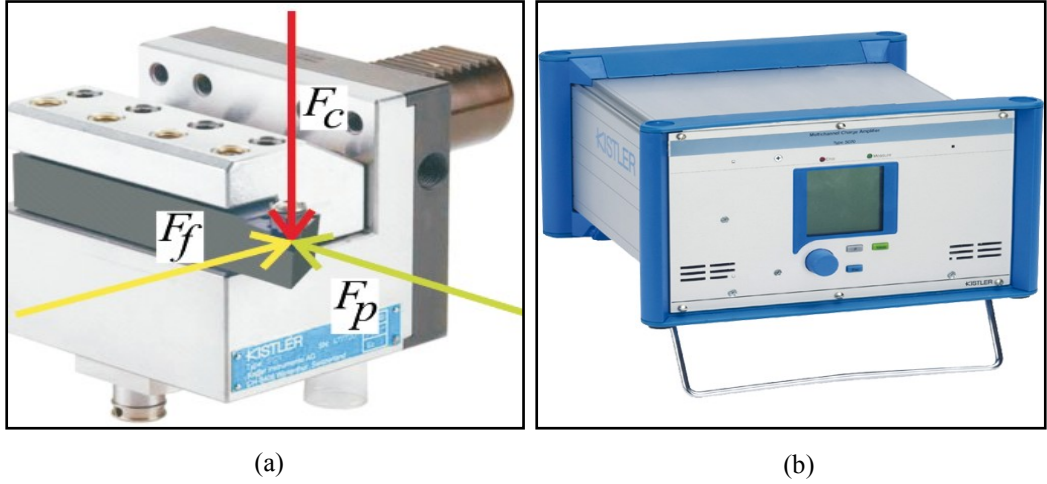
Talaş kaldırma deneyleri Muratec MW120 marka çift iş millisanayi tipi CNC tornatezgahındayapılmıştır. Kullanılan takım tezgahının bazı özellikleri şunlardır: Tezgahgücü 7,5 kW, devir sayısı maksimum 6000 dev/dak, hidrolik ayna çapı 165 mm, taret takım adedi 8, ölçü hassasiyeti 0,001 mm ve işletim sistemi Fanuc'tur. Kullanılan takım tezgahı Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Muratec MW120 CNC torna tezgahı [129].

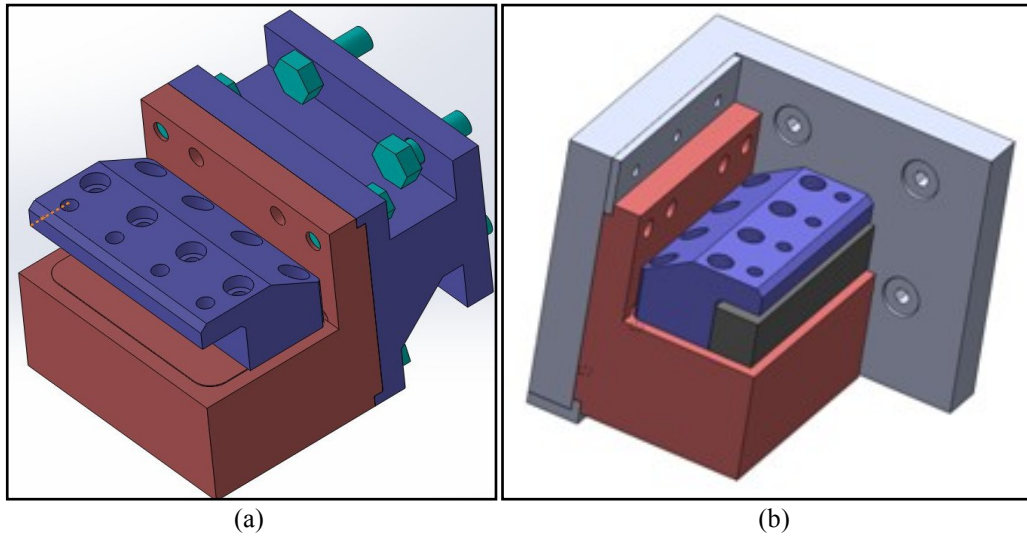
3.4. KESME KUVVETLERİNİN ÖLÇÜLMESİ

Deneysel çalışmalarda kesme kuvvetlerinin ölçülmesi için üç kesme kuvveti bileşenini (F_c , F_f ve F_p) eşzamanlı olarak ölçme kapasitesine sahip piezoelektrik prensiplere göre dinamik kuvvet değişimlerini ölçebilecek KISTLER 9121 tipi bir dinamometre kullanılmıştır (Şekil 3.7.a.). Dinamometrenin ölçüm aralıkları F_f ve F_p için ± 3 kN, F_z için ± 6 kN arasındadır. Dinamometre standart çalışma aralığının yanı sıra F_f ve F_p için ± 2 kN, F_c için ± 4 kN aralığında çalışabilecek şekilde kalibre edilmiştir. Dinamometre ile birlikte, ölçülen değerlerini kaydedebilmek için bir A/D veri toplama kartı ve yazılımı, bunlarla birlikte bir de 5070 A tipi amplifikatör kullanılmıştır (Şekil 3.7.b.). Ölçüm değerleri, Kistler Dynoware 2.5.3.8 yazılımı kullanılarak gerçek zamanlı olarak bilgisayar ortamında görülebilmektedir. Yazılım sayesinde, kuvvet ölçüm değerleri grafiksel ve nümerik olarak kaydedilebilmektedir.



Şekil 3.7. Kesme kuvveti ölçüm ekipmanları, a) 9121 tipi dinamometre, b) 5070 A tipi amplifikatör.

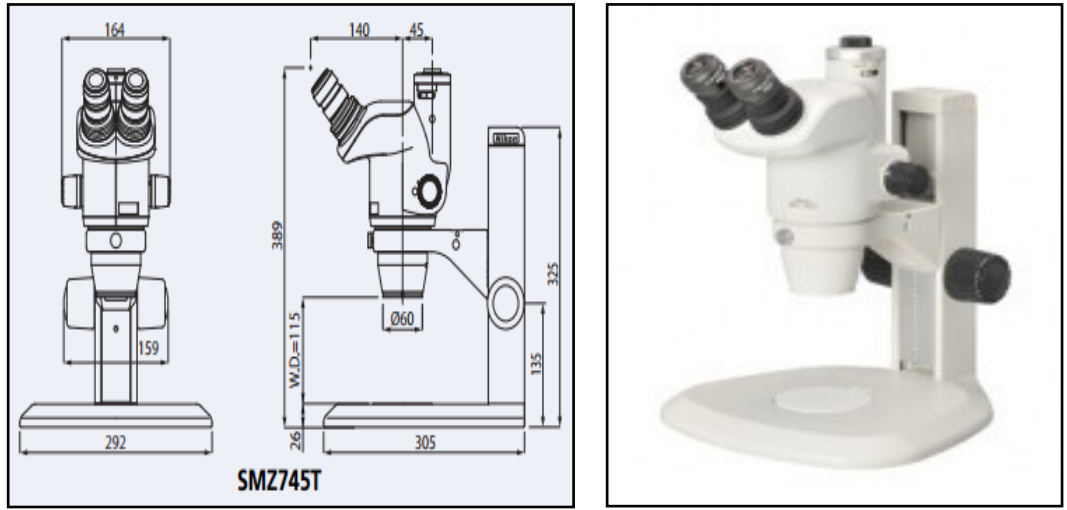
Deneysel olarak kullanılan dinamometre CNC torna tezgahına doğrudan bağlanamamaktadır. Rulman bileziklerinin yuvarlanma yollarının ve iç çap deliğinin sert tormalanmasında kesme kuvvetlerini ölçebilmek için sağ ve sol taret için iki farklı bağlama adaptörü tasarlanmıştır ve bunların imalatı yapılmıştır. Dinamometre bu adaptörlere bağlanarak tezgaha monte edilmiştir ve sert tormalama sırasında kesme kuvvetleri ölçülmüştür. Bu bağlama aparatları Şekil 3.8’de gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Dinamometre bağlama aparatı, a) sağ, b) sol taret.

3.5. TAKIM AŞINMASININ ÖLÇÜMÜ

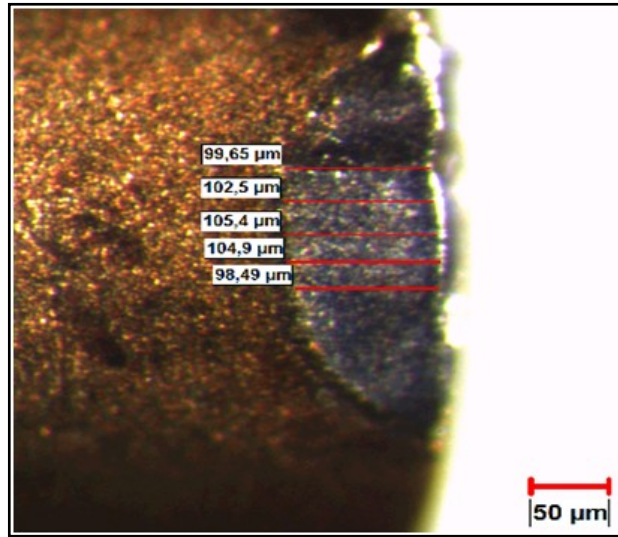
Sert tornalama deneyleri sonrasında CBN ve seramik kesici takımlarda oluşan aşınmaları belirlemek ve aşınma miktarlarını ölçmek için Nikon SMZ745T model bir takım mikroskobu kullanılmıştır. Takım mikroskobu 0,67-5X zoom büyütme ve 115mm uzunluğunda bir çalışma mesafesine sahiptir. Ekstra optik lensler kullanılarak 3,35-300X'e kadar büyütme yapılabilmektedir. Mevcut takım mikroskobu ile 100X'e kadar büyütme yapılabilmektedir. Takım mikroskobu 0,01 mm hassasiyetinde X ve Y yönünde hareket eden milimetrik tablaya sahiptir. Kesici takımında oluşan aşınmalar mikroskoba yerleştirilen bir kamera ile bilgisayar ortamına aktarılmakta ve bu görüntüler Clemex Captiva 6.0 bilgisayar yazılımı kullanılarak takım aşınmaları incelenebilmekte ve analiz edilebilmektedir. Takım mikroskobu Şekil 3.9'da gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Takım mikroskobu.

Yan yüzey aşınmasının büyüklüğü yan yüzeyde oluşan aşınma bandının genişliğinin ölçülmesi ile belirlenir. İç ve dış rulman bileziklerinin belirlenen kesme parametrelerinde sert tornalanmasından sonra kesici takımında oluşan yan yüzey aşınma band genişlikleri ölçülmüştür. Sert tornalama deneylerinde her bir parametre için yeni bir kesici takım kullanılarak kesme parametrelerinin takım aşınma etkisi belirlenmiştir.

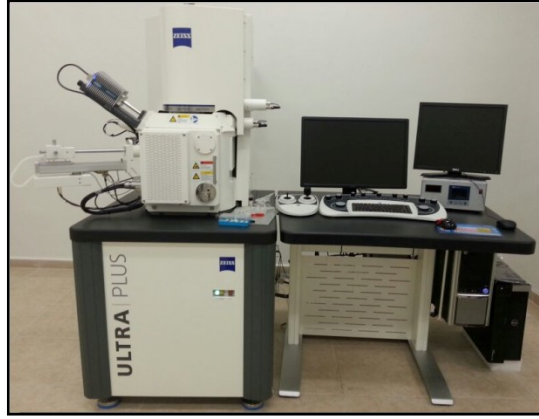
Belirlenen kesme parametrelerinde her bir parametre için 12 adet iç ve dış rulman bileziği işlenmiş ve sert tornalama işleminden sonra kesici takımda oluşan aşınma bandı genişlikleri ölçülmüştür. Kesici takımda oluşan yan yüzey aşınma bandı genişliğinin ölçümü Şekil 3.10'da gösterilmiştir. Kesici takım aşınma bandı genişlikleri Clemex Captiva yazılım programı kullanılarak ölçülmüştür. Ölçümler birden fazla noktadan yapılmış ve elde edilen veriler bilgisayar ortamına aktarılmış ve bilgisayar ortamında analizi yapılmıştır. Ölçüm işlemlerinden sonra kesici takımlarda oluşan aşınmalar sert tornalamadan sonra elde edilen diğer parametrelerle de (ölçü ve konum toleransları, yüzey pürüzlülüğü) karşılaştırılmıştır. Bu değerlendirme işlemlerinden sonra işlenen parça sayısının takım aşınmasına etkisini belirlemek amacı ile sabit ilerleme miktarı (0,04 mm/dev) ve üç farklı kesme hızı (120, 140, 160 m/dk) alınarak sert tornalama deneyleri yapılmıştır. Her bir parametre için 84 adet rulman bileziği işlenmiştir. Her bir işleme parametresinde 12 adet bilezik işlenmiş ve kesici takımda oluşan aşınma bandı genişliği ölçülmüştür. Daha sonra her 12 adet bilezik işlendikten sonra kesici takım aşınma bandı genişliği ölçülmüştür. Bu işlem işlenen bilezik sayısı 84 parçaya ulaşıncaya kadar tekrarlanarak takım aşınma bandı genişlikleri ölçülmüştür.



Şekil 3.10.Kesici takım yan kenar aşınma bandı ölçümü.

3.6. SEM İNCELEMESİ

CBN ve seramik kesici takımlarda oluşan aşınma mekanizmalarını ve tiplerini daha iyi analiz edebilmek için, aşınan kesici takımlar Karabük Üniversitesi Malzeme Araştırma ve geliştirme Merkezinde (MARGEM) bulunan Carl Zeiss Ultra Plus Gemini FESEM marka taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmiştir. SEM cihazı Şekil 3.11’de gösterilmiştir.



Şekil 3.11. SEM cihazı.

Sert tornalama işleminden sonra iç rulman bileziğinin yuvarlanma yolunda oluşan mikroyapıları incelemek amacı ile rulman bilezikleri aşındırıcı dik kullanılarak enine kesilerek yuvarlanma yolunun bir kesiti çıkartılmıştır. Kesilen numuneler, epoksi reçine içinde sıcak olarak bakalite alınmışlar ve sonrasında standart metalografik numune hazırlama işlemlerine (zımparalama ve parlatma) tabi tutulmuşlardır. Parlatma işlemi tamamlanan numunelerin mikroyapılarının görülebilmesi için dağlama işlemine tabi tutulmuşlardır. Dağlama işleminde amaç yüzey altındaki mikroyapı değişkenliklerini daha iyi görebilmektir. Bu amaç ile 2 ml HNO₃ (Nitrik Asit) ve 98 ml metanolden oluşan kimyasal solüsyonda 5-8 s dağlama yapılmıştır. Dağlama işlemi tamamlanan numuneler, X50-X1000 büyütme kapasiteli, Clemex Vision Lite görüntü analizine sahip Nikon Eclipse L150 marka optik mikroskop kullanılarak incelenmiştir. Mikroyapıdaki değişiklikleri görmek için numuneler ayrıca SEM ile de incelenmiştir.

3.7. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ, BOYUT VE KONUMTOLERANSLARININ ÖLÇÜLMESİ

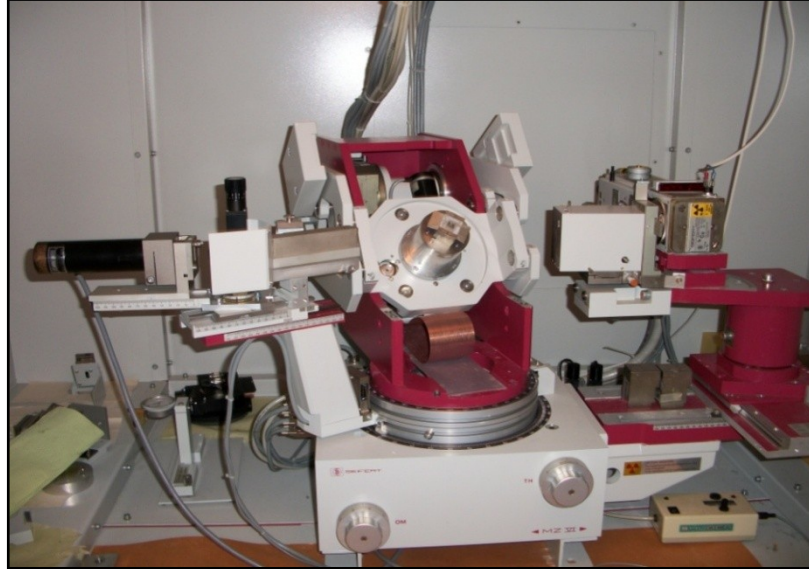
CBN ve seramik kesici takımlarla sert tormalanan iç ve dış rulman bileziklerinin yuvarlanma yollarında ve iç bileziğin iç çapının işlenmesinden sonra oluşan yüzey pürüzlülükleri ölçülmüştür.

İç ve dış rulman bileziklerinin sert tormalama yöntemi ile işlenmesinden sonra rulman bileziklerinin yapım resminde istenilen boyutsal ölçüm ile şekil ve konum toleranslarına uygun olup olmadığını kontrol etmek amacı ile ölçümler yapılmıştır. Aynı zamanda iç ve dış rulman bileziklerinin daireselliği ile iç çap ölçüsünün boyutları da ölçülerek işlemeden kaynaklanan çap hataları belirlenmiştir.

Rulman bileziklerinin yüzey pürüzlülükleri, boyut ve konum toleranslarının ölçülmesinde ORS bünyesinde bulunan Mahr Surf XC20 profil tarama cihazı, Taylor Hobson HPR dairesellik ölçme cihazı ve Form Talysurf PGI+ form ve pürüzlülük ölçme cihazı, iç bileziğin iç çapının ölçülmesinde Diatest UD-1 cihazı kullanılmıştır.

3.8. KALINTI GERİLME ÖLÇÜMÜ

Farklı kesme parametrelerinde CBN ve seramik kesici takımlarla sert tormalama yapılan iç ve dış rulman bileziklerinin yuvarlanma yollarında oluşan kalıntı gerilmeler ölçülmüştür. Kalıntı gerilmelerin ölçülmesinde ORS firmasında bulunan SEIFERT 3003 PTS marka XRD cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. XRD cihazı.

3.9. MİKROSERTLİK ÖLÇÜMLERİ

Mikrosertlik ölçümleri, KBÜ Teknoloji Fakültesi malzeme laboratuvarlarında bulunan, Şekil 3.13’da resmi verilen Shimadzu HMV marka cihaz ile HV cinsinden ölçülmüştür. Sertlik ölçümlerinde 9,807 N kuvvet ve 10 s süre uygulanarak Vickers sertlik ölçeğinde ölçülmüş ve sonuçlar her bir bölgede gerçekleştirilen 3 ölçüm sonucunun ortalaması alınarak değerlendirilmiştir.



Şekil 3.13. Mikrosertlik ölçüm cihazı görüntüsü.

3.10. KESME PARAMETRELERİNİN SEÇİMİ

İç ve dış rulman bileziklerinin sert tornalamasında kullanılacak kesme parametrelerini belirlemek için farklı firmalara ait kesici takımlar farklı kesme parametrelerinde işlenerek ön deneyler yapılmıştır. Yapılan ön deneylerde, literatür araştırmasında ve kesici takım firmalarının tavsiyeleri dikkate alınarak kesme parametreleri belirlenmiştir (Çizelge 3.3). CBN ve seramik kesici takımlar için üç farklı kesme hızı ve ilerleme miktarı belirlenmiş ve belirlenen parametreleri Çizelge 3.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.3. CBN kesici takım için kesme parametre önerileri [130].

Kesme hızı, v_c m/dk (ft/dk)	50 (164)	100 (328)	150 (492)	200 (656)	250 (820)
İlerleme, f_n mm/dev (inç/dev)	0.1 (0.0039)	0.2 (0.0079)	0.3 (0.0118)	0.4 (0.0157)	0.5 (0.0197)
Kesme derinliği, AP mm (inç)	0.1 (0.0039)	0.2 (0.0079)	0.3 (0.0118)	0.4 (0.0157)	0.5 (0.0197)

■ = Önerilen başlangıç değeri

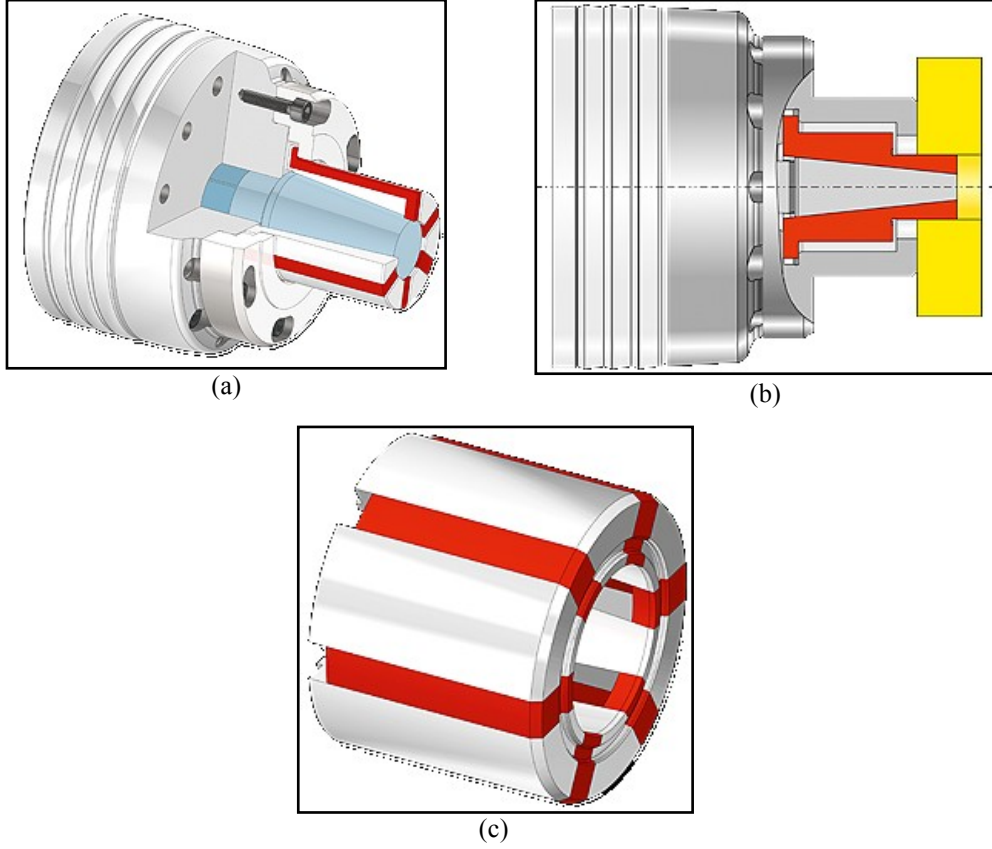
Çizelge 3.4. CBN ve seramik kesici takımlar için kesme parametreleri

Sıra No	CBN		Seramik	
	Kesme Hızı (m/dk)	İlerleme (mm/dev)	Kesme Hızı (m/dk)	İlerleme (mm/dev)
1	120	0,04	100	0,04
2	120	0,06	100	0,06
3	120	0,08	100	0,08
4	140	0,04	120	0,04
5	140	0,06	120	0,06
6	140	0,08	120	0,08
7	160	0,04	140	0,04
8	160	0,06	140	0,06
9	160	0,08	140	0,08

3.11.İŞ PARÇASI BAĞLAMA APARATI

Rulman bileziklerinin tasarımı çok sıkı ölçü ve geometrik toleranslar gerektirdiği için iş parçası bağlama sistemi çok büyük önem arz etmektedir. Bu nedenle bilezikleri hassas şekilde bağlayıp işleyebilmek amacı ile San-Tez Projesi kapsamında iç ve dış

rulman bilezikleri için özel iki ayna tasarımı ve imalatı yapılmıştır. Bu aynalar özel pensli ve hidrolik çekme yaparak sıkma yapan sisteme sahiptir (Şekil 3.14).



Şekil 3.14. Bağlama sistemi bileşenleri, a) ayna, b) sıkma sistemi, c) özel pens [131].

3.12. DENEY SETİNİN OLUŞTURULMASI

Kurulan bu sistemin esası, iç ve dış rulman bileziklerinin hassas bir şekilde bağlanarak bileziklerin yuvarlanma yollarını ve iç bileziğin iç çapının sert tornalama yöntemi ile işlenmesine ve işleme sırasında kesici takımında oluşan kuvvetlerin ölçülmesine dayanmaktadır. İç ve dış rulman bileziklerinin hassas şekilde bağlanabilmesi için çift iş milli CNC tezgahı kullanılmıştır. Rulman bileziklerini bağlanmasında sağ ve sol iş milleri için özel olarak imalatı yapılmış özel pensli aynalar bağlanmıştır. Bileziklerde salgı hassasiyeti çok önemli olduğundan aynaların salgısı minimum seviyeye indirilmiştir. Rulman bilezikleri ince cidarlı olduklarından sıkma esnasında esneme yaparak dairesellik, salgı ve ovallik gibi ölçü ve tolerans hatalarına neden olmaktadır. Bu nedenle yapılan çalışmalarda sıkma basıncının

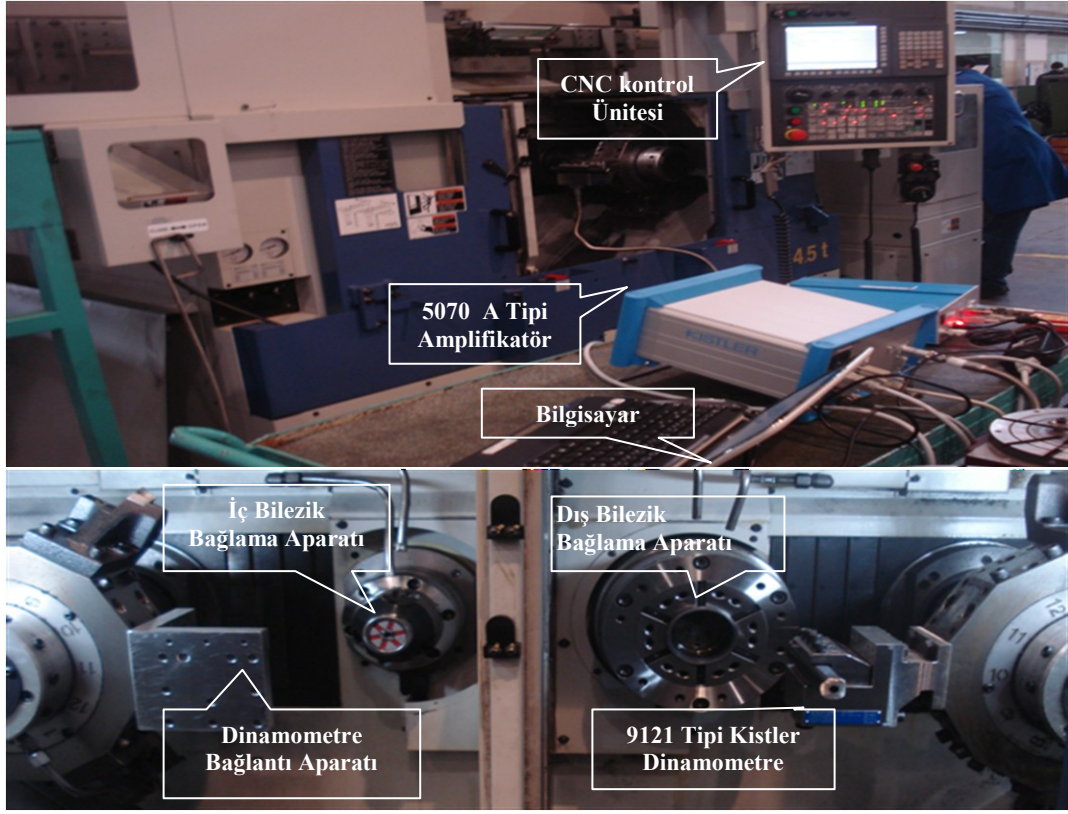
önemli olduğu tespit edilmiş ve mümkün olduğunca düşük sıkma basıncında bağlanmasına karar verilmiş ve sıkma basıncı 5 bar olacak şekilde ayarlanmıştır (Şekil 3.15).

İç rulman bileziğinin işlenmesinde, bilezik otomatik bir robot kol yardımı ile sağ aynadaki pense dıştan sıkacak şekilde bağlanmakta ve iç çap tornalaması yapılmaktadır. İç çapın tornalanması son derece önemlidir. Bu işlemede oluşabilecek hatalar bir sonraki operasyonu etkilemekte ve burada oluşan hataların diğer operasyona yansımaya neden olmaktadır. İç çap tornalama işleminden sonra parça otomatik bir robot kolu yardımı ile sol aynadaki pense bağlanarak işlenmiş olan iç çaptan bağlanmakta ve iç rulman bileziğinin yuvarlanma yolu işlenmektedir.

Dış rulman bileziklerinin işlenmesinde sadece sağ ayna kullanılarak dış bileziğin yuvarlanma yolu işlenmiştir.

Kesme kuvveti ölçümlerinde, dinamometreyi bağlayabilmek için tasarlanan aparat CNC tezgahın sol taretine bağlanmış ve bunun üzerine dinamometre monte edilmiştir. Dinamometrenin amplifikatör, amplifikatörün bilgisayar ile bağlantısı yapılmıştır. Bilgisayarda bulunan Dynoware yazılımı ile kuvvet ölçümleri yapılmış her bir parametre için kayıtlar alınmıştır.

Kesme kuvveti ölçümlerinde ilk olarak iç rulman bileziğinin iç çap tornalamasında oluşan kesme kuvvetleri, daha sonra sırasıyla iç rulman bileziğinin ve dış rulman bileziğinin yuvarlanma yollarının işlenmesinde oluşan kesme kuvvetleri ölçülmüştür. Deneylerin tümünde aynı şartları oluşturmak için her bir deney sonrası tezgahdurdurularak, kesme hızı, ilerleme ve kullanılan kesici takımın kesici kenarı değiştirilmiş ve deneylerde aynı işlemler tekrarlanarak deneyler tamamlanmıştır.



Şekil 3.15. Sert tornalama ve kuvvet ölçümü için oluşturulan deney düzeneği.

BÖLÜM 4

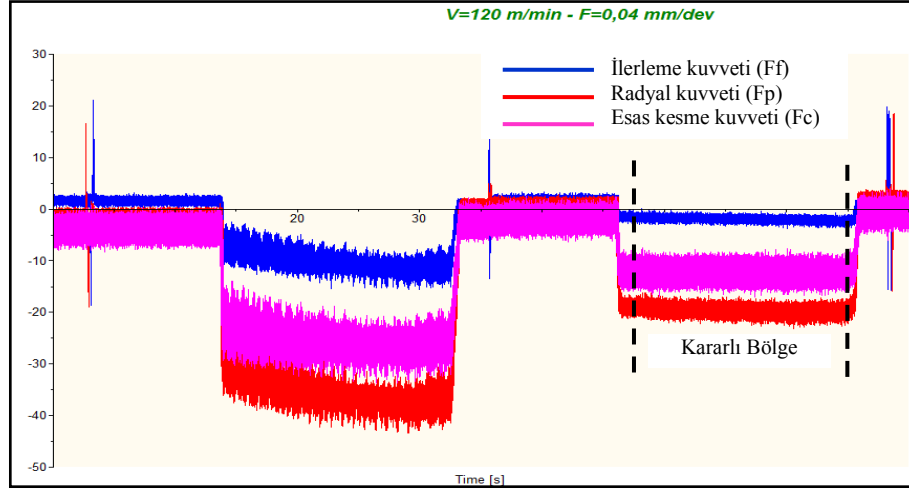
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

4.1. KESME KUVVETLERİ

Bu bölümde, sertleştirilmiş iç ve dış rulman bileziklerinin CBN ve seramik takımlarla işlenmesinde üç farklı kesme hızı ve ilerleme miktarında oluşan kesme kuvvetleri ölçülmüştür. İç rulman bileziğinin delik çapı ve yuvarlanma yolu ile dış bileziğin yuvarlanma yolunun işlenmesinde oluşan kesme kuvvetleri ölçülmüştür.

4.1.1. İç Rulman Bileziğinin İşlenmesinde Oluşan Kesme Kuvvetleri

İç bilezik delik çapının ve yuvarlanma yolunun CBN ile işlenmesinde 120, 140 ve 160 m/dk, seramik kesici takımlarla işlenmesinde 100, 120 ve 140 m/dk kesme hızları ve her iki kesici takım için üç farklı ilerleme miktarı (0,04, 0,06 ve 0,08 mm/dev) kullanılmıştır. Belirtilen kesme parametreleriyle işlemede oluşan kuvvetler ölçülmüştür. Tornalama sırasında oluşan kuvvet bileşenleri; esas kesme kuvveti (F_c), ilerleme kuvveti (F_f) ve radyal kuvvettir (F_p). İç bilezik delik çapının işlenmesi iki pasoda gerçekleştirilmiş olup 1. pasoda 0,1 mm, 2. pasoda 0,05 mm kesme derinliğinde oluşan kuvvetlerin ölçümü yapılmıştır. Ölçülen kuvvetlerin zamana bağlı olarak değişimi Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Şekil 4.1'de görüldüğü gibi, kuvvetlerin kararlı olduğu bölgenin başlangıç ve bitiş noktasındaki değerlerin ortalaması alınarak her kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliğinde ortalama esas kesme kuvveti (F_c), ilerleme kuvveti (F_f) ve radyal kuvvet (F_p) bileşenleri belirlenmiştir. 1. pasoda oluşan kuvvetlerle 2. pasoda oluşan kuvvetlerde benzer eğilimler görülmüştür. 2. pasoda kesme derinliğinin düşük ve son işleme yüzeyi olması nedeniyle elde edilen yüzey pürüzlülüğünün rulman için önemli olmasından dolayı işleme sırasında oluşan kuvvetlerin değerlendirilmesi 2. pasoda oluşan kuvvetler dikkate alınmıştır.



Şekil 4.1. İç bilezik delik çapının CBN ile işlenmesinde oluşan kuvvetlerin zamana göre değişimi.

İç bilezik delik çapının seramik ve CBN kesici takımlarla işlenmesinde oluşan kuvvetler tüm kesme parametrelerinde Şekil 4.1'deki şekle benzer eğilimler göstermiştir. Radyal kuvvetlerin esas kesme kuvvetlerinden daha yüksek çıktığı görülmektedir. Kesme derinliğinin düşük olmasının radyal kuvvetlerin artmasına neden olduğu düşünülmektedir. Bu nedenle delik içi tornalamada oluşan kuvvetlerden sadece radyal kuvvetlerin değerlendirilmesi yapılmıştır. İç bilezik delik çapının 0,025 mm kesme derinliğinde CBN ile işlenmesinde oluşan kuvvetler Çizelge 4.1'de, seramik ile işlemede oluşan kuvvetler Çizelge 4.2'de verilmiştir.

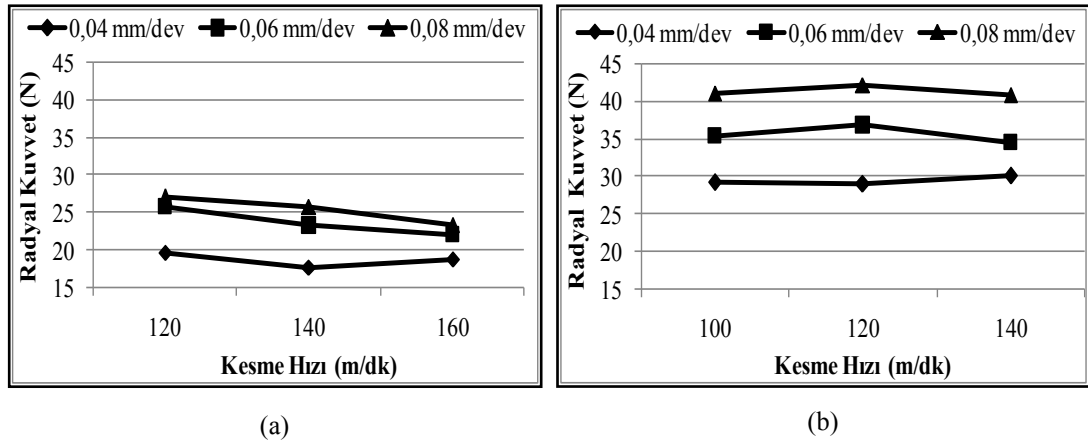
Çizelge 4.1. İç bilezik delik çapının CBN ile işlenmesinde elde edilen kuvvetler.

Sıra No	Kesme hızı (m/dk)	İlerleme (mm/dev)	İlerleme kuvveti, Ff (N)	Radyal kuvvet, Fp (N)	Esas kesme kuvveti, Fc (N)
1	120	0,04	1,9	19,59	12,19
2	120	0,06	2,84	25,75	17,32
3	120	0,08	2,6	27	18,71
4	140	0,04	2,45	17,63	6,93
5	140	0,06	2,52	23,24	15,55
6	140	0,08	2,64	25,77	17,05
7	160	0,04	1,9	18,7	11,64
8	160	0,06	2,93	22,05	13,39
9	160	0,08	2,99	23,43	12,97

Çizelge 4.2. İç bilezik delik çapının seramik ile işlenmesinde elde edilen kuvvetler.

Sıra No	Kesme hızı (m/dk)	İlerleme (mm/dev)	İlerleme kuvveti, Ff (N)	Radyal kuvvet, Fp (N)	Esas kesme kuvveti, Fc (N)
1	100	0,04	3,5	29,1	14,1
2	100	0,06	4,96	35,4	19,8
3	100	0,08	5,8	41,1	19,6
4	120	0,04	3,2	28,9	14,7
5	120	0,06	6,7	36,8	17,6
6	120	0,08	5,7	42,2	18
7	140	0,04	4,1	30	11,7
8	140	0,06	4,6	34,5	12,5
9	140	0,08	5,5	40,9	15,2

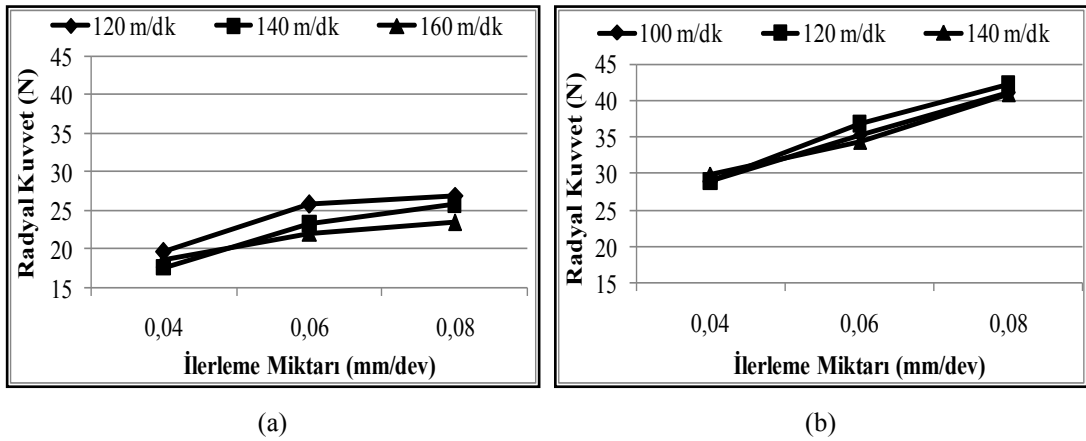
Çizelge 4.1 ve 4.2’de listelenen deneysel sonuçlar esas alınarak, kullanılan üç farklı ilerleme miktarı için ortalama radyal kuvvetlerin kesme hızına bağlı olarak değişimi Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. İç bilezik delik çapının işlenmesinde oluşan radyal kuvvetlerin kesme hızına göre değişimi, a) CBN, b) seramik.

Şekil 4.2.’deki grafiklerde, deneylerde kullanılan üç farklı kesme hızı dikkate alındığında, CBN ile işlemede kesme hızının artmasıyla radyal kuvvette (F_p) düzenli bir azalma olduğu görülmektedir. Kesme hızının artmasıyla kesme kuvvetlerindeki düşüş kısmen takım talaş ara yüzeyindeki temas alanının azalmasıyla ve kısmen de artan kesme hızıyla artan sıcaklık sonucu bu bölgedeki malzemenin kayma dayanımının (k_r) düşmesiyle açıklanabilir [132].

Genel olarak kesme hızının artması ile kesme kuvvetlerinde bir azalma beklenir ancak seramik ile işlemede kesme hızının artması ile radyal kuvvetlerde 1-2 N'luk bir artma ya da azalma görülmektedir. İç bilezik delik çapının seramik ile işlenmesinde oluşan radyal kuvvetlerin CBN ile işlemede oluşan radyal kuvvetlerden daha yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 4.2). Bu durum her iki kesici takımın farklı kesici kenar geometrisine sahip olmalarına atfedilebilir. Seramik kesici takım kesici kenar pah açısı CBN kesici takımından daha fazladır. CBN ile işlemede, en düşük radyal kuvvet 0,04 mm/dev ilerleme miktarı ve 140 m/dk kesme hızında oluşurken en yüksek radyal kuvvet 0,08 mm/dev ilerleme miktarı ve 140 m/dk kesme hızında oluşmuştur. Seramik kesici takım ile işlemede en yüksek radyal 120 m/dk kesme hızı ve 0,08 mm/dev'de oluşurken en düşük radyal kuvvet aynı kesme hızında 0,04 mm/dev'de oluşmuştur. Her iki kesici takımında en düşük radyal kuvvetler 0,04 mm/dev ilerleme miktarında elde edilmiştir.

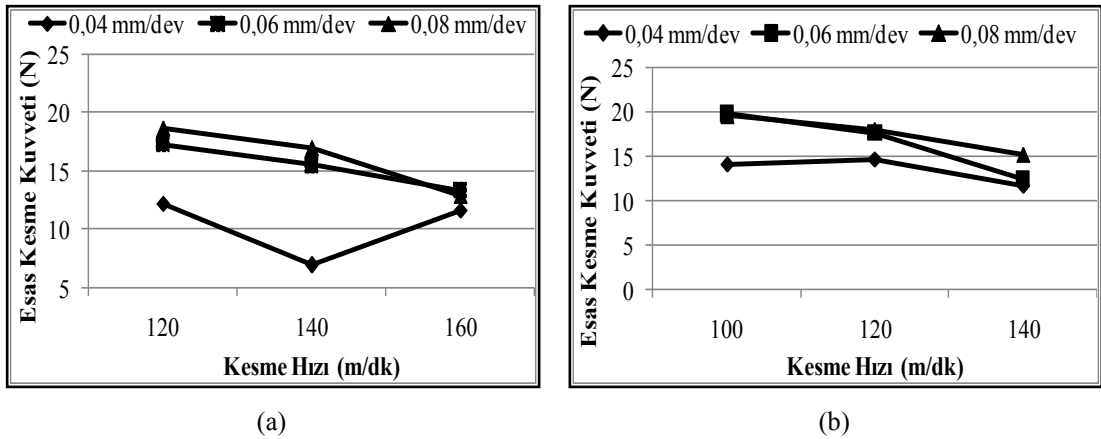


Şekil 4.3. İç bilezik delik çapının işlenmesinde oluşan radyal kuvvetlerin ilerleme miktarına göre değişimi, a) CBN, b) seramik.

Deneysel olarak kullanılan üç farklı ilerleme miktarı için, radyal kuvvetlerin değişimi değerlendirilecek olursa, Şekil 4.3'te görüldüğü gibi her iki kesici takım ile işlemede ilerleme miktarının artmasıyla radyal kuvvetlerin arttığı görülmektedir. İlerleme miktarının artması ile birlikte talaş kesit alanı artmakta bu da radyal kuvvetlerin artmasına neden olmaktadır. Talaş kaldırma işlemlerinde ilerleme miktarının artması ile ilerleme kuvvetlerinde bir artış beklenir ancak burada kesme derinliğinin az olması nedeniyle talaş oluşumu kesici takımın uç noktasında oluşmakta ve bu da radyal kuvvetlerin artmasına neden olmaktadır. Talaş derinliğinin düşük olmasından

dolayı kesici takım yanaşma açısı ve arka kesme kenar açısı değişmekte bu da kesici takımın uç kısmındaki gerilmeyi arttırmakta ve dolayısıyla radyal kuvvetlerin artmasına neden olmaktadır [133]. Sert tornalamada radyal kuvvetin esas kesme kuvvetinden daha yüksek çıkması sert tornalama ile geleneksel tornalamayı birbirinden ayıran önemli özelliklerden biri olduğu kabul edilmektedir [2,133].

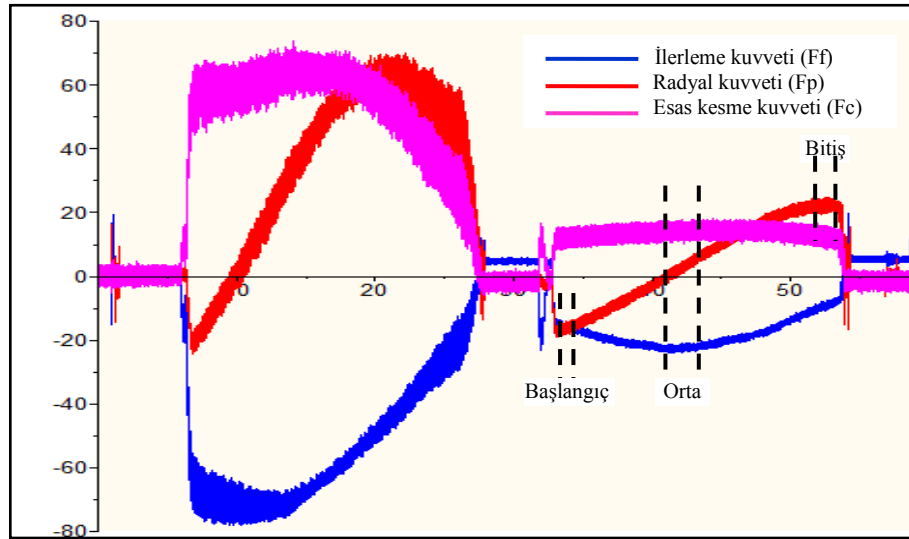
Şekil 4.4'te iç delik çapının CBN ve seramik kesici takım ile işlenmesinde oluşan esas kesme kuvvetlerinin kesme hızına göre değişimi verilmektedir. Esas kesme kuvvetlerindeki değişim radyal kuvvetlerdeki değişim ile benzerlik göstermektedir. Her iki kesici takım malzemesinde kesme hızının artması ile birlikte esas kesme kuvvetlerinde 1-5 N'luk bir azalma görülmüştür.



Şekil 4.4. İç bilezik delik çapının işlenmesinde oluşan esas kesme kuvvetinin kesme hızına göre değişimi, a) CBN b) seramik.

Talaş kaldırma sırasında oluşan kesme kuvvetleri üzerinde, ilerleme miktarındaki artışın kesme hızına göre farklı bir etkiye sahip olduğunu ve ilerleme miktarının artmasıyla esas kesme kuvvetlerinin arttığı görülmüştür. Bu durum, teorik yaklaşımlar esas alındığında esas kesme kuvveti $F_c = A \cdot k_s$ gibi değerlendirilebilir. Burada, A'yı belirleyen unsur $f \cdot a$ olduğundan göre f 'deki artışla birlikte kesme kuvvetlerinin de artması normaldir. 0,04 mm/dev ilerleme miktarı ve 140 m/dk kesme hızında CBN ile işlemede esas kesme kuvvetinde % 50 - % 60 arasında bir azalma görülmüştür. 0,04 mm/dev ilerleme miktarında elde edilen esas kesme kuvvetleri tüm kesme hızlarında düşük değerdedir.

İç bilezik yuvarlanma yolunun işlenmesi 2 pasoda gerçekleştirilmiş olup 1. pasoda 0,2 mm ve 2. pasoda 0,1 mm kesme derinliği kullanılmıştır. İç bilezik yuvarlanma yolunun işlenmesi sırasında oluşan kuvvet grafikleri delik işleme ve literatürde belirtilen dış çap işleme grafiklerine göre farklılık arz etmektedir. Bu durum yuvarlanma yolunun belirli bir formda olmasından kaynaklanmaktadır. Yuvarlanma yolu işlenirken takımın ilerlemesiyle kesici takım temas noktası değişkenlik göstermekte bu da talaş kesit alanlarının değişmesine neden olmaktadır. Dolayısıyla oluşan kuvvetler formun başlangıç noktasında eksi yönde iken formun bitiş noktasında artı yönde olmaktadır (Şekil 4.5). CBN ve seramik kesici takımla işlemede oluşan kuvvetler birbirleri ile benzer eğilimler göstermiştir. Yuvarlanma yolunun işlenmesinde oluşan kuvvetlerin değerlendirilmesinde 2. pasonun işlenmesinde oluşan kuvvet değerleri dikkate alınmıştır. Yuvarlanma yolunun işlenmesinde oluşan radyal kuvvetler, yuvarlanma yolu formunun başlangıç ve bitiş yerlerinde oluşan kuvvet değerlerinin ortalaması, ilerleme ve esas kesme kuvveti ise yuvarlanma yolunun orta noktasında oluşan kuvvet değerlerinin ortalaması alınarak belirlenmiştir.



Şekil 4.5. İç bilezik yuvarlanma yolunun işlenmesinde oluşan kuvvetlerin zamana göre değişimi.

İç bilezik yuvarlanma yolunun CBN kesici takımla işlenmesinde elde edilen kesme kuvvet bileşenlerinin değerleri Çizelge 4.3'te, seramik kesici takımla işlemede elde edilen kesme kuvvet bileşenlerinin değerleri Çizelge 4.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. İç bilezik yuvarlanma yolunun CBN ile işlenmesinde elde edilen kuvvetler.

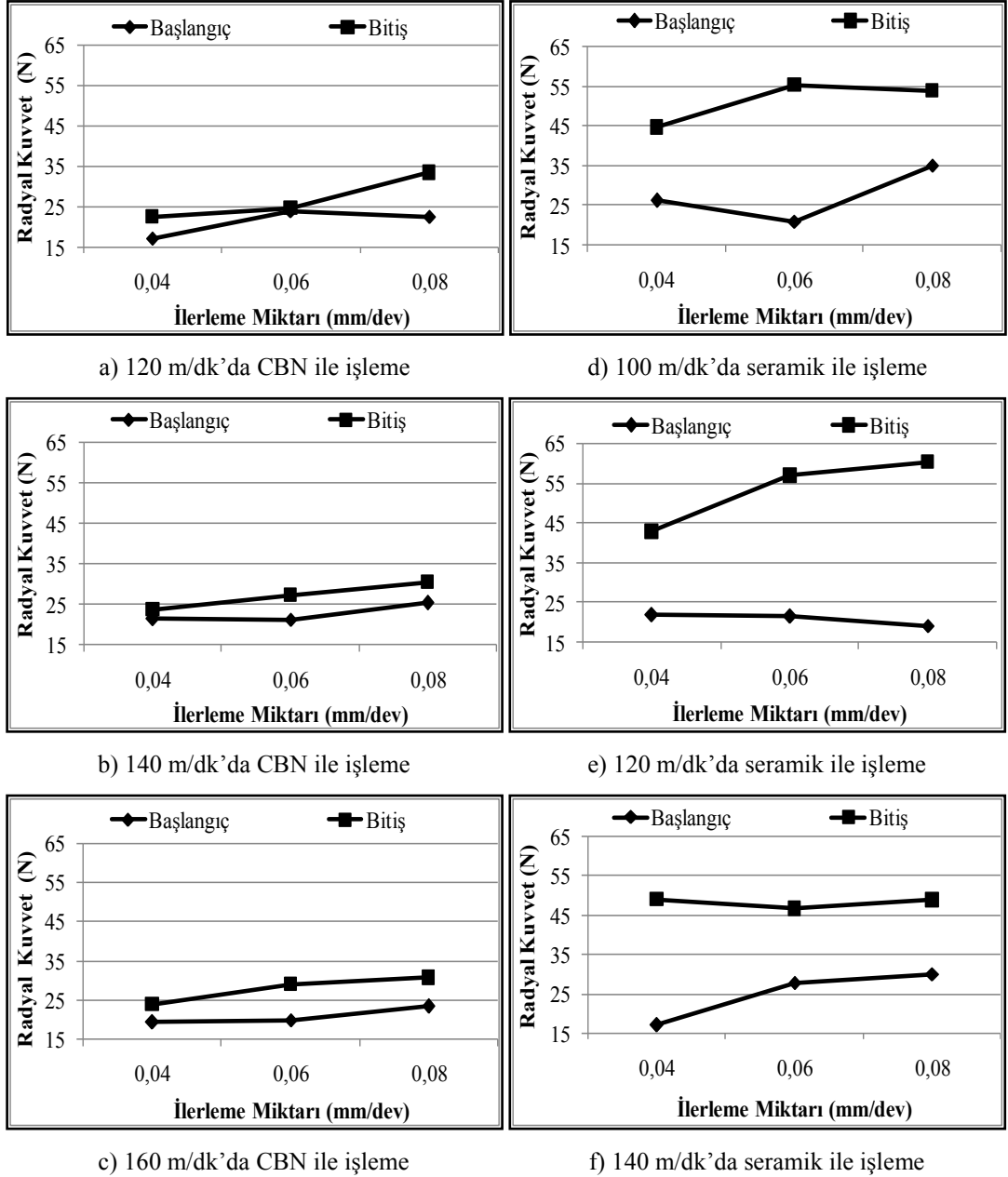
Sıra No	Kesme Hızı (m/dk)	İlerleme (mm/dev)	İlerleme kuvveti, Ff (N)	Radyal kuvvet başlangıç, Fp (N)	Radyal kuvvet bitiş, Fp (N)	Esas kesme kuvveti, Fc (N)
1	120	0,04	22,65	16,97	22,3	14,2
2	120	0,06	27,44	23,8	24,5	13,42
3	120	0,08	33,6	22,4	33,25	21,85
4	140	0,04	26,2	19,2	23,8	13,7
5	140	0,06	29,8	19,9	29,1	17,4
6	140	0,08	31,8	23,3	30,6	20,7
7	160	0,04	25,4	21,4	23,8	11,7
8	160	0,06	26,3	21,1	27,3	13,85
9	160	0,08	31,7	25,3	30,4	17

Çizelge 4.4. İç bilezik yuvarlanma yolunun seramik ile işlenmesinde elde edilen kuvvetler

Sıra No	Kesme Hızı (m/dk)	İlerleme (mm/dev)	İlerleme kuvveti, Ff (N)	Radyal kuvvet başlangıç, Fp (N)	Radyal kuvvet bitiş, Fp (N)	Esas kesme kuvveti, Fc (N)
1	120	0,04	38	26,1	44,7	12
2	120	0,06	40,1	21	55,3	22
3	120	0,08	47,1	35	54	28,3
4	140	0,04	33,8	21,8	42,8	17,9
5	140	0,06	38,7	21,4	57	24
6	140	0,08	44,4	19	60,3	26,9
7	160	0,04	33	17	49	20,3
8	160	0,06	43	27,7	46,7	24
9	160	0,08	42,1	30	48,9	26,1

İç bilezik yuvarlanma yolunun 0,05 mm kesme derinliğinde CBN ve seramik kesici takımlarla işlenmesinde elde edilen radyal kuvvetlerin kesme hızına göre değişimleri Şekil 4.6'da gösterilmiştir. Şekil 4.6'da görüldüğü gibi ilerleme miktarının artması ile birlikte yuvarlanma formunun başlangıç ve bitiş noktalarında radyal kuvvetlerde bir artış gözlenmektedir. Kesici takımında, yuvarlanma yolu formunu işlemeye başladığı nokta ile formun bittiği noktada oluşan radyal kuvvetlerde farklılık görülmektedir. Yuvarlanma yolunun bitiş noktasında oluşan radyal kuvvetlerin başlangıçtan daha fazla olduğu görülmektedir. Bu durum başlangıç ve bitiş noktasında oluşan talaş kesit alanlarının farklı olmasından kaynaklanmaktadır (Şekil 4.7). Talaş derinliğinin düşük ve işlenen yüzeyin belirli bir forma sahip olmasından

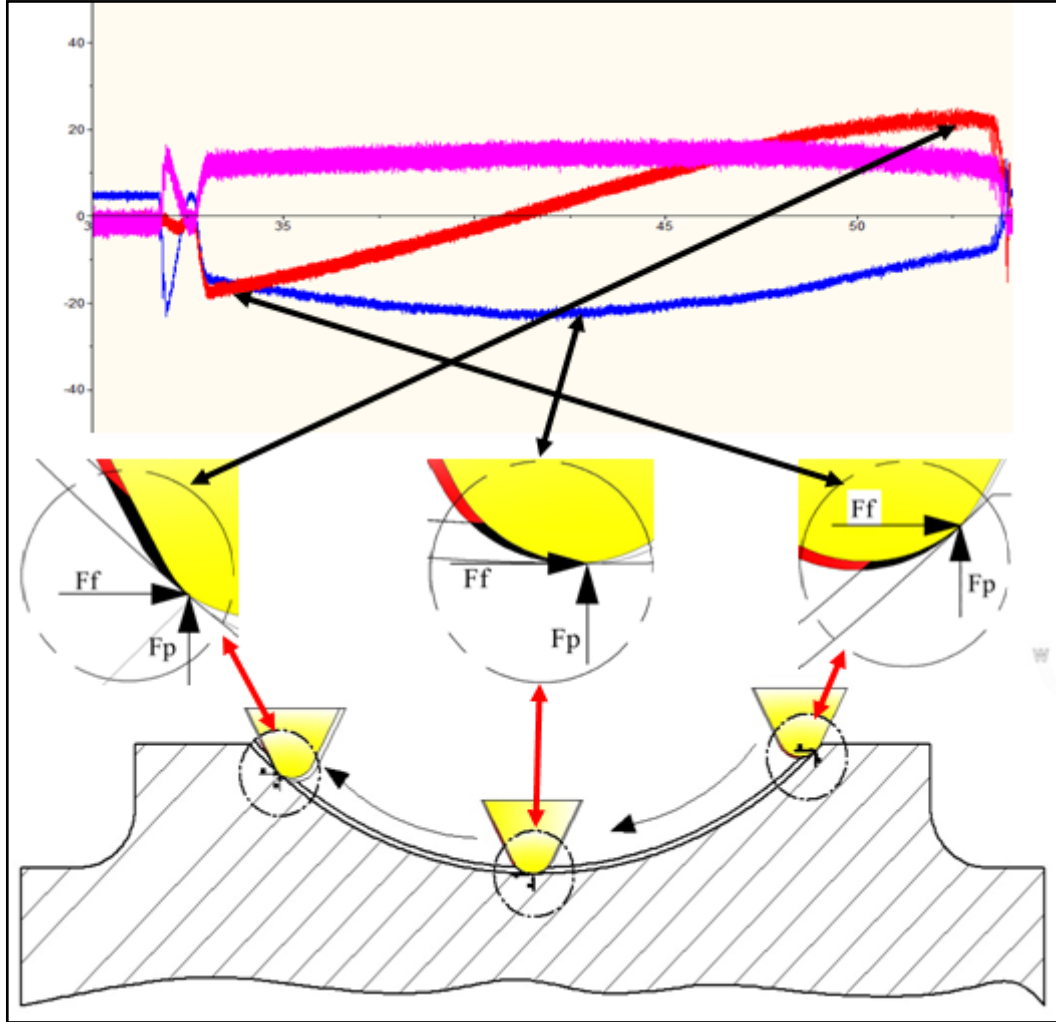
dolayı kesici takımın uç kısmı kesme işlemini gerçekleştirmektedir. Aynı zamanda kesici takımın ilerlemesi ile birlikte yuvarlanma yolu formundan dolayı kesici kenarın temas bölgesinde de değişimler görülmektedir.



Şekil 4.6. İç bilezik yuvarlanma yolunun işlenmesinde oluşan radyal kuvvetlerin ilerleme miktarına göre değişimi.

Yuvarlanma yolunun seramik kesici takım ile işlenmesinde oluşan radyal kuvvetler CBN ile işlemede oluşan kuvvetlerle aynı eğilimi göstermiştir. Seramik kesici takım ile işlemede oluşan radyal kuvvetlerin CBN ile işlemede oluşan radyal kuvvetlerden

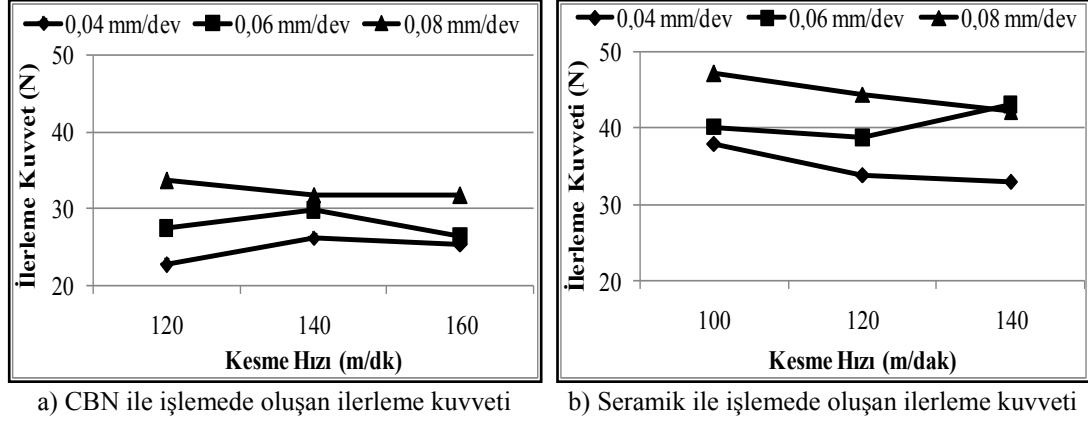
daha fazla olduğu görülmüştür (Şekil 4.6). Bu durum daha önce de bahsedildiği gibi seramik kesici takımın CBN'den farklı kesici kenar geometrisine sahip olmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.7. İç bilezik yuvarlama yolunda talaş kesit değişimleri ve kuvvetler.

Şekil 4.8'de iç rulman bilezik yuvarlanma yolunun CBN ve seramik kesici takımla işlenmesinde oluşan ilerleme kuvvetinin kesme hızına göre değişimi gösterilmiştir. CBN ile işlemede kesme hızının 120 m/dk'dan 140 m/dk'ya çıkması ile birlikte 0,04 ve 0,06 mm/dev ilerleme miktarında ilerleme kuvvetlerinde bir artış olurken kesme hızının 160 m/dk'ya çıkması ile birlikte ilerleme kuvvetlerinde bir azalma görülmüştür. İlerleme miktarının artması ile birlikte ilerleme kuvvetlerinin arttığı görülmüştür. İlerleme miktarının artması ile talaş kesiti artmakta buda talaş

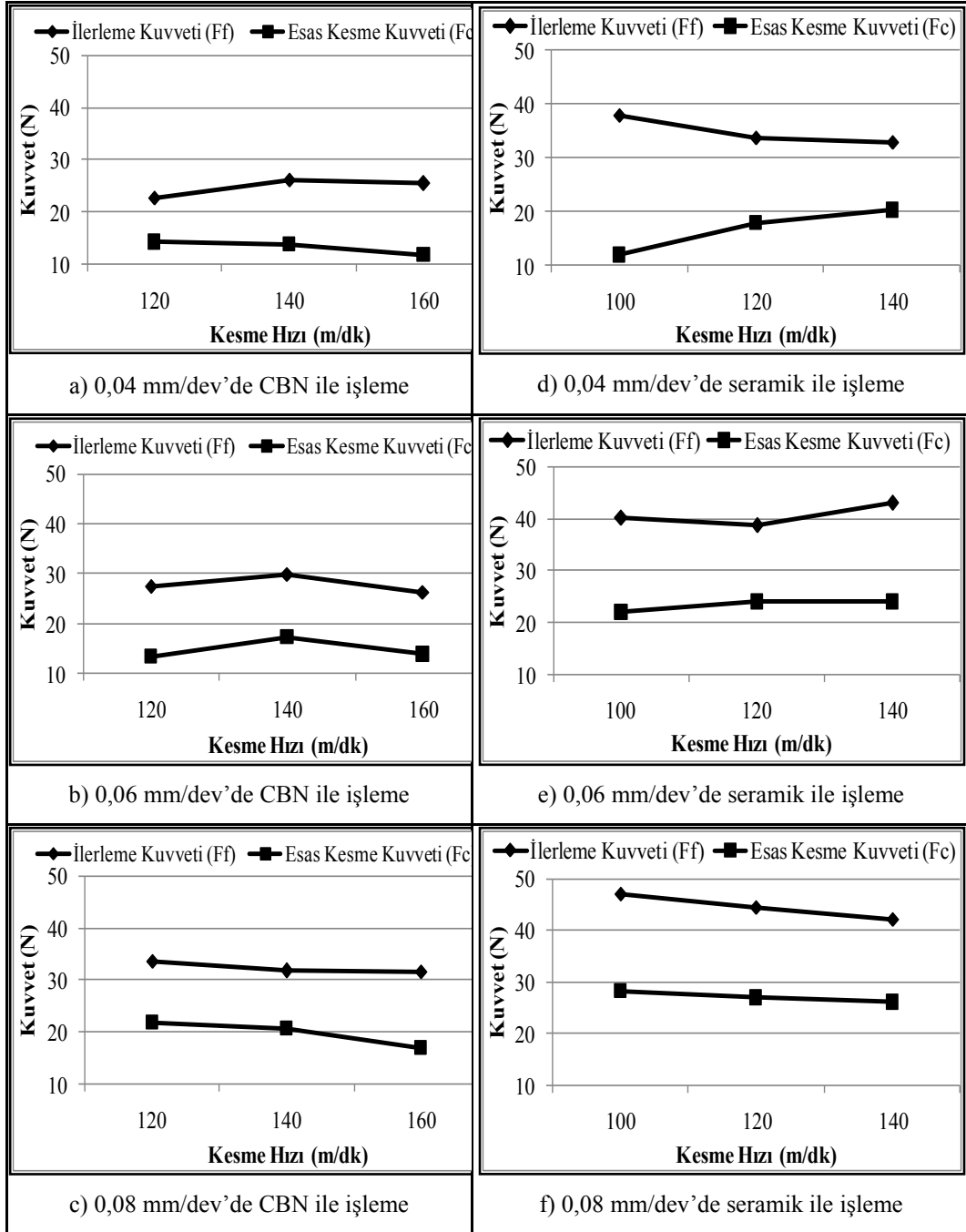
kaldırmak için gerekli olan enerji miktarının artmasına neden olmakta ve ilerlemenin artması ile daha yüksek kesme kuvvetleri oluşmaktadır.



Şekil 4.8. İç bilezik yuvarlanma yolunun işlenmesinde oluşan ilerleme kuvvetlerinin kesme hızına göre değişimi.

Seramik kesici takım ile işlemede, kesme hızının artması ile birlikte ilerleme kuvvetlerinde bir azalma görülürken ilerleme miktarının artması birlikte ilerleme kuvvetlerinde bir artış görülmektedir. En düşük ilerleme kuvveti, 140 m/dk kesme hızı ve 0,04 mm/dev ilerleme miktarında elde edilmiştir. Seramik ile işlemede oluşan ilerleme kuvvetleri CBN ile işlemede oluşan ilerleme kuvvetlerinden %30 ila %67 daha fazladır. Her iki kesici takımında 0,04 mm/dev ilerleme miktarında düşük ilerleme kuvvetleri elde edilmiştir.

Şekil 4.9'da iç bilezik yuvarlanma yolunun CBN ve seramik kesici takımla işlenmesinde yuvarlanma yolu formunun orta noktasında oluşan ilerleme kuvveti ile esas kesme kuvvetlerinin kesme hızına göre değişimleri gösterilmiştir.



Şekil 4.9. İç bilezik yuvarlanma yolunun işlenmesinde oluşan kuvvetlerin kesme hızına göre değişimleri.

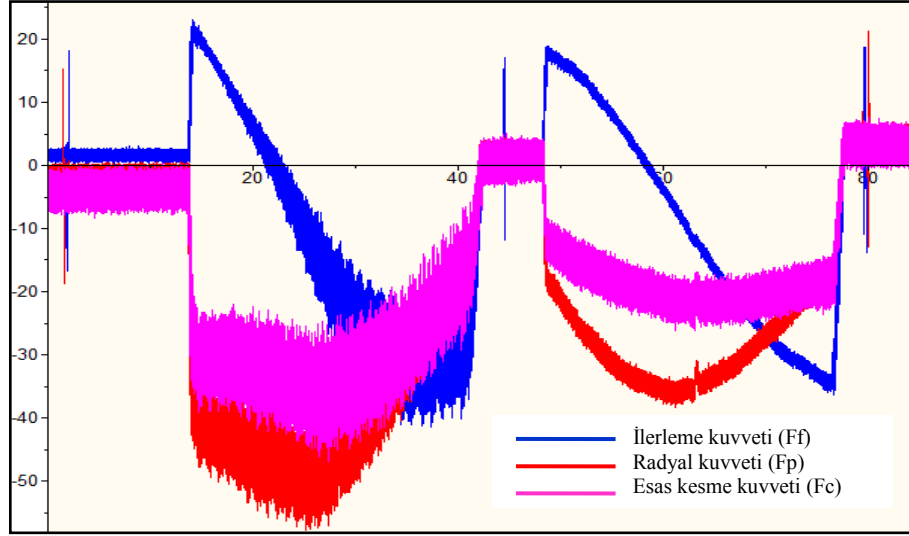
İç bilezik yuvarlanma yolunun işlenmesinde oluşan ilerleme kuvvetinin esas kesme kuvvetinden daha fazla olduğu görülmektedir. Şekil 4.7'de gösterildiği gibi yuvarlanma yolunun tam orta noktasında radyal kuvvet en az olurken ilerleme kuvveti en fazla olmaktadır. CBN ile işlemede kesme hızının artması ile birlikte ilerleme kuvvetinde önce bir artış ve daha sonra bir azalma görülmektedir. 0,06

mm/dev ilerleme miktarında oluşan ilerleme kuvveti ile esas kesme kuvveti aynı eğilimi göstermiştir. 0,08 mm/dev ilerleme miktarında ise kesme hızının artması ile birlikte ilerleme kuvvetinde ve esas kesme kuvvetinde bir azalma görülmüştür (Şekil 4.9). İlerleme miktarının artması ile birlikte ilerleme ve esas kesme kuvvetinde bir artma görülmektedir. Bu durum ilerlemenin artması ile birlikte talaş kesit alanının artmasına atfedilebilir.

Seramik ile işlemede oluşan ilerleme kuvveti ve esas kesme kuvveti CBN ile işlemede oluşan kuvvetlerle benzer eğilimler göstermiştir. Seramik kesici takımla ile işlemede oluşan ilerleme kuvvetleri CBN ile işlemede oluşan ilerleme kuvvetlerinden daha yüksektir. Bu durum kesici kenar geometrisindeki pah açısı ve uzunluğunun fazla olmasına atfedilebilir. Literatürde de, kesici kenar honlanma miktarının ve pah açısının artmasıyla kesici takımında oluşan ilerleme ve radyal kuvvetlerin arttığı belirtilmektedir. Burada elde edilen kuvvetler literatürle paralellik arz etmektedir.

4.1.2. Dış Rulman Bileziğinin İşlenmesinde Oluşan Kesme Kuvvetleri

Rulman dış bilezik yuvarlanma yolu, iç bilezikte olduğu gibi CBN kesici takımlar kullanılarak 2 pasoda işlenmiştir. 1. pasoda 0,2 mm ve 2. pasoda 0,1 mm kesme derinliği, 120, 140 ve 160 m/dk kesme hızları ve 0,04, 0,06, 0,08 mm/dev ilerleme miktarları kullanılmıştır. Dış bilezik yuvarlanma yolunun CBN kesici takımla işlenmesinde oluşan kuvvetlerin zamana göre değişimini gösteren grafik Şekil 4.10'da verilmiştir. İlerleme kuvveti için yuvarlanma yolunun başlangıç ve bitişinde oluşan kuvvet değerlerinin ortalaması, esas kesme kuvveti ve radyal kuvvet için yuvarlanma yolunun orta noktasında oluşan kuvvetlerin ortalaması alınmıştır. 0,05 mm kesme derinliğinde ortalaması alınan kesme kuvvetlerinin değerleri Çizelge 4.5'te gösterilmiştir.

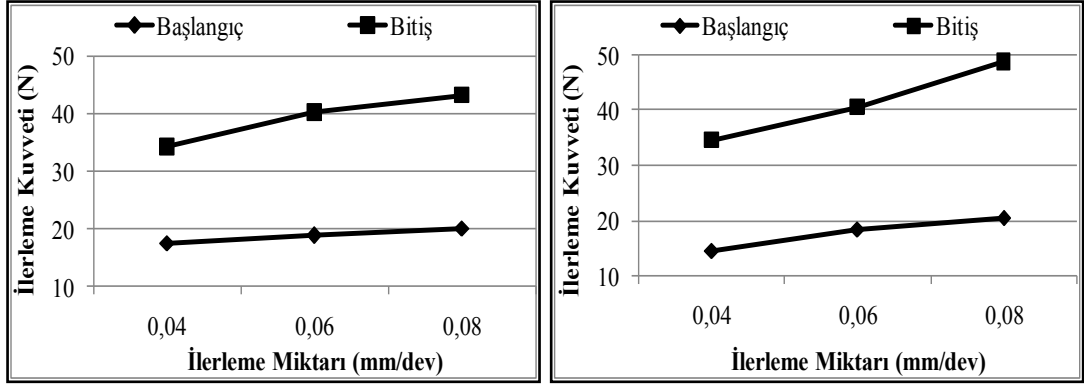


Şekil 4.10. Dış bilezik yuvarlanma yolunun CBN kesici ile işlenmesinde oluşan kuvvetlerin zamana göre değişimi.

Çizelge 4.5. Dış bilezik yuvarlanma yolunun CBN ile işlenmesinde elde edilen kuvvetler.

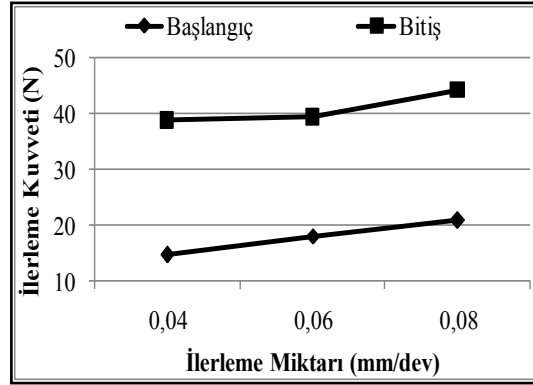
Sıra No	Kesme Hızı (m/dk)	İlerleme (mm/dev)	İlerleme kuvveti başlangıç, Ff (N)	İlerleme kuvveti bitiş, Ff (N)	Radyalkuvvet Fp (N)	Esas kesme kuvveti, Fc (N)
1	120	0,04	17,5	34,2	35,8	21
2	120	0,06	18,8	40,2	44,1	25,1
3	120	0,08	20,1	43,1	46,1	31,2
4	140	0,04	14,55	34,6	30,7	16,5
5	140	0,06	18,5	40,6	42	28,8
6	140	0,08	20,6	48,8	46,5	34,9
7	160	0,04	14,6	38,7	36	22,9
8	160	0,06	18,1	39,3	41,7	28
9	160	0,08	20,8	44,2	45,6	31,5

Dış bilezik yuvarlanma yolunun 0,1 mm kesme derinliğinde CBN kesici takımla işlenmesinde elde edilen ilerleme kuvvetlerinin kesme hızına göre değişimi Şekil 4.11’de gösterilmiştir.



(a)

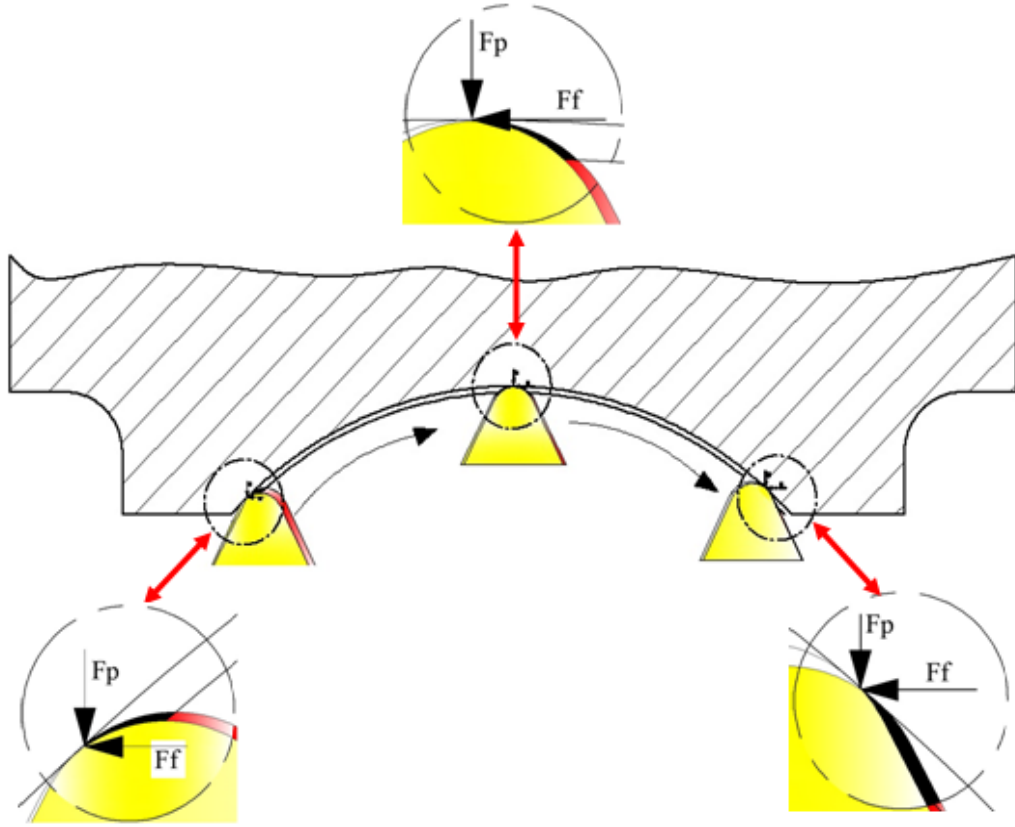
(b)



(c)

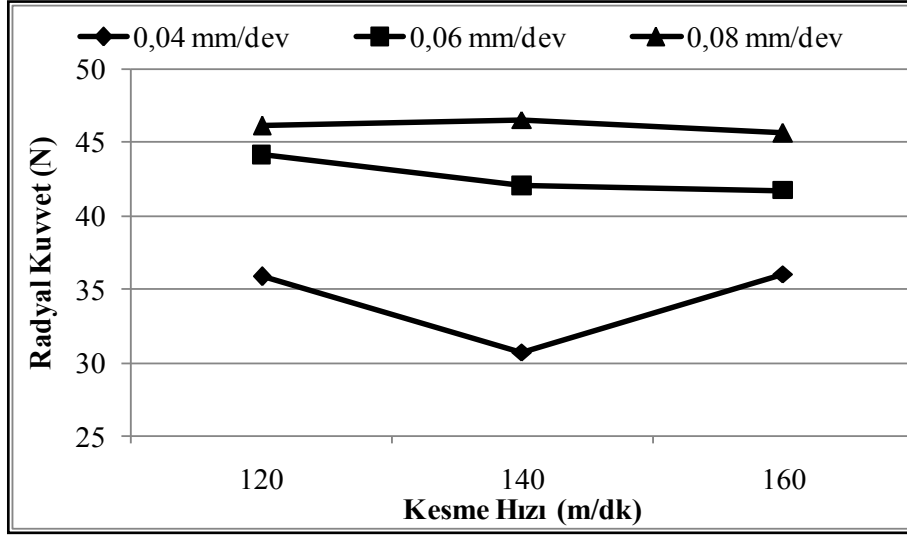
Şekil 4.11. Dış bilezik yuvarlanma yolunun CBN ile işlenmesinde oluşan ilerleme kuvvetinin ilerleme miktarına göre değişimi a) 120 m/dk, b) 140 m/dk, c) 160 m/dk.

İç bilezik yuvarlanma yolundan farklı olarak dış bilezik yuvarlanma yolunda kuvvetlerin yönünde değişimler söz konusudur. Dış bilezikte radyal kuvvet yerine ilerleme kuvvetinde yön değişikliği oluşmuştur. Dış bilezik yuvarlanma yolunda takım iç bilezik yuvarlanma yoluna göre saatin tersi yönünde hareket etmektedir. Şekil 4.11'te görüldüğü gibi ilerleme miktarının artması ile birlikte yuvarlanma formunun başlangıç ve bitiş noktalarındaki ilerleme kuvvetlerinde bir artış gözlenmektedir. Kesici takımında, yuvarlanma yolu formunu işlemeye başladığı nokta ile formun bittiği noktada oluşan ilerleme kuvvetlerinde farklılık görülmektedir. Formun başladığı noktada kesici takım iş parçasına hem dalmaya hem de ilerlemeye çalışmaktadır bu nedenle dalmadan dolayı radyal kuvvetin büyüklüğü ilerleme kuvvetinden fazla olmaktadır. Formun bittiği noktada oluşan ilerleme kuvveti, başlangıç noktası oluşan ilerleme kuvvetlerinden daha yüksektir. Çünkü burada takım talaş kesitinde ve takım temas uzunluğunda bir değişim oluşmaktadır (Şekil 4.12).



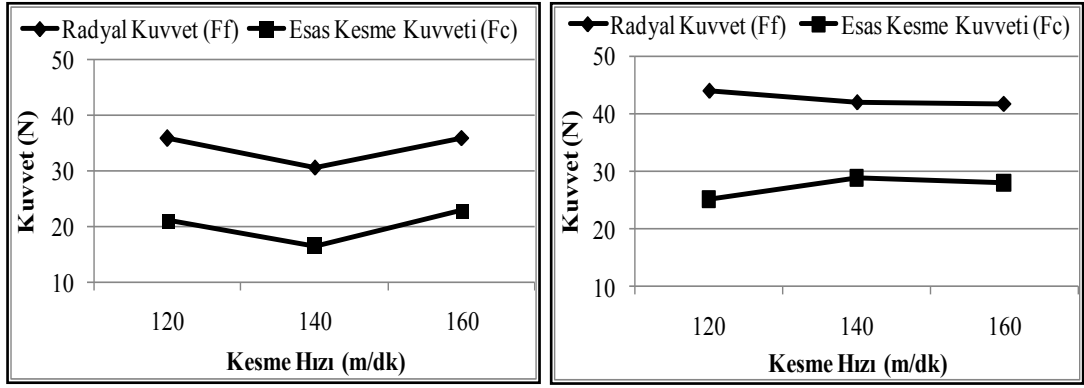
Şekil 4.12. Dış bilezik yuvarlanma yolunda talaş kesiti değişimleri ve kuvvetler.

Dış bilezik yuvarlanma yolunun 0,1 mm kesme derinliğinde CBN kesici takımla işlenmesinde elde edilen radyal kuvvetlerinin kesme hızına göre değişimi Şekil 4.13'te gösterilmiştir. Kesme hızının artması ile radyal kuvvetlerde bir azalmanın olduğu görülmektedir. En düşük radyal kuvvetler 0,04 mm/dev ilerleme miktarında elde edilmiştir.



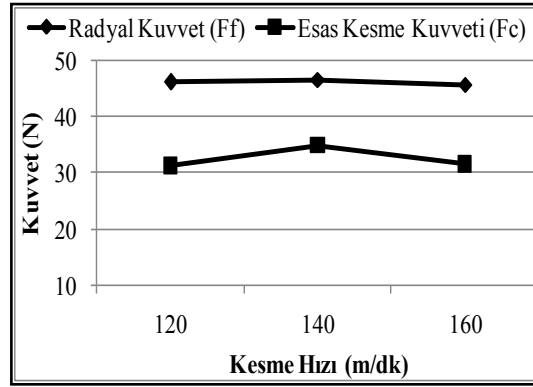
Şekil 4.13. Dış bilezik yuvarlanma yolunun CBN ile işlenmesinde oluşan radyal kuvvetin kesme hızına göre değişimi.

Dış bilezik yuvarlanma yolunun CBN ile işlenmesinde formun orta noktasında oluşan radyal ve esas kuvvetlerin değerlendirilmesi yapılmıştır. Şekil 4.14'te dış bilezik yuvarlanma yolunun 0,1 mm kesme derinliğinde işlenmesinde oluşan radyal kuvvetler ile esas kesme kuvvetlerinin kesme hızına göre değişimleri gösterilmiştir. Dış bilezik yuvarlanma yolunun işlenmesinde oluşan radyal kuvvetinin esas kesme kuvvetinden daha fazla oluştuğu görülmektedir. Kesme hızının artması ile birlikte kesme kuvvetlerinin azalması beklenen bir durumdur. Ancak 0,04 mm/dev ilerleme miktarında kesme hızının 140 m/dk 'ya çıkması ile birlikte radyal kuvvette bir azalma oluşurken kesme hızının 160 m/dk 'ya çıkması ile radyal kuvvette bir artış görülmektedir. Bu durum formun tam ortasında ilerleme kuvvetinde bir azalma olması ve dolayısıyla burada oluşan diğer kuvvet bileşenlerinin arttığı düşünülmektedir. Çünkü aynı eğilim esas kesme kuvvetinde de görülmektedir. 0,06 ve 0,08 mm/dev ilerleme hızlarında oluşan radyal ve esas kesme kuvvetleri benzer eğilimler göstermektedir. İlerlemenin artması ile birlikte radyal kuvvetlerde bir artışın olduğu görülmektedir.



(a)

(b)



(c)

Şekil 4.14. Dış bilezik yuvarlanma yolunun CBN ile işlenmesinde oluşan kuvvetlerin kesme hızına göre değişimi, a) 0,04 mm/dev, b) 0,06 mm/dev, c) 0,08 mm/dev.

4.2. KESİCİ TAKIM AŞINMALARI

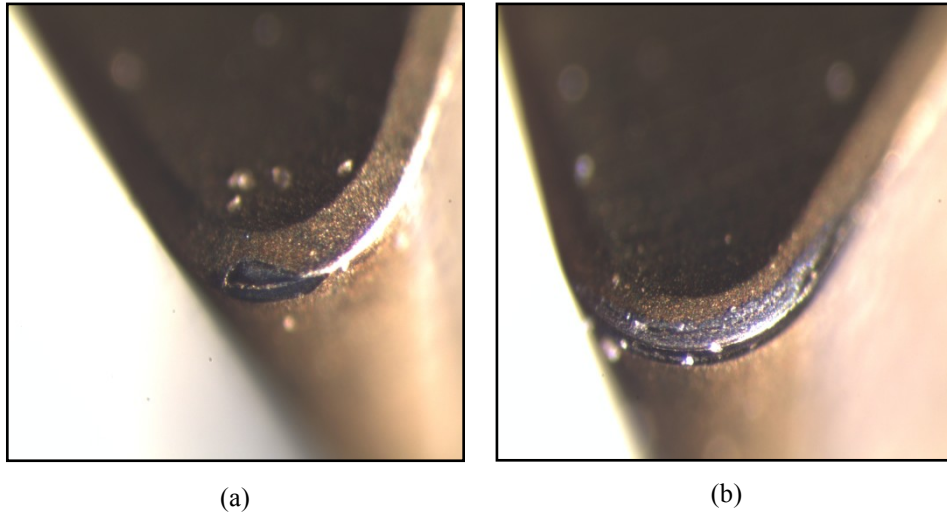
4.2.1. İç Rulman Bileziğinin CBN İle İşlenmesinde Oluşan Aşınmalar

CBN ve seramik kesici takımlarla Çizelge 4.6'da belirtilen kesme parametrelerinde işlemede kesici takımlarda oluşan aşınmalar incelenmiştir. İç bileziğin CBN ile işlenmesinde kesici takımında oluşan aşınma miktarları takım mikroskobu kullanılarak ölçülmüştür. Her bir parametre için 12 adet rulman bileziği işlendikten sonra yan kenar aşınma bandı genişlikleri ölçülmüştür. Daha sonra da 0,04 mm/dev ilerleme miktarında ve üç farklı kesme hızında 84 adet rulman bileziği işlenmiş ve her 12 adet bilezik işlemeden sonra oluşan aşınmalar ölçülmüştür.

Çizelge 4.6. Rulman bileziklerinin işlenmesinde kullanılan kesme parametreleri.

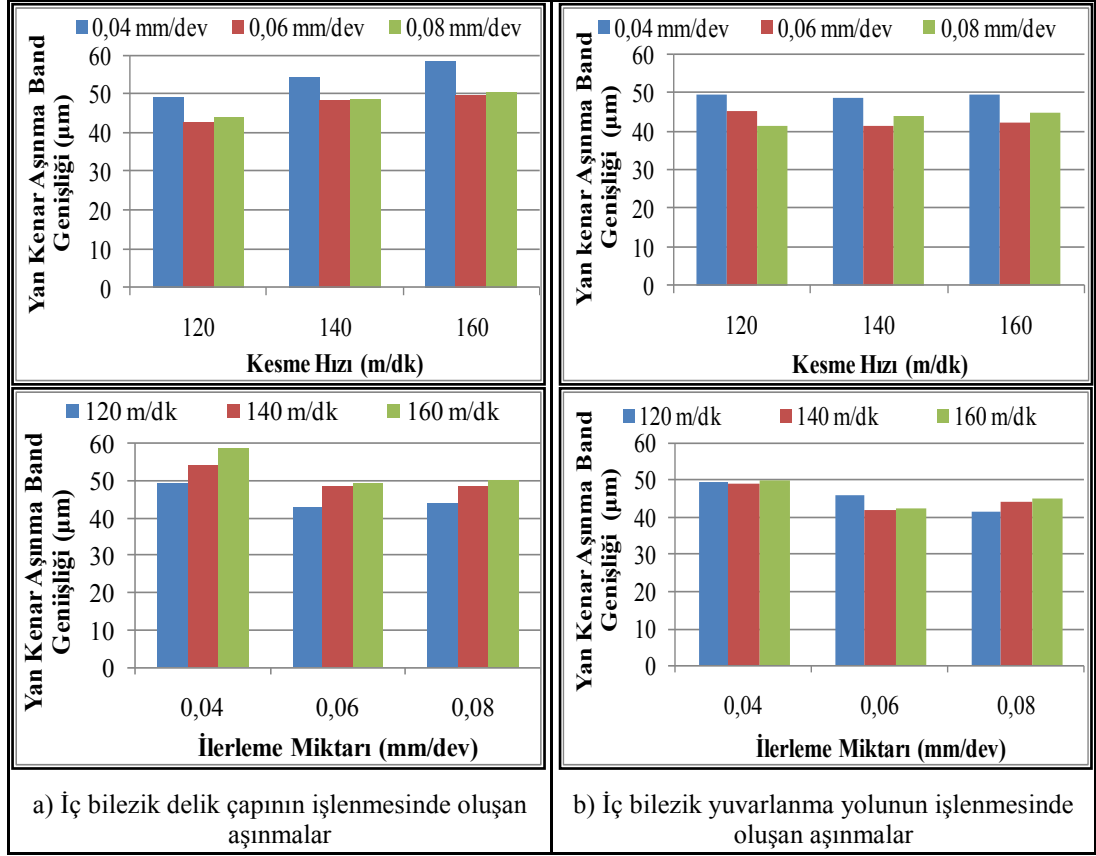
Sıra No	CBN		Seramik		Deney No											
	Kesme Hızı (m/dk)	İlerleme (mm/dev)	Kesme Hızı (m/dk)	İlerleme (mm/dev)	12	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	120	0,04	100	0,04	12	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
2	120	0,06	100	0,06	12	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
3	120	0,08	100	0,08	12	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
4	140	0,04	120	0,04	12	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
5	140	0,06	120	0,06	12	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
6	140	0,08	120	0,08	12	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
7	160	0,04	140	0,04	12	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
8	160	0,06	140	0,06	12	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
9	160	0,08	140	0,08	12	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	

İç bileziğin işlenmesinde kesici takımında oluşan aşınmaların takım mikroskobu ile elde edilen görüntüleri Şekil 4.15'te gösterilmiştir.



Şekil 4.15. İç bileziğin 120 m/dk ve 0,04 mm/dev'de CBN ile işlenmesinde kesici takımında oluşan aşınmalar (100X), a) delik çapının işlenmesi, b) yuvarlanma yolunun işlenmesi.

Ölçülen aşınma bandı genişliklerinin kesme hızına ve ilerleme miktarlarına göre değişimleri Şekil 4.16'da gösterilmiştir.



Şekil 4.16. İç bileziğin CBN ile işlenmesinde oluşan aşınma miktarları.

Şekil 4.16’da görüldüğü gibi iç bilezik delik çapının CBN ile tornalanmasında kesme hızının artması ile aşınma miktarında bir artış olduğu görülmektedir. Şekil 4.16’dan görüldüğü gibi kesme hızı ve ilerleme miktarı takım aşınmasında etkili faktörlerdir. Genel olarak artan kesme hızı tahmin edildiği gibi takım aşınmasını artırmaktadır. Diğer yandan artan ilerleme miktarı ise takım aşınmasını düşürür. Ancak, yüksek ilerleme miktarında işleme zamanı ve işleme uzunluğunun daha az olduğu dikkate alınmalıdır. Bu nedenle, artan ilerleme hızı ile aşınmanın düşmesi bu şekilde açıklanabilir. 120 m/dk kesme hızında en düşük yan kenar aşınması elde edilmiştir. En yüksek aşınma miktarları 160 m/dk kesme hızında elde edilmiştir. İlerleme miktarının 0,04 mm/dev’den 0,06 mm/dev’e çıkması ile yan kenar aşınmasında bir azalma görülmektedir. 0,06 mm/dev ve 0,08 mm/dev ilerleme miktarlarında aşınmalar birbirlerine yakın değerlerde ölçülmüştür.

İç bilezik delik çapının işlenmesinde kesici takımlarda oluşan aşınma tipinin daha çok yan yüzey aşınması ve krater aşınması şeklinde gerçekleştiği ve aşınmaların

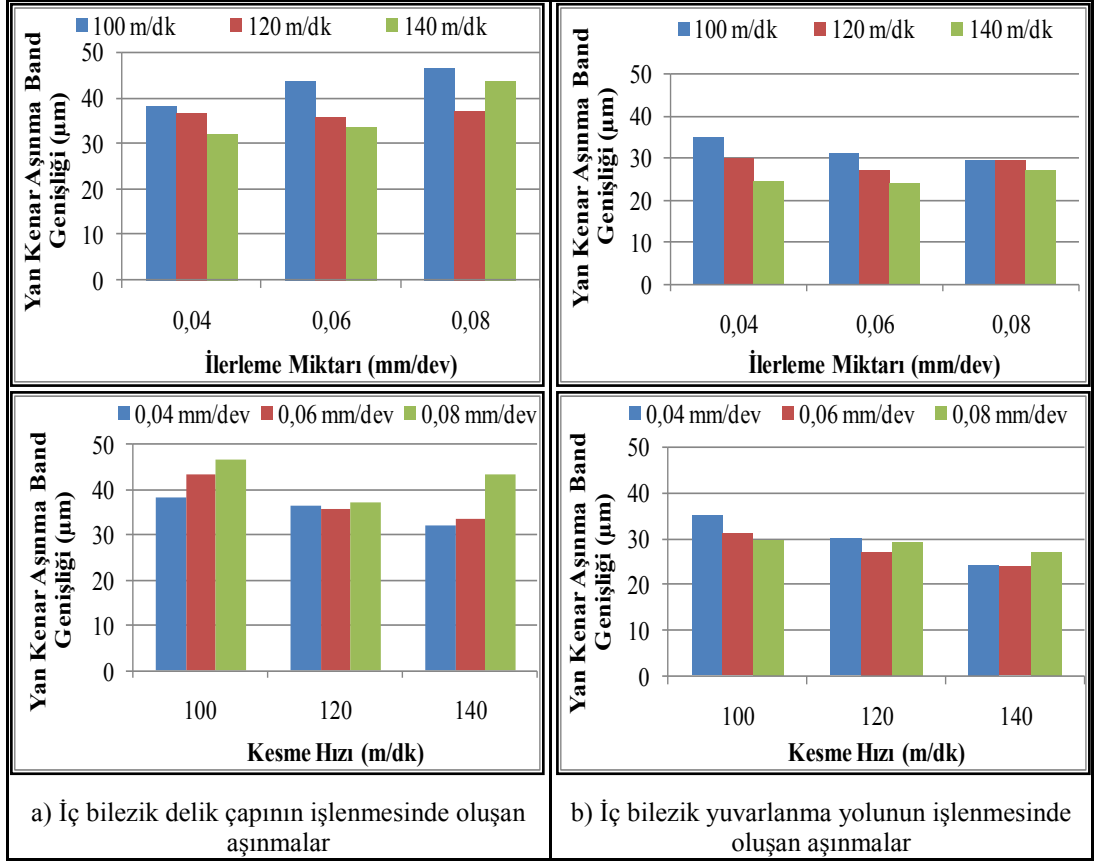
düzenli olduğu görülmüştür. Tüm kesme parametrelerinde aynı tipte ve birbirine yakın değerlerde aşınma miktarlarının oluştuğu gözlemlenmiştir.

İç bilezik yuvarlanma yolunun işlenmesinde 120 m/dk kesme hızında ilerleme miktarının artması ile aşınma bandı genişliklerinde bir azalmanın olduğu görülmüştür. Yuvarlanma yolunun işlenmesinde 0,04 mm/dev ilerlemede genellikle kesici takımında oluşan yan yüzey aşınmasının diğerlerine göre fazla olduğu görülmüştür. Bu durum ilerleme miktarının düşük olmasından dolayı kesici ucun iş parçasına daha fazla temas etmesine ve bu temas ile iş parçası malzemesindeki sert partiküllerle kesici takımın daha fazla karşılaşmasıyla açıklanabilir. 120 m/dk ve 0,04 mm/dev ilerleme miktarında aşınmanın fazla olmasına rağmen yuvarlanma yolunun işlenmesinde iç bilezik ölçülerine ve toleranslarına en uygun değerler bu işleme koşulunda elde edilmiştir.

Yuvarlanma yolunun işlenmesinde yuvarlanma yolu belirli bir eğriliğe sahip olduğundan kesici takımın iş parçasına temas eden kenarı sürekli olarak değişmektedir (Şekil 4.7). Bu durum yuvarlanma yolunun işlenmesinde kesici takımında krater oluşumunu azaltmakta ve daha çok yan yüzey aşınmasının oluşmasına neden olmaktadır.

4.2.2. İç Rulman Bileziğinin Seramik İle İşlenmesinde Oluşan Aşınmalar

Seramik kesici takımla iç rulman bileziğinin Çizelge 4.6'da belirtilen kesme parametrelerinde işlenmesinde kesici takımında oluşan aşınma miktarları takım mikroskobunda incelenmiştir. 12 adet iç rulman bileziği işlendikten sonra kesici takımında oluşan yan kenar aşınma bandı genişlikleri ölçülmüştür. İç rulman bileziğinin seramik kesici takımla işlenmesinde oluşan aşınmaların yan kenar aşınması ve krater aşınması şeklinde gerçekleştiği ve oluşan aşınma tiplerinin CBN kesici takımlarda oluşan aşınma tipleri ile benzerlik gösterdiği görülmüştür. Seramik kesici takımla farklı kesme parametreleriyle işlemede oluşan yan kenar aşınma band genişliklerinin kesme hızı ve ilerleme miktarlarına göre değişimlerine ait grafikler Şekil 4.17'de gösterilmiştir.

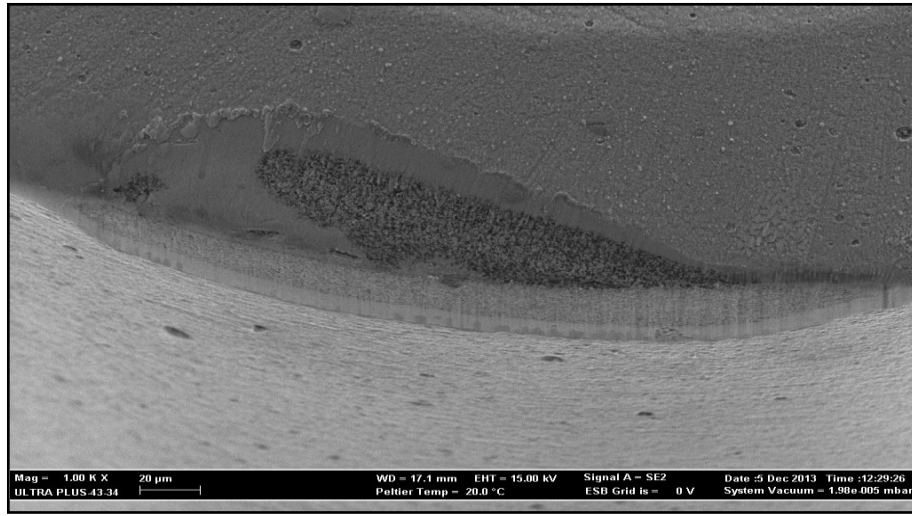


Şekil 4.17. İç bileziğin seramik ile işlenmesinde oluşan aşınma miktarları.

Şekil 4.17 incelendiğinde ilerleme miktarı ve kesme hızının artması ile birlikte takım aşınmalarında bir artışın olduğu görülmektedir. Yuvarlanma yolunun sert tormalanmasında kesici takımlarda oluşan aşınma tipinin daha çok yan yüzey aşınması şeklinde gerçekleştiği ve aşınmaların düzenli olduğu görülmüştür. Seramik takımlarda CBN kesici takımlardan daha çok yapışmaların olduğu görülmektedir. Yuvarlanma yolunun sert tormalanmasında kullanılan kesici takımlarda oluşan aşınma miktarının delik işlemeye göre daha az olduğu görülmüştür. Tüm kesme parametrelerinde aynı tipte ve birbirine yakın değerlerde yan kenar aşınma bandı genişliklerinin oluştuğu gözlemlenmiştir.

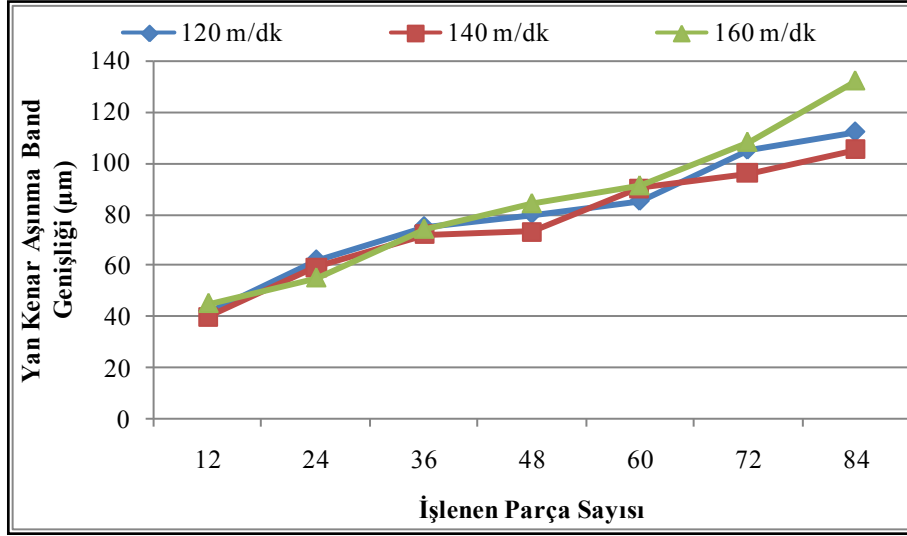
Şekil 4.17 incelendiğinde 100 m/dk kesme hızında ilerleme miktarının artması ile aşınmalarda bir azalmanın olduğu görülmüştür. 120 m/dk kesme hızında en düşük aşınma miktarı 0,06 mm/dev ilerleme miktarında elde edilirken, diğer ilerleme miktarlarında aşınmalar birbirlerine çok yakın değerdedir. 140 m/dk kesme hızında ise en düşük aşınmalar 0,04 ve 0,06 mm/dev ilerleme miktarında elde edilmiştir.

İç bilezik delik çapının işlenmesinde kullanılan CBN ve seramik kesici takımlarda aşınma mekanizmalarını ve tiplerini daha iyi görebilmek için taramalı elektron mikroskopunda (SEM) incelemeler yapılmıştır. SEM görüntüleri ile yan yüzey ve krater aşınmaları daha net bir şekilde görülmektedir. Kesici takımında oluşan yan yüzey aşınmasının düzenli olduğu da ayrıca görülebilmektedir. Kesici takımın üst yüzeyinde kraterin oluştuğu da görülmektedir. Şekil 4.18’de 120 m/dk kesme hızı ve 0,04 mm/dev ilerleme miktarında iç delik çapının CBN ile işlenmesinde kesici takımında oluşan aşınmalar görülmektedir.



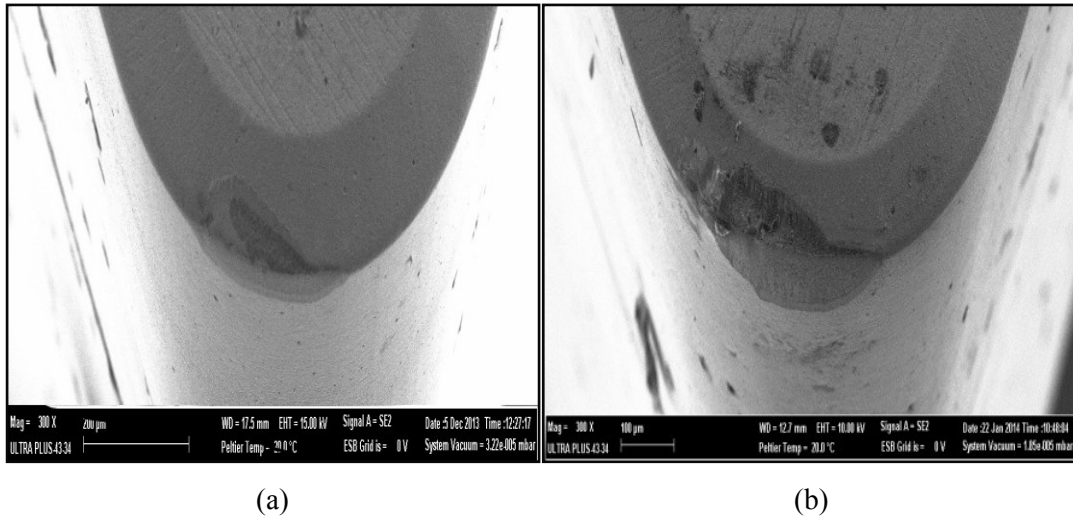
Şekil 4.18. İç bilezik delik çapının 120 m/dk ve 0,04 mm/dev’de CBN ile işlenmesinde oluşan aşınmaların SEM görüntüsü (1000X).

İç bilezik delik çapının işlenmesinde 0,04 mm/dev ilerleme miktarında üç farklı kesme hızında işlenen parça sayına göre kesici takımında oluşan aşınma miktarları incelenmiştir. İç bilezik delik çapının CBN ile işlenmesinde, işlenen parça sayısına göre oluşan aşınma miktarlarının kesme hızına göre değişimi Şekil 4.19’da gösterilmiştir. Şekil 4.19’da görüldüğü gibi işlenen parça sayısı arttıkça yan kenar aşınma miktarının da arttığı görülmektedir. Üç farklı kesme hızında oluşan aşınma miktarlarının birbirine çok yakın olduğu görülmektedir.



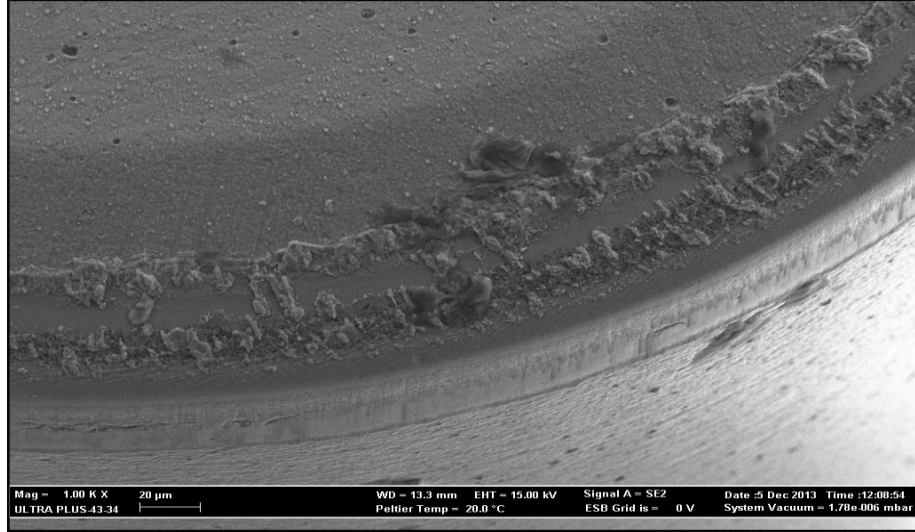
Şekil 4.19. İç bilezik delik çapının işlenmesinde işlenen parça sayısına göre oluşan aşınma miktarları.

İç bilezik delik çapını işlemede işlenen parça sayısına göre kesici takım oluşan aşınmalar SEM ile incelenmiştir. Şekil 4.20’de CBN ile delik işlemede 12. ve 84. bilezik işlendikten sonra kesici takımda oluşan aşınmaların SEM görüntüsü verilmiştir. İşlenen parça sayısının artması ile birlikte kesici takım oluşan aşınma tiplerinde bir değişiklik görülmemiştir. Yan kenar aşınma miktarının ve krater genişliğinin arttığı görülmektedir.



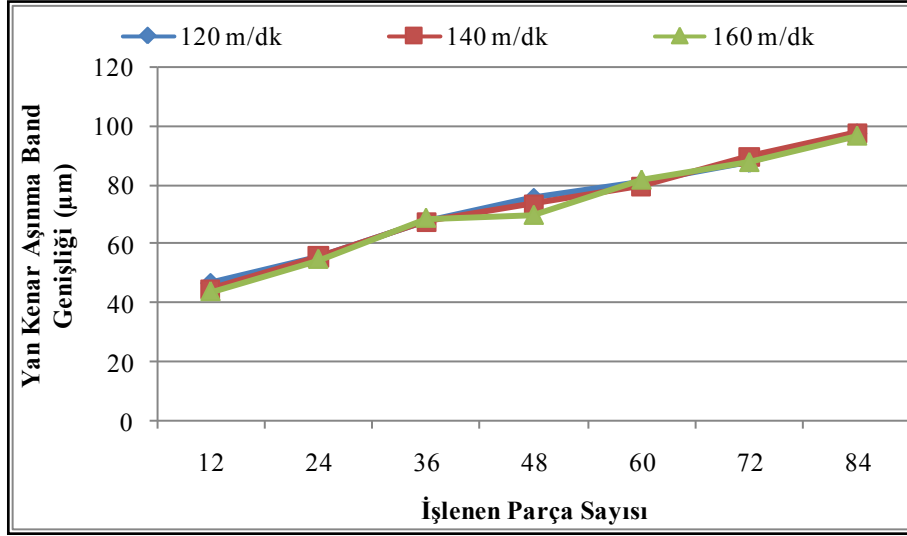
Şekil 4.20. İç bilezik delik çapının 120 m/dk ve 0,04 mm/dev’de CBN ile işlenmesinde oluşan aşınmanın SEM görüntüsü (500X), a) 12 parça sonra, b) 84 parça sonra.

İç bilezik yuvarlanma yolunun CBN kesici takım ile işlenmesinde kesici takımda oluşan aşınmaların SEM görüntüsü Şekil 4.21’de gösterilmiştir. SEM görüntüsü incelendiğinde genel olarak oluşan aşınmaların yan yüzey aşınması şeklinde olduğu görülmektedir. Aşınmanın kesici kenarın uç kısmı boyunca düzenli bir şekilde gerçekleştiği de görülmektedir.



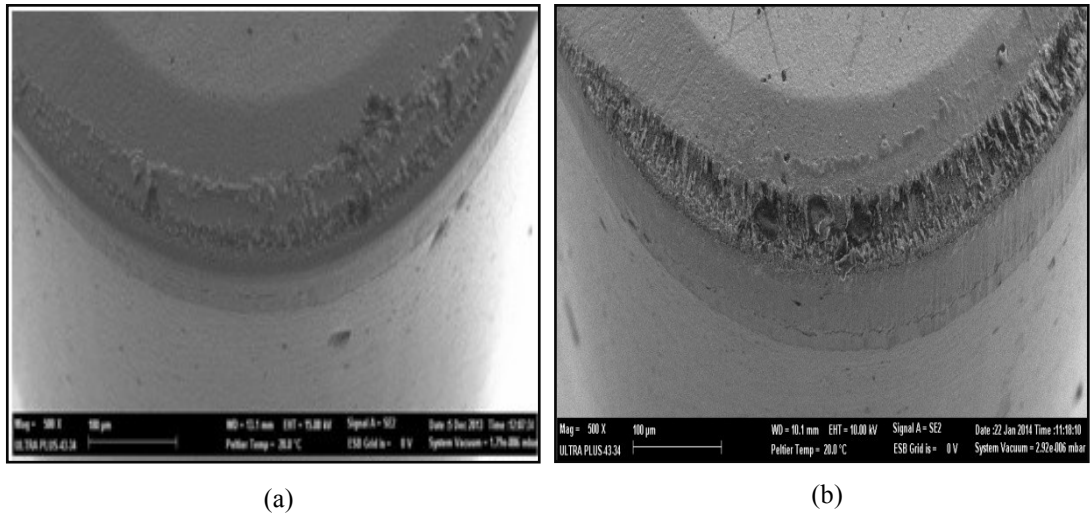
Şekil 4.21. İç bilezik yuvarlanma yolunun 120 m/dk ve 0,04 mm/dev’de CBN ile işlenmesinde oluşan aşınmanın SEM görüntüsü (1000X).

İç bilezik yuvarlanma yolunun işlenmesinde ilerleme miktarı 0,04 mm/dev’de sabit tutularak üç farklı kesme hızında işlenen parça sayına göre kesici takımda oluşan aşınma miktarları incelenmiştir. İşlenen parça sayısına göre oluşan aşınma miktarlarının kesme hızına göre değişimi Şekil 4.22’de gösterilmiştir. Şekil 4.22’de görüldüğü gibi işlenen parça sayısı arttıkça yan kenar aşınma bandı genişliklerinin arttığı görülmektedir. Üç farklı kesme hızında oluşan aşınma miktarlarının birbirine çok yakın olduğu görülmektedir.



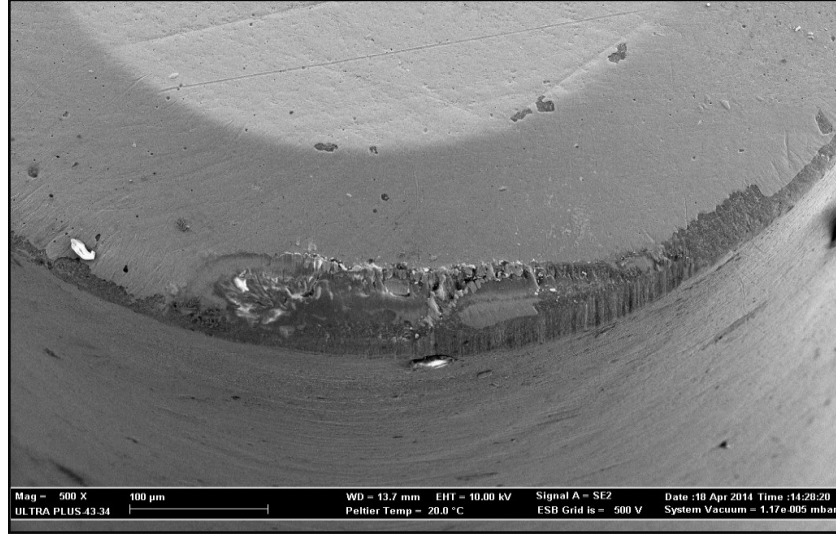
Şekil 4.22. İç bilezik yuvarlanma yolunun işlenmesinde işlenen parça sayısına göre oluşan aşınma miktarları.

İç bilezik yuvarlanma yolunu işlemede işlenen parça sayısına göre kesici takımında oluşan aşınmalar SEM ile incelenmiştir. Şekil 4.23'te CBN ile yuvarlanma yolunun işlenmesinde 12. ve 84. bilezik işlendikten sonra kesici takımında oluşan aşınmaların SEM görüntüleri verilmiştir. İşlenen parça sayısının artması ile birlikte kesici takım oluşan aşınma tiplerinde bir değişiklik görülmemiştir. Kesici takımında yan yüzey aşınması ve yapışmalar görülmektedir.



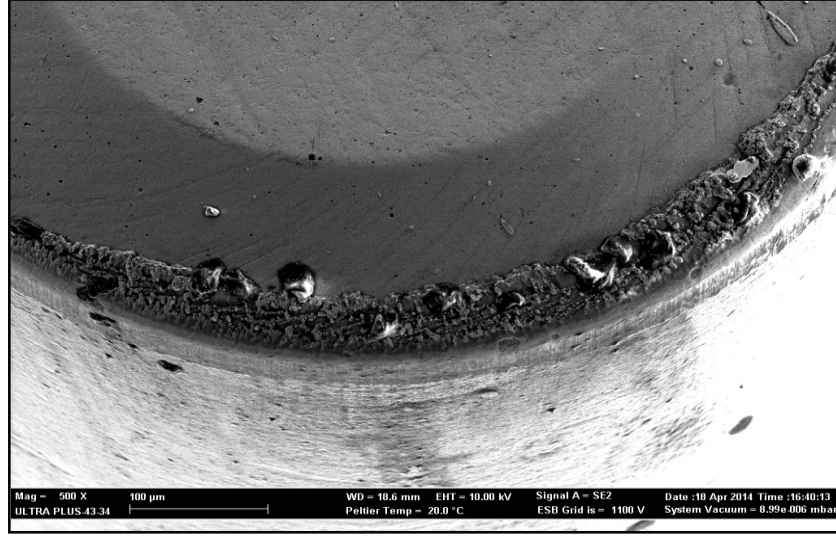
Şekil 4.23. İç bilezik yuvarlanma yolunun 120 m/dk ve 0,04 mm/dev'de CBN ile işlenmesinde oluşan aşınmanın SEM görüntüsü (500X), a) 12 parça sonra, b) 84 parça sonra.

Şekil 4.24'te iç bilezik delik çapının işlenmesinde kullanılan seramik kesici takımın SEM görüntüsü verilmiştir. SEM görüntüsünde kesici kenarda oluşan yan kenar aşınması açık bir şekilde görülmektedir. Ayrıca takımın krater de oluşmuştur. CBN kesici takımdan farklı olarak takım-talaş temas yüzeyinde yapışmalar da görülmektedir. Aynı zaman kesici takım kaplamasında kırılmalar görülmektedir.



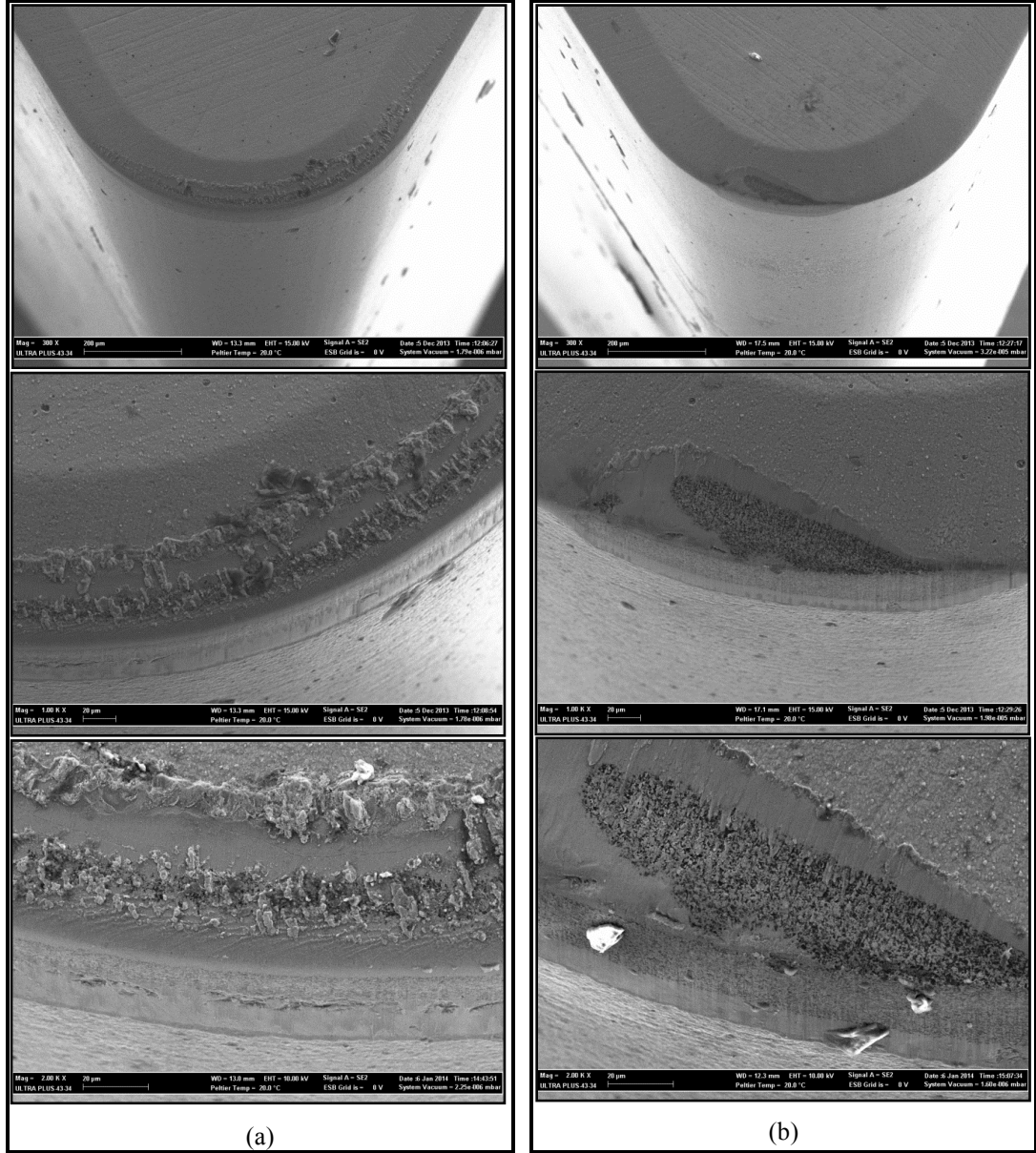
Şekil 4.24. İç bilezik delik çapının işlenmesinde kullanılan seramik kesici takımın SEM görüntüsü (500X).

Yuvarlanma yolunun seramik kesici takımla sert tornalanmasında kesici takımlarda oluşan aşınma tipinin daha çok yan yüzey aşınması şeklinde gerçekleştiği ve aşınmaların düzenli olduğu görülmüştür (Şekil 4.25). Seramik takımlarda CBN kesici takımlardan daha çok yapışmaların olduğu görülmektedir. Yuvarlanma yolunun sert tornalanmasında kullanılan kesici takımlarda oluşan aşınma miktarının delik işlemeye göre daha az olduğu görülmüştür. Tüm kesme parametrelerinde aynı tipte ve birbirine yakın değerlerde yan kenar aşınma bandı genişliklerinin oluştuğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4.25. İç bilezik yuvarlanma yolunun işlenmesinde kullanılan seramik kesici takımın SEM görüntüsü (500X).

Şekil 4.26’teki SEM fotoğrafları kesici takımlar üzerindeki etkin aşınma biçimlerini göstermektedir. Yuvarlanma yolunun sert tornalanmasında kullanılan kesici takımların esas olarak yalnızca yan yüzey aşınmasına maruz kaldıkları bu fotoğraflardan görülmektedir. Bununla birlikte, delik içinin sert tornalanmasında kullanılan kesici takımlarda yan yüzey aşınmasına ilave olarak önemli derecede krater aşınması da gözlemlenmektedir. Fotoğraflardan görüldüğü gibi yuvarlanma yolunu sert tornalamada kullanılan kesici takımların kesici uçlarının önemli bir kısmı kullanılırken delik içinini sert tornalamada kullanılan kesici takımların kesici uçlarının ise daha az bir kısmının kullanıldığı görülmektedir. Yuvarlanma yolunun sert tornalanmasında aktif kesme işlemi yapan kesici kısım işlenen profil boyunca değişir. Bununla birlikte, delik içi sert tornalamada aktif kesme işlemi yapan kesici kısım değişmez. Bu durum da delik içinin sert tornalanmasında kesici ucun yalnızca çok küçük bir kısmının yüksek gerilmelere ve sıcaklıklara uzun süre maruz kalmasına neden olur. Dolayısıyla, kesici takım üzerinde önemli derecede krater aşınması uzun süreli yüksek gerilme ve sıcaklığın etkisiyle oluşur.



Şekil 4.26. İç bileziğin CBN ile işlenmesinde kesici takımında oluşan aşınmaların SEM görüntüsü, a) yuvarlanma yolu, b) iç çap delik.

4.3. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ

Rulman bileziklerinin işlenmesinde istenilen yüzey pürüzlülüğü en önemli kalite özelliklerinden biri olup rulmanların sürtünme, aşınma ve yorulma ömrünü etkilemektedir. Rulman bileziklerinde genellikle dikkate alınan yüzey pürüzlülük değeri ortalama yüzey pürüzlülük (R_a) değeridir. Rulman bilezikleri için gerekli olan yüzey pürüzlülük değerleri rulman tasarımlarında belirtilmektedir. Bir rulman bileziğinde yüzey pürüzlülüğünün en düşük olması gereken bölge yuvarlanma

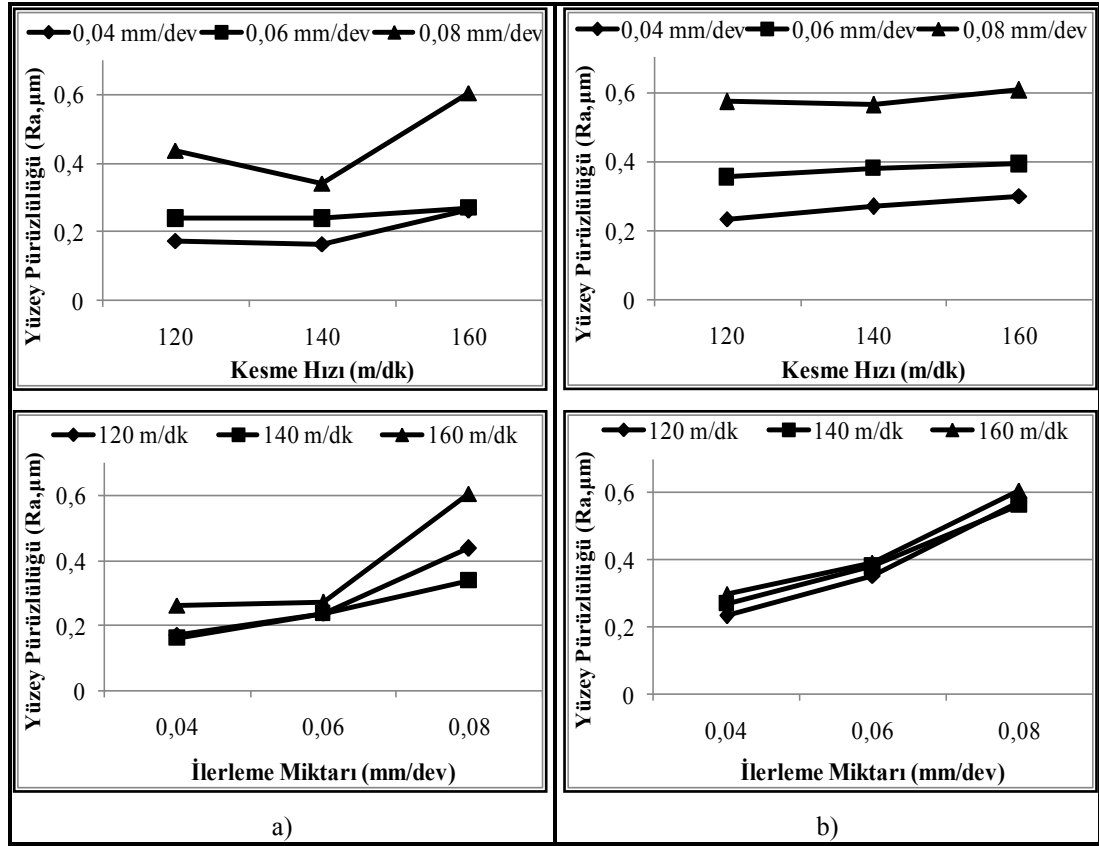
yoludur. Bunun nedeni de yuvarlanma yolunun bilyalarla sürtünmesidir. Bu bölümde rulman bileziklerinin CBN ve seramik kesici takımlarla sert tornalama sonucu elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri değerlendirilecektir.

İç ve dış rulman bileziklerinin CBN ve seramik kesici takımlarla işlenmesinden sonra iç bilezik delik çapı ile yuvarlanma yolunda ve dış bilezik yuvarlanma yolunda oluşan yüzey pürüzlülükleri ölçülmüştür. Daha önce belirlenen her bir işleme koşulunda 12 adet bilezik işlenmiştir. İşlenen bileziklerden 1, 4, 8 ve 12. numunelerin yüzey pürüzlülükleri ölçülmüş ve bu dört ayrı ölçümün aritmetik ortalaması alınmıştır.

4.3.1. İç Bileziğin İşlenmesinde Elde Edilen Yüzey Pürüzlülükleri

Sert tornalanmış bileşenlerin işlevselliğini yüzey pürüzlülüğü önemli derecede etkilediği için düşük ilerleme miktarları düşük yüzey pürüzlülük değerleri elde etmek amacıyla seçilmiştir. Düşük ilerleme miktarları aynı zamanda iş parçası ve kesici takım üzerindeki mekanik ve ısı etkileri de azaltır. Şekil 4.27’de iç bilezik delik çapının ve yuvarlanma yolunun CBN kesici takımla ile işlenmesinde elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri gösterilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü genel olarak kesme hızındaki artışla düşer. Ancak bu çalışmada elde edilen bulgular bu eğilimi destekler nitelikte değildir. İç bilezik delik çapının işlenmesinde kesme hızının artması ile birlikte yüzey pürüzlülük değerlerinde sadece 140 m/dk kesme hızında bir azalma görülmüştür. Kesme hızının 160 m/dk’ya çıkması ile yüzey pürüzlülük değerlerinde tekrar bir artış gözlemlenmiştir. En düşük yüzey pürüzlülük değeri 140 m/dk kesme hızı ve 0,04 mm/dev ilerleme miktarında elde edilmiştir.

İlerleme miktarındaki artışla birlikte bütün kesme hızlarında yüzey pürüzlülük değeri artmıştır. Bu durum yüzey kalitesinin ilerlemeye bağlı olarak değiştiğini ve ilerleme miktarındaki artışla birlikte Ra değerinde de bir artış olduğunu göstermektedir. Teorik yaklaşımlarda da ortalama yüzey pürüzlülüğünün ilerleme miktarının artmasıyla arttığı bilinmektedir (Şekil 4.27).



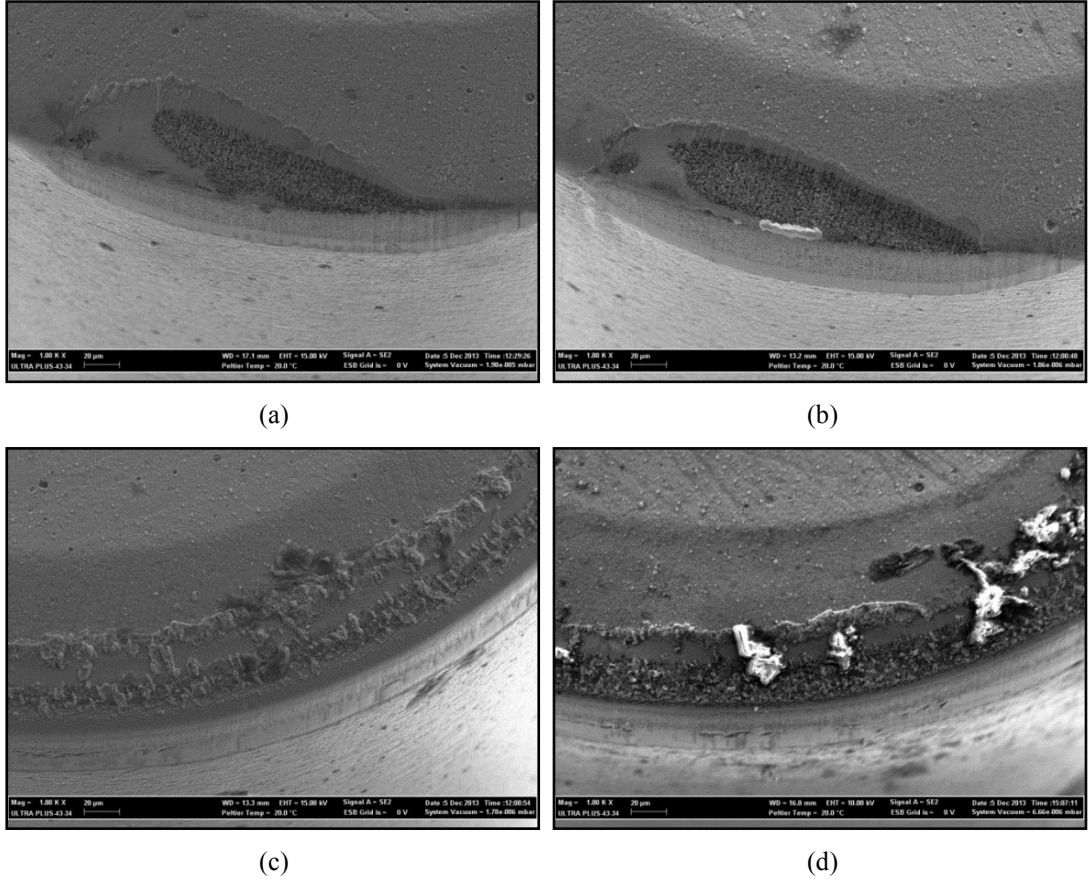
Şekil 4.27. İç bileziğin CBN ile işlenmesinde oluşan yüzey pürüzlülükleri, a) iç çap delik, b) yuvarlanma yolu.

İç bilezik delik çapının ve yuvarlanma yolunun işlenmesinde elde edilen ortalama yüzey pürüzlülükleri (Ra) arasında belirgin farklar görülmektedir. Genellikle, doğrusal silindirik bir yüzey olan delik çapı için Ra değerlerinin eğrisel bir yüzey olan yuvarlanma yolu Ra değerlerinden daha düşük olduğu görülmektedir. Deney yapılan kesme hızlarının tamamında (120, 140 ve 160 m/dk) ve 0,04 mm/dev ilerleme hızında elde edilen yuvarlanma yolu Ra değerlerinin tamamı 0,6 µm'den düşüktür.

İlerleme miktarının 0,06 mm/dev'e çıkarılması ile yuvarlanma yolu Ra değerleri artmıştır ve çoğunlukla 0,6 µm'nin biraz altında veya üstündedeğerler elde edilmiştir. 0,08 mm/devilerleme miktarında ise 0,6 µm'den daha yüksek değerler elde edilmiştir. En düşük yuvarlanma yolu Ra değerleri 120 m/dk kesme hızı ve 0,04 mm/dev ilerleme miktarında elde edilmiştir. Deney yapılan bütün ilerleme

miktarlarında kesme hızının artması ile Ra değerleri artmıştır. Normal olarak kesme hızının artışı ile bir miktar Ra değerlerinin düşmesi beklenir. Bu beklenmeyen artış yuvarlanma yolunun işlenmesindeki değişken talaş kesitine atfedilebilir. Aynı zamanda takım tezgahı iş milinde yüksek kesme hızlarındaki muhtemel titreşim artışları ile de açıklanabilir.

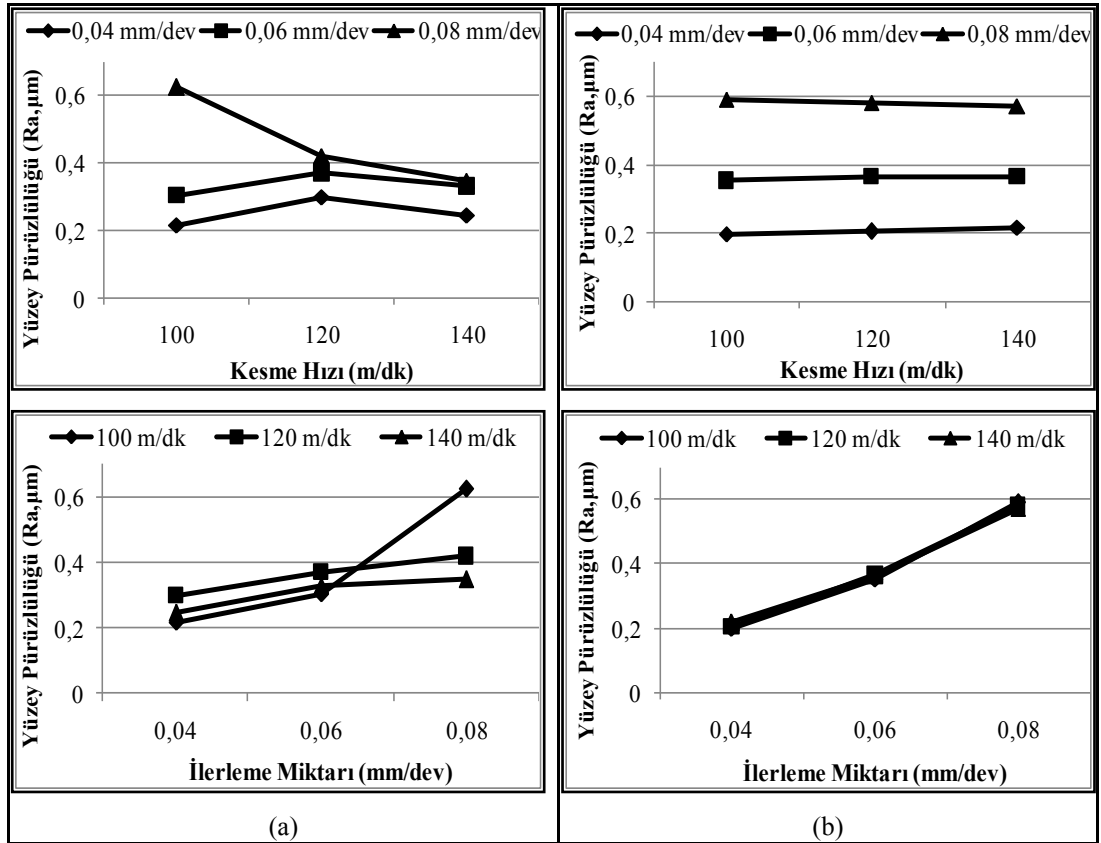
Yuvarlanma yolu için elde edilen yüksek yüzey pürüzlülük değerleri kullanılan kesici takım üzerindeki yan yüzey aşınma bölgelerine yapışan iş parçası malzemesi ile açıklanabilir. Yan yüzey aşınma bölgelerine yapışan iş parçası malzemesi Şekil 4.28'deki SEM fotoğraflarından görülebilir. Şekil 4.28a ve b'deki SEM fotoğrafları delik içini sert tornalamada kullanılan kesici takımlara aittir. Bu fotoğraflarda herhangi bir yapışan malzeme görülmemektedir. Bununla birlikte, Şekil 4.28c ve d'deki SEM fotoğrafları yuvarlanma yolunu sert tornalamada kullanılan kesici takımlara aittir ve aşınmış bölgelere yapışan iş parçası malzemelerini göstermektedir. Aşınmış bölgelere yapışan iş parçası malzemeleri Şekil 4.26'daki yüksek büyütmede çekilen SEM fotoğrafından daha açık bir şekilde görülmektedir. Sert tornalama esnasında kesici takımın aşınmış bölgelerine yapışan iş parçası malzemeleri yeni oluşan yüzeyle daha çok temas etme eğilimindedir. Bu durum da yüzey pürüzlülüğünü artırır.



Şekil 4.28. İç bileziğin 0,04 mm/dev ilerleme miktarında CBN ile işlenmesinde oluşan aşınmaların SEM görüntüsü, a) 120 m/dk'da iç çap delik işleme, b) 160 m/dk'da iç çap delik işleme, c) 120 m/dk'da yuvarlanma yolunun işlenmesi, d) 160 m/dk'da yuvarlanma yolunun işlenmesi.

İç bilezik delik çapının ve yuvarlanma yolunun seramik kesici takımla işlenmesinde elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin kesme hızına ve ilerleme miktarına göre değişimleri Şekil 4.29'da gösterilmiştir. İç bilezik delik çapının seramik ile işlenmesinde, 0,04 ve 0,06 mm/dev ilerleme miktarlarında, kesme hızı 100 m/dk'dan 120 m/dk'ya çıktığında pürüzlük değerlerinde bir artış, 140 m/dk kesme hızında tekrar bir azalma görülmüştür. 0,08 mm/dev ilerleme miktarında ve 100 ve 120 m/dk kesme hızlarında elde edilen pürüzlülük değerleri oldukça yüksek çıkmıştır. Bu parametre delik çapının seramik kesici takımla işlenmesi için uygun değildir. En düşük yüzey pürüzlülük değeri 100 m/dk kesme hızında 0,04 mm/dev ilerleme miktarında elde edilmiştir. 0,04 mm/dev ilerleme miktarının iç bilezik delik çapının seramik ile işlenmesinde kullanılabilecek en uygun ilerleme hızı olduğu söylenebilir.

İç bilezik delik çapının seramik ile işlenmesinde ilerleme miktarının artması ile birlikte yüzey pürüzlülük değerlerinde bir artış görülmüştür (Şekil 4.29). Bu artış tüm kesme parametrelerinde benzer bir eğilim sergilemektedir. İç bilezik delik çapının işlenmesinde kullanılan CBN ve seramik kesici takımlar ile elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri karşılaştırıldığında seramik kesici takımlarla elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinin daha düşük olduğu görülmüştür.

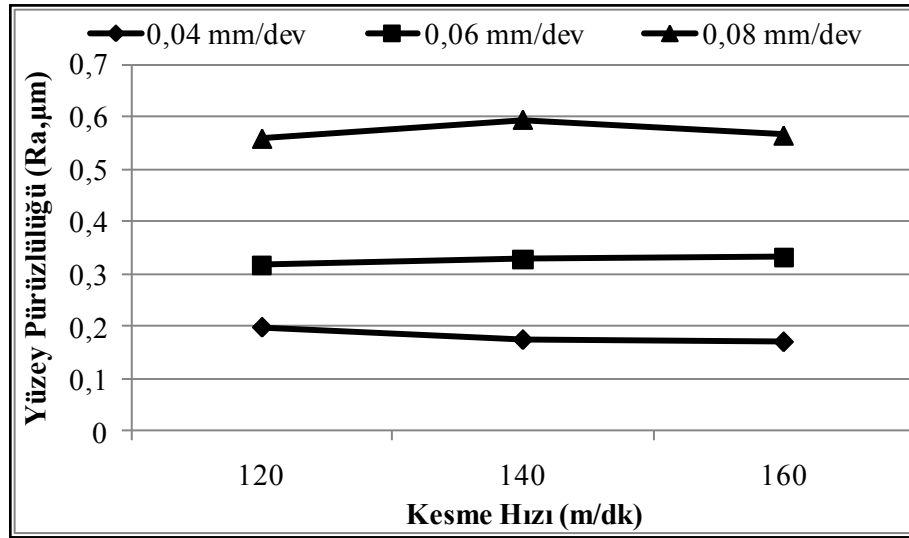


Şekil 4.29. İç bileziğin seramik ile işlenmesinde oluşan yüzey pürüzlülükleri a) iç çap delik, b) yuvarlanma yolu.

İç bilezik yuvarlanma yolunun seramik kesici takımla işlenmesinde, kesme hızının artması birlikte yüzey pürüzlülük değerlerinde önemli artış ya da azalma görülmemiştir. Yüzey pürüzlülük değerleri birbirlerine çok yakın değerlerdedir. En düşük yüzey pürüzlülük değerleri iç çap işlemede olduğu gibi yine 0,04 mm/dev ilerleme miktarında elde edilmiş olup tüm kesme hızları için ideal bir ilerleme hızıdır.

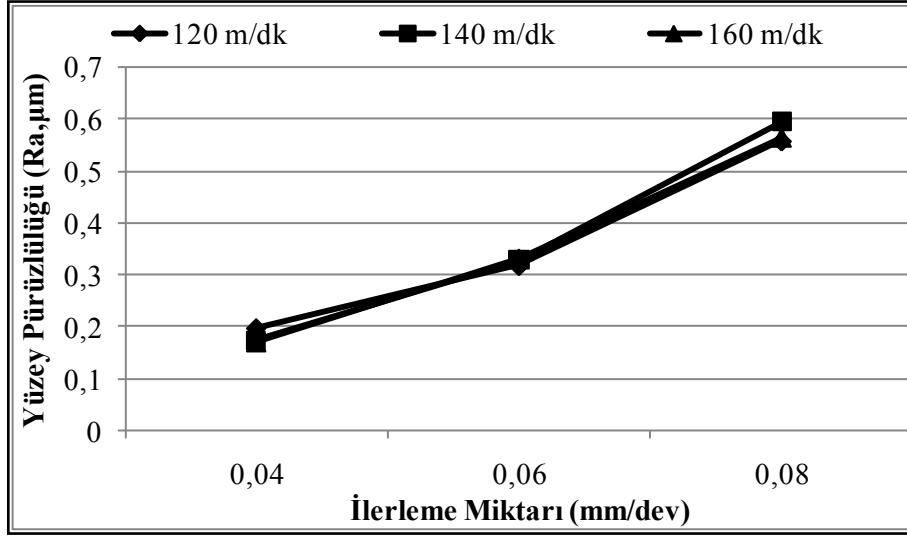
4.3.2. Dış Bilezik Yuvarlanma Yolunun İşlenmesinde Elde Edilen Yüzey Pürüzlülükleri

Dış bilezik yuvarlanma yolunun CBN kesici takımlarla işlenmesinde elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin kesme hızı ve ilerleme miktarına göre değişimi Şekil 4.30 ve Şekil 4.31’de gösterilmiştir. Dış rulman bileziklerinin yuvarlanma yoluna ait ortalama yüzey pürüzlülükleri (R_a) iç bilezik yuvarlanma yolunda elde edilen pürüzlülük değerlerinden daha düşüktür. Deney yapılan kesme hızlarının ve ilerleme miktarlarının tamamında elde edilen yuvarlanma yolu R_a değerleri $0,6 \mu\text{m}$ ’den düşüktür. $0,08 \text{ mm/dev}$ ilerleme miktarında elde edilen pürüzlülük değerleri $0,6 \mu\text{m}$ ’ye yakın değerlerdedir. En düşük yüzey pürüzlülük değerleri tüm kesme hızlarında $0,04 \text{ mm/dev}$ ilerleme miktarında elde edilmiştir.



Şekil 4.30. Dış bilezik yuvarlanma yolunun CBN ile işlenmesinde oluşan yüzey pürüzlülüğünün kesme hızına göre değişimi.

Dış bilezik yuvarlanama yolunun CBN ile işlenmesinde ilerleme miktarının artması ile birlikte yüzey pürüzlülük değerlerinde bir artış görülmektedir. İlerleme miktarının artması ile yüzey pürüzlülük değerlerinin arttığı görülmektedir.

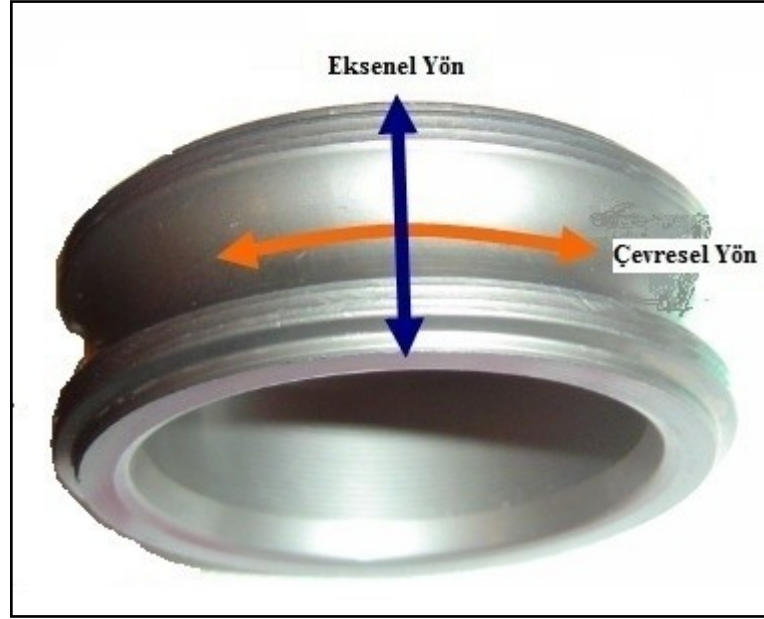


Şekil 4.31. Dış bilezik yuvarlanma yolunun CBN ile işlenmesinde oluşan yüzey pürüzlülüğünün ilerleme miktarına göre değişimi.

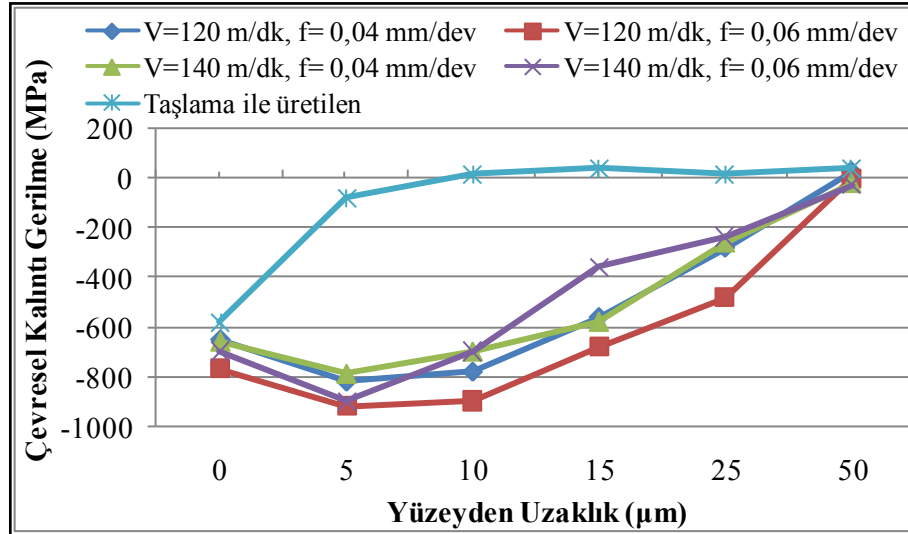
4.4. KALINTI GERİLMELER

Rulmanlar özellikle çukurlaşmaya (pitting) karşı yüksek yorulma dayanımı sergilemelidir. Rulmanın yorulma ömrünü belirleyen faktörlerden biri de yuvarlanma yolunda oluşan kalıntı gerilmelerdir. Kalıntı gerilmelerin basma tipinde ve yüzeyden itibaren parça merkezine doğru da mümkün olduğunca yüksek olması istenir. Bu şekilde üretilen rulmanların yorulma ömürlerinin daha uzun ömürlü olduğu bilinmektedir. Yuvarlanma yolunda oluşan kalıntı gerilmelerin tipi ve büyüklükleri bileziklerin imalatında kullanılan üretim yöntemlerine göre değişkenlik göstermektedir. Üretimde kullanılan imalat yöntemleri rulman bileziklerinde oluşan kalıntı gerilme oluşumunu etkilemekte ve bu da rulmanların yorulma ömürlerine etki etmektedir.

Sert tornalama yöntemiyle elde edilen yuvarlanma yollarının XRD ile kalıntı gerilmeleri ölçülmüştür. İç rulman bileziklerinin 0,04 ve 0,06 mm/dev ilerleme miktarlarında, 120 ve 140 m/dk kesme hızlarında işlemeden sonra yüzey ve yüzey altında oluşan kalıntı gerilmeler ölçülmüştür. Kalıntı gerilme ölçümleri yüzeyden 0, 5, 10, 15, 25 ve 50 μm derinliklerinde aksenal ve çevresel yönlerde ölçülmüştür (Şekil 4.32).



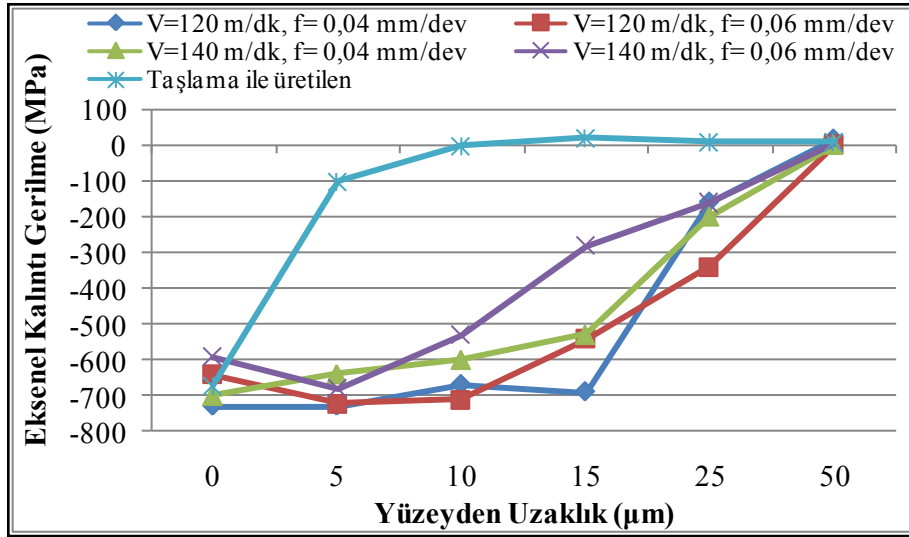
Şekil 4.32. Kalıntı gerilme ölçüm yönleri [14].



Şekil 4.33. İç bilezik yuvarlanma yolunun CBN ile işlenmesinde oluşan çevresel kalıntı gerilme.

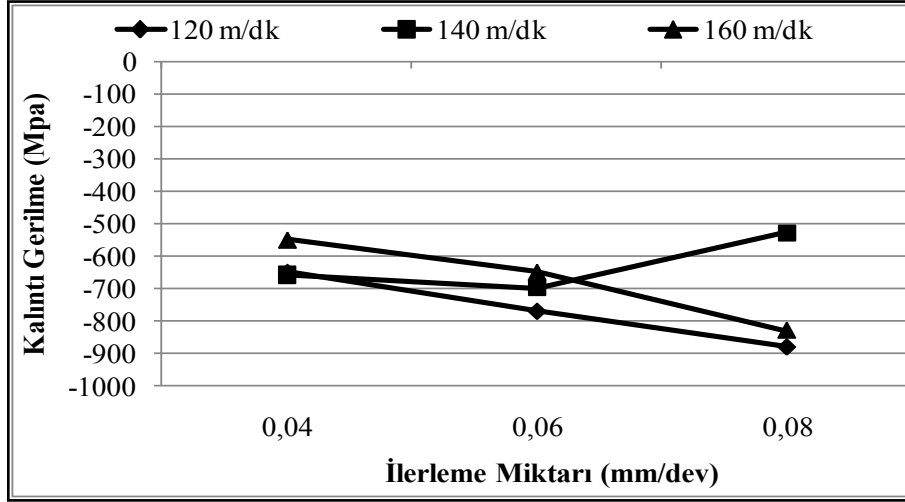
İç bilezik yuvarlanma yolunun dört farklı kesme parametresinde CBN ile işlenmesinde çevresel yönde oluşan kalıntı gerilmeler Şekil 4.33'te gösterilmiştir. İç bilezik yuvarlanma yolunda çevresel yönde oluşan kalıntı gerilmeler birbirleri ile benzer eğilimler göstermektedir. İşlenen yüzeyde oluşan çevresel yöndeki kalıntı gerilmeler basma (-) tipindedir. En fazla kalıntı gerilme yüzeyin 5 μm altında

meydana gelmiştir. Yüzeyden uzaklaştıkça yüzey altında oluşan çevresel yöndeki kalıntı gerilmelerde azalma oluşmakta ve 50 μm derinlikte çekme tipinde kalıntı gerilmeler oluşmaktadır. Geleneksel taşlama yöntemi ile üretilmiş rulman bileziklerinde oluşan çevresel yöndeki kalıntı gerilmelerin sert tornalama ile üretilen bileziklerde oluşarlardan daha düşük olduğu bilinmektedir. Taşlama yöntemi ile üretilen iç rulman bileziğinde basma tipinde oluşan kalıntı gerilmelerin daha çok yuvarlanma yolunun yüzeyinde olduğu daha önce yapılan çalışmalardan görülmüştür [14]. En yüksek çevresel yöndeki kalıntı gerilmeler 0,06 mm/dev ve 120 m/dk kesme hızında oluşmuştur.



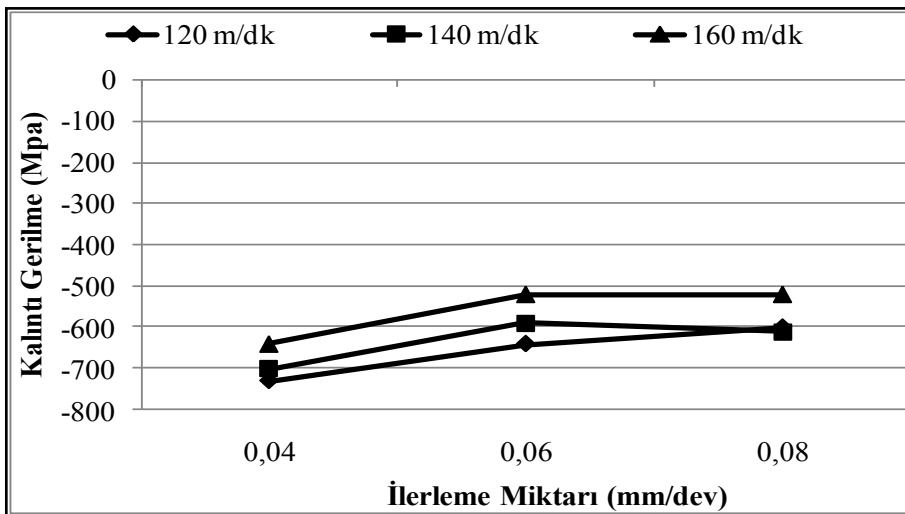
Şekil 4.34. İç bilezik yuvarlanma yolunun CBN ile işlenmesinde oluşan aksel kalıntı gerilme.

İç bilezik yuvarlanma yolunun dört farklı kesme parametresinde CBN ile işlenmesinde oluşan aksel yöndeki kalıntı gerilmeler Şekil 4.34'de gösterilmiştir. Yuvarlanma yolunda oluşan aksel yöndeki kalıntı gerilmeler çevresel yöndeki kalıntı gerilmelerle benzerlik göstermektedir. Yuvarlanma yolunda oluşan aksel yöndeki gerilmeler de basma tipinde oluşmuştur. Yüzey altına inildikçe aksel yöndeki kalıntı gerilmelerde azalma görülmektedir. Taşlama yöntemiyle üretilen rulman iç rulman bileziğinde yüzeyde oluşan aksel yöndeki kalıntı gerilme 0,04 mm/dev ilerleme miktarında elde edilen değerlerden düşük, 0,06 mm/dev ilerleme miktarında elde edilen değerlerden yüksektir (Şekil 4.34).



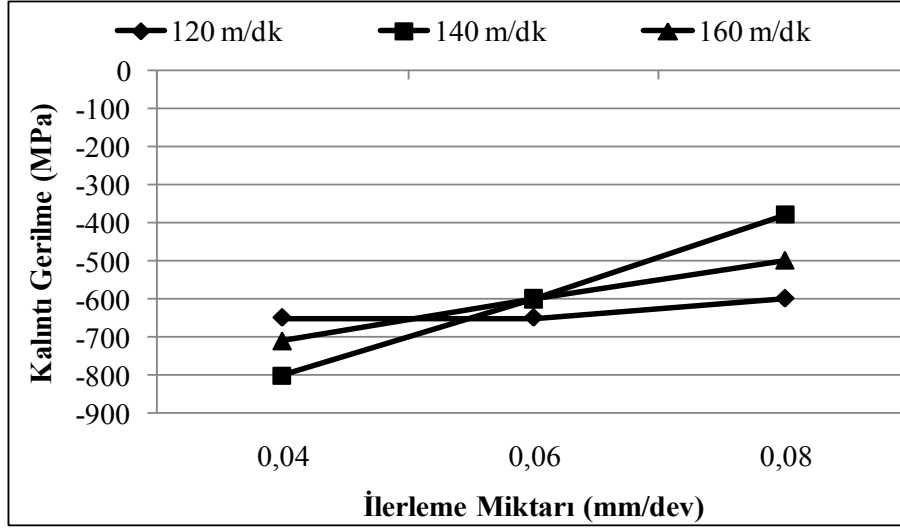
Şekil 4.35. İç bilezik yuvarlanma yolunun yüzeyinde oluşan çevresel kalıntı gerilmenin kesme parametrelerine göre değişimi.

Şekil 4.35'te iç bilezik yuvarlanma yolunun yüzeyinde oluşan çevresel yöndeki kalıntı gerilmenin ilerleme miktarına göre değişimi gösterilmiştir. İlerleme miktarının artması ile birlikte çevresel kalıntı gerilmelerde bir artış görülürken kesme hızının artması ile çevresel kalıntı gerilmelerde bir azalma görülmüştür. Şekil 4.36'da iç bilezik yuvarlanma yolunun yüzeyinde eksenel yönde oluşan kalıntı gerilmelerin kesme parametrelerine göre değişimi gösterilmiştir. Eksenel yönde oluşan kalıntı gerilmelerin ilerleme miktarı ve kesme hızı arttıkça azaldığı görülmektedir.



Şekil 4.36. İç bilezik yuvarlanma yolunun yüzeyinde oluşan eksenel kalıntı gerilmenin kesme parametrelerine göre değişimi

Dış bileziğin şeklinden dolayı sadece yüzeyde oluşan aksel yöndeki kalıntı gerilmeler ölçülebilmektedir. Dış bilezik yuvarlanma yolunun yüzeyinde oluşan aksel kalıntı gerilmelerin ilerleme miktarına göre değişimi Şekil 4.37’de gösterilmiştir.



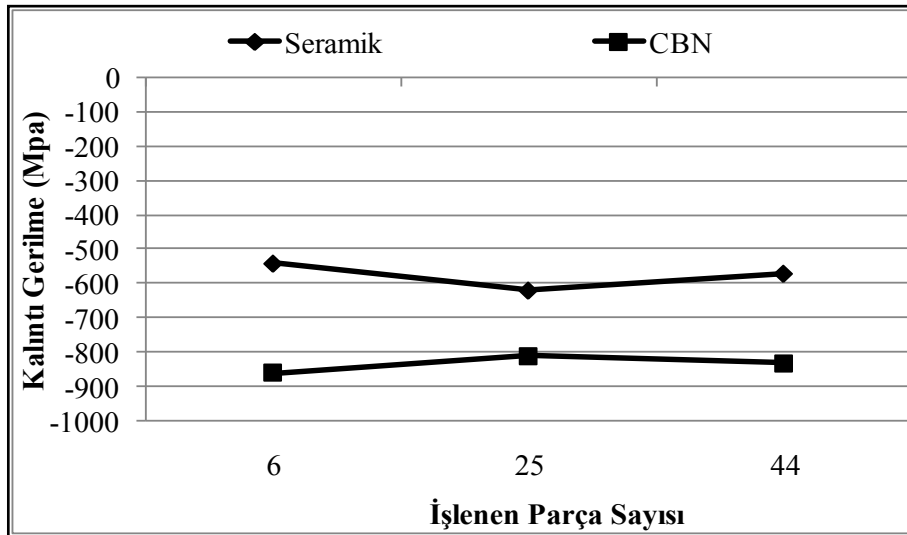
Şekil 4.37. Dış bilezik yuvarlanma yolunun yüzeyinde oluşan aksel kalıntı gerilmenin ilerleme miktarına göre değişimi.

Dış bilezik yuvarlanma yolunda da basma tipinde kalıntı gerilme olduğu görülmektedir. Dış bilezik yuvarlanma yolunun yüzeyinde oluşan aksel yöndeki kalıntı gerilmenin ilerleme miktarının artması ile azaldığı görülmektedir. En yüksek aksel yöndeki kalıntı gerilme 140 m/dk kesme hızı ve 0,04 mm/dev ilerleme miktarında elde edilmiştir. Taşlama yöntemi ile üretilen dış bilezik yuvarlanma yolunda oluşan aksel yönde oluşan kalıntı gerilmenin -670 ile -730 Mpa arasında değiştiği bilinmektedir. Sert tornalamada oluşan aksel yöndeki kalıntı gerilmelerle taşlama ile üretilen kalıntı gerilmelerin birbirlerine yakın olduğu görülmektedir.

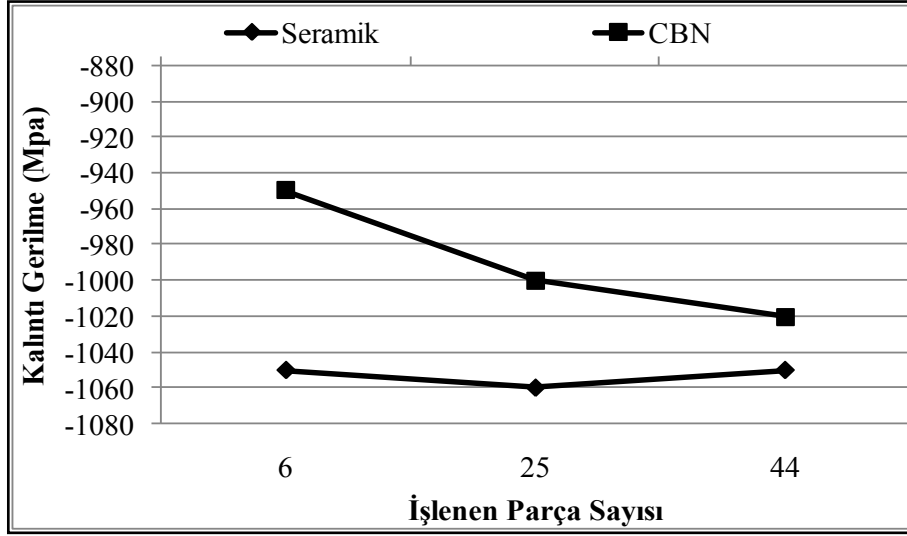
Şekil 4.38’de iç bilezik yuvarlanma yolunda oluşan çevresel yöndeki kalıntı gerilmenin kesici takım malzemelerine göre değişimi gösterilmiştir. 120 m/dk kesme hızı ve 0,04 mm/dev ilerleme miktarında CBN ve seramik kesici takım malzemeleri ile işlenen iç bilezik yuvarlanma yolunun yüzeyinde oluşan çevresel yöndeki kalıntı gerilmeler ölçülmüştür. CBN ile işlemede oluşan kalıntı gerilmelerin seramik ile işlenen kalıntı gerilmelerden yüksek olduğu görülmektedir. İşlenen parça sayısı

arttıkça oluşan kalıntı gerilme değışimleri her iki kesici takım malzemesinde de benzer eğilim göstermiştir.

Şekil 4.39'da 120 m/dk kesme hızı ve 0,04 mm/dev ilerleme miktarında CBN ve seramik kesici takım malzemeleri ile işlenen iç bilezik yuvarlanma yolunun yüzeyinde oluşan aksenal yöndeki kalıntı gerilmeler gösterilmiştir. Seramik kesici takım ile işlemede yuvarlanma yolunda oluşan aksenal kalıntı gerilmeler CBN ile işlemede oluşan kalıntı gerilmelerden daha yüksektir. CBN kesici takım ile işlenen iç rulman bileziklerinin sayısı arttıkça aksenal yönde oluşan kalıntı gerilmelerin arttığı görülmektedir. Seramik kesici takımlarla işlenen iç rulman bileziklerinin sayısı arttıkça aksenal yöndeki kalıntı gerilmelerde fazla değışim görülmemektedir.



Şekil 4.38. İç bilezik yuvarlanma yolunda oluşan çevresel kalıntı gerilmenin kesici takım malzemesine göre değışimi



Şekil 4.39. İç bilezik yuvarlanma yolunda oluşan aksel kalıntı gerilmenin kesici takım malzemesine göre değişimi.

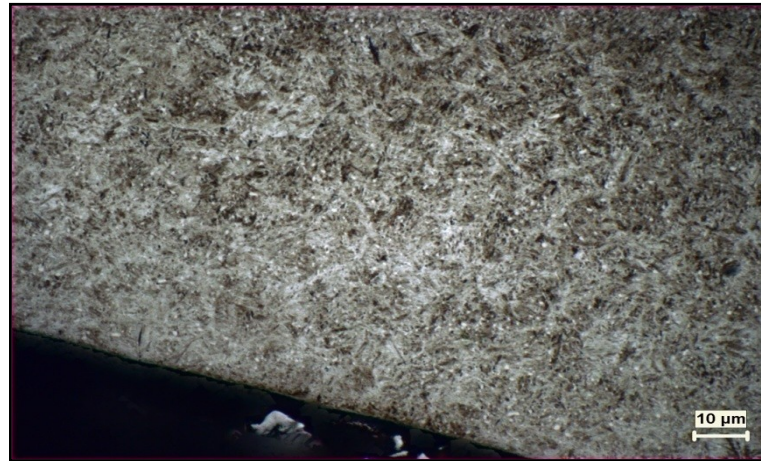
CBN ve seramik kesici takımlar kullanılarak üretilen iç ve dış rulman bileziklerinin yorulma ömrünü belirlemek amacı ile Çizelge 4.7’de verilen parametrelerde işlenmiş rulman bileziklerinden üretilen rulmanlar yorulma ömür testine tabi tutulmuştur. Her bir işleme koşulu için sert tornalama yöntemiyle üretilmiş bileziklerden montajı yapılan 50 rulmanın ilk beşi ve son beşi arasından birer rulman seçilerek yorulma ömür testleri yapılmıştır. Bu şekilde yapılmasının nedeni kesici takım aşınmasının yorulmaya etkisini incelemektir. Yorulma ömür testleri, ORS Rulman Sanayi A.Ş. firmasında bulunan özel olarak tasarlanmış yorulma ömür test aparatlarında yapılmıştır. Rulmanlar, ömür test aparatlarında radyal yönde 1500 kg ve aksel yönde 600 kg yük uygulanarak 3000 dev/dak’da sürekli olarak döndürülmüştür. Test süresi boyunca sıcaklık, aksel yük, radyal yük ve titreşim verileri veri toplama sistemi ile kayıt altına alınmıştır. Bozulmaların genellikle iç ve dış rulman bileziklerinde veya nadiren de bilyede yorulma şeklinde olduğu görülmüştür. Sert tornalama yöntemi ile üretilen rulmanların 14-3000 saat arasında yorulduğu görülmüştür. Firma ile yapılan değerlendirme sonucunda sert tornalama yöntemi ile üretilen rulmanların taşlama yöntemiyle üretilen rulmanlardan yaklaşık % 50 daha fazla uzun ömür sağladığı anlaşılmıştır.

Çizelge 4.7. Yorulma testinde kullanılan iç ve dış bilezikler.

Grup No	Kesme Hızı (m/dk)	İlerleme (mm/dev)	Kesici Uç
1	120	0,04	CBN
2	120	0,06	CBN
3	140	0,04	CBN
4	140	0,06	CBN
5	120	0,04	Seramik

4.5. MİKROYAPI VE MİKRO SERTLİK

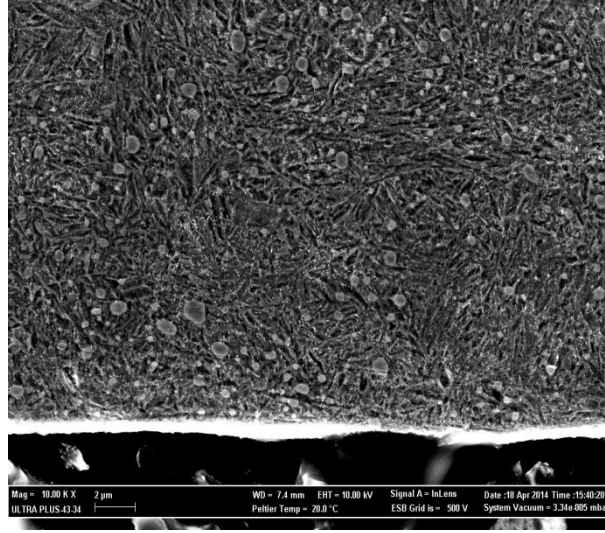
Sert tornalamada karşılaşılan en önemli problemlerden biri de yüzey altında oluşan siyah ve beyaz katman oluşumudur. Yüzey altında bu oluşumları inceleyebilmek için iç rulman bileziklerinin sert tornalanmasından sonra yuvarlanma yolunda oluşan mikroyapılar optik mikroskop ve SEM ile incelenmiştir. 120, 140, 160 m/dk kesme hızlarında ve 0,04 mm/dev ilerleme miktarlarında sert tornalanan 1, 48 ve 84. parçalara ait mikroyapılar incelenerek görüntüleri alınmıştır. 120 m/dk kesme hızı ve 0,04 mm/ dev ilerleme miktarında sert tornalanan iç bileziğin mikroyapısı Şekil 4.40'ta gösterilmiştir.



Şekil 4.40. 120 m/dk kesme hızı ve 0,04 mm/ dev ilerleme miktarında işlenen iç rulman bileziğinin mikroyapısı (1000x).

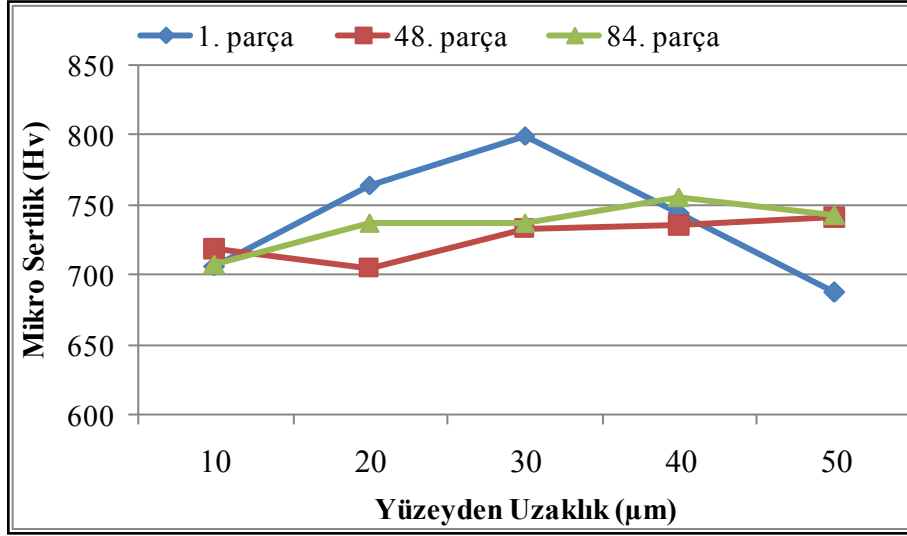
Yapılan incelemelerde rulman bileziklerinin işlenmesinde yüzey altında siyah ve beyaz katman oluşumuna rastlanılmamıştır. Bu durum sert tornalama işlemlerinde

soğutma sıvının kullanılmasına atfedilebilir. Sert tornalanan bileziklerde bu oluşumu daha net görebilmek amacı ile rulman bilezikleri SEM ile de incelenmiştir. Rulman bileziğinin SEM görüntüsü Şekil 4.41’de gösterilmiştir. Bu görüntüde de herhangi bir beyaz ve siyah katman oluşumu görülememiştir. SEM görüntüsündeki beyaz kısım dağlamadan kaynaklanmaktadır.



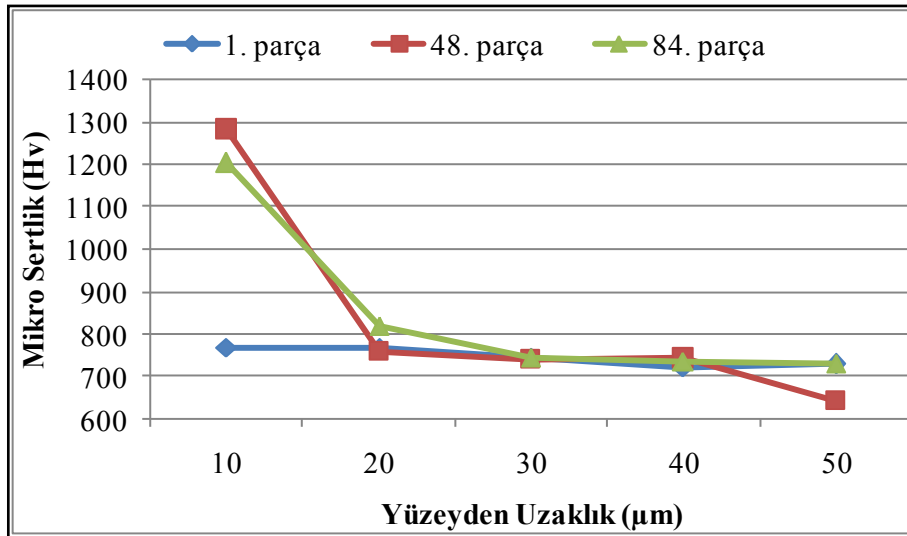
Şekil 4.41. 120 m/dk kesme hızı ve 0,04 mm/ dev ilerleme miktarında işlenen iç rulman bileziği mikroyapısının SEM görüntüsü (10000x).

0,04 mm/dev ilerleme miktarında, 120, 140 ve 160 m/dk kesme hızlarında CBN kesici takım kullanılarak işlenmiş bilezik yuvarlanma yollarında oluşan mikrosertlikler yüzeyden merkeze doğru 10, 20, 30, 40, 50 mikron mesafelerde ölçülmüştür. Mikrosertlik ölçümleri 9,807 N kuvvet ve 10 s süre uygulanarak Vickers sertlik ölçeğinde ölçülmüştür. Ölçümlerden elde edilen grafikler Şekil 4.42, Şekil 4.43 ve Şekil 4.44’te gösterilmiştir.

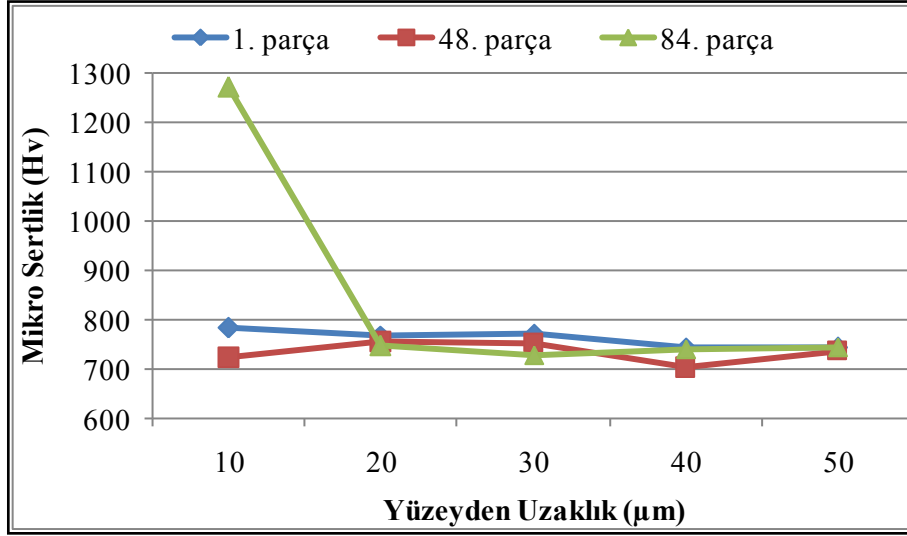


Şekil 4.42. İç rulman bileziğinin 120 m/dk kesme hızı ve 0,04 mm/dev ilerleme miktarında işlenmesinde yuvarlanma yolunda ölçülen mikro sertlikler.

Yapılan ölçümlerde mikro sertliklerin kesme hızı arttıkça arttığı görülmüştür. 120 m/dk kesme hızında oluşan mikro sertlik değerlerinde düzensizlikler söz konusu iken 140 ve 160 m/dk kesme hızlarında değişimler birbirleri ile bezerlik göstermektedir. İşlenen parça sayısı arttıkça yüzeyde oluşan mikrosertlik değerlerinde bir artış görülmüştür. Ancak yüzeyden uzaklaştıkça mikrosertlik değerlerinin birbirlerine yakın değerlerde oldukları görülmüştür.



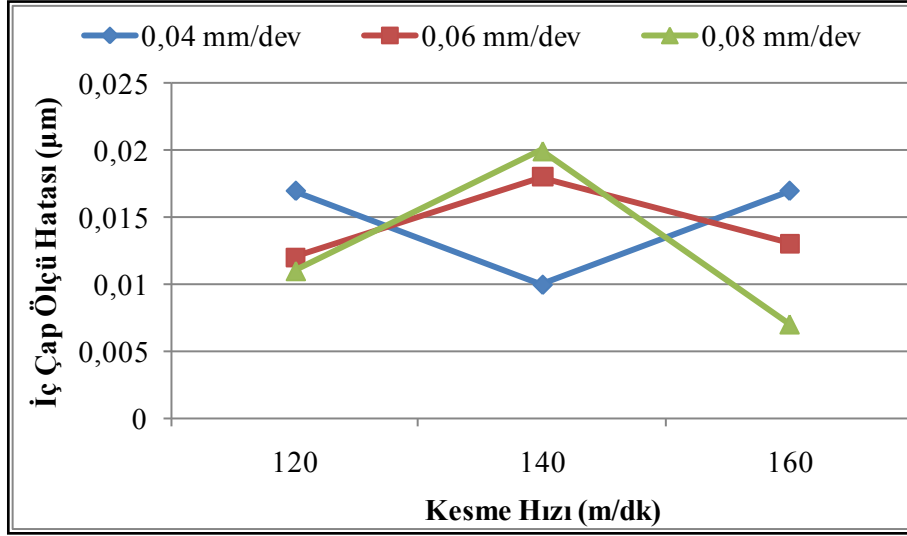
Şekil 4.43. İç rulman bileziğinin 140 m/dk kesme hızı ve 0,04 mm/dev ilerleme miktarında işlenmesinde yuvarlanma yolunda ölçülen mikro sertlikler.



Şekil 4.44. İç rulman bileziğinin 160 m/dk kesme hızı ve 0,04 mm/dev ilerleme miktarında işlenmesinde yuvarlanma yolunda ölçülen mikro sertlikler.

4.6. İÇ ÇAP VE DAİRESELLİK HATASI

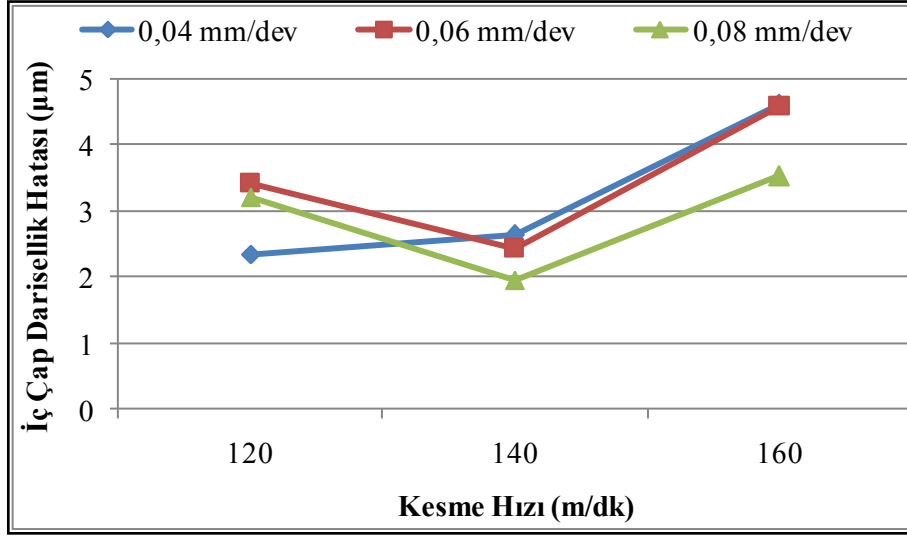
İç bilezik delik çapının CBN ile işlenmesinde oluşan ölçü hatalarının kesme hızına göre değişimi Şekil 4.45'te gösterilmiştir. Şekil 4.45'te gösterilen değerler 12. parça üzerinden alınan değerleri göstermektedir. Yapılan çalışmalarda istenilen ölçü toleranslarından sapmalar olmuştur. Ölçü toleranslarının çok sıkı olması nedeni ile tezgah sıfırlama işlemlerinin hassas bir şekilde yapılması gerekmektedir. Ayrıca kesici takımında oluşan aşınma miktarları bu ölçü toleransına etki etmektedir. Takım aşındıkça kesici takımında kayıplar oluşmakta bu da işlenen parçada çap küçülmesine neden olmaktadır. Ayrıca tezgahın tekrarlaması hassasiyeti de önem arz etmektedir. İş parçasının bağlanmasından kaynaklanan elastik deformasyon, sıcaklık değişimleri, bağlama aparatındaki salgılar gibi birçok faktör ölçü hatalarına neden olmaktadır.



Şekil 4.45. İç bilezik delik çapının işlenmesinde 12. parçada oluşan ölçü hataları.

Şekil 4.46'da iç bilezik delik çapının işlenmesinden sonra oluşan dairesellik hata değişimleri gösterilmiştir. İç bileziklerin işlenmesinde her bir kesme parametresinde 12 adet bilezik işlenmiştir. Bu işlenen bileziklerin 1, 4, 8 ve 12 numuneleri üzerinde dairesellik ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

0,04 mm/dev ilerleme miktarında, kesme hızının 120 m/dk'dan 140 m/dk çıkması ile dairesellik hatasında bir azalma görülürken, 0,06 ve 0,08 mm/dev ilerleme miktarında bir artış görülmektedir. 0,04 mm/dev ilerleme miktarında, kesme hızının 160 m/dk 'ya çıkması ile birlikte dairesellik hatasında bir artış, diğer ilerleme miktarlarında bir azalma görülmüştür (Şekil 4.45). Bu durum yüksek kesme hızlarında takım aşınmasının artması atfedilebilir. Dairesellik; iş parçası bağlama sistemi, bağlama sisteminin sıkma basıncı, CNC tezgahın rijitliği, kesme parametreleri, kesme kuvvetleri gibi bir çok parametreden etkilenmektedir [62-66]. Rulman bilezikleri ince cidarlı olduklarından bağlama sistemine sökölüp takılmaları sırasında elastik deformasyona uğramakta bu da daireselliği etkilemektedir. Rulman bilezikleri için şekil ve konum toleransları önemli olduğu için daireselliğin diğer kesme parametreleri ile birlikte değerlendirilmesi ihtiyacı ve dairesellik hatasını minimum seviye indirecek tedbirlerin alınması gerekmektedir.



Şekil 4.46. İç bilezik iç çapının işlenmesinde 12. parçada oluşan dairesellik hataları.

BÖLÜM 5

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. SONUÇLAR

Sertleştirilmiş iç ve dış rulman bileziklerinin seramik ve CBN kesici takımlar ile işlenmesinde kesici takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvveti, kalıntı gerilme, mikroyapı, mikro sertlik ve ölçü ve dairesellik hatalarını belirlemek amacı ile yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda belirtilmiştir.

- Rulman bileziklerinin yuvarlanma yollarının işlenmesinde oluşan kuvvet bileşenlerinin düz bir yüzeyin işlenmesinde oluşan kuvvet bileşenlerinden farklı olduğu ve bu farklılığın da yuvarlanma yolunun işlenmesi esnasında yuvarlanma yolu formundan dolayı kaldırılan talaş kesitinin değişmesi sonucu ortaya çıktığı görülmüştür.
- İç ve dış bileziklerin yuvarlanma yollarının işlenmesinde radyal ve ilerleme kuvveti bileşenlerinin esas kesme kuvveti bileşeninden büyük olduğu görülmüştür. İç bilezik delik çapının işlenmesinde de radyal kuvvet bileşenlerinin esas kesme kuvveti bileşenlerinden yüksek olduğu görülmüştür.
- İç ve dış bileziklerin CBN ve seramik kesici takımlarla işlenmesinde oluşan kesme kuvvetleri birbirleri ile paralellik arz etmiştir. Seramik ile işlemede oluşan kesme kuvvetleri CBN ile işlemede olduğundan biraz daha yüksek olmuştur.
- İç bilezik delik çapının CBN ve seramik kesici takımlarla işlenmesinde kesici takımlarda yan yüzey ve krater aşınmaları görülmüştür. Her iki kesici takımda oluşan aşınmalar bezer eğilim göstermiştir. Ancak CBN kesici takımlarda oluşan aşınmaların daha düzenli olduğu görülmüştür.
- İç ve dış bilezik yuvarlanma yollarının CBN ve seramik kesici takımlarla işlenmesinde kesici takımlarda yan yüzey aşınması ve talaş yüzeyinde de

yapışma görülmüştür. CBN kesici takımlarda oluşan yan yüzey aşınmasının düzenli bir şekilde gerçekleştiği görülmüştür. İç ve dış bileziklerin yuvarlanmayollarının CBN ile işlenmesinde 120 m/dk kesme hızında 0,04 mm/dev ilerleme miktarında en düşük yüzey pürüzlülük değerleri elde edilmiştir.

- İç bilezik yuvarlanma yolunun ve delik çapının seramik ile işlenmesinde 100 m/dk kesme hızında 0,04 mm/dev ilerleme miktarında en düşük yüzey pürüzlülük değerleri elde edilmiştir.
- İç ve dış bileziklerin CBN ve seramik kesici takımlar işlenmesinde bileziklerde çevresel ve eksenel yöndeki kalıntı gerilmeler basma tipinde oluşmuştur. Sert tornalama ile üretilen rulman bileziklerinde oluşan kalıntı gerilmenin geleneksel taşlama yöntemi ile üretilen rulman bileziklerinden daha yüksek olduğu ve yüzey altına indikçe kalıntı gerilmelerde bir artış görülmüştür.
- İşlenen parça sayısının kalıntı gerilme üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı ancak kesici takım malzemesinin önemli olduğu görülmüştür. Sert tornalama ile üretilen rulmanların yorulma ömürlerinin standart rulmanlardan % 50 daha fazla olduğu görülmüştür.
- İç ve dış rulman bileziklerinin sert tornalanmasında yüzey altında beyaz ve siyah katman oluşumuna rastlanmamıştır.

5.2. ÖNERİLER

Aşağıda verilen önerilerin çalışılan bu konunun tamamlayıcısı olacağı ve diğer araştırmalara ışık tutacağı düşünülmektedir.

- Rulman bileziklerinin bağlanabilmesi için yeni bağlama sistemleri geliştirilebilir.
- İşlenebilirlik deneyleri kuru kesme şartlarında soğutma sıvısı uygulanmadan yapılabilir ve bu uygulamanın takım ömrü ve aşınması üzerindeki etkileri araştırılabilir.
- Farklı malzeme ve sertliklerde üretilen bileziklerin işlenebilirliği ve kesici takım performansı üzerindeki etkileri incelenebilir.
- Farklı CBN içerik oranına sahip takımların sertleştirilmiş çeliklerinin işlenmesindeki performansları araştırılabilir.
- Takım ömrü, yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması çalışmaları yapay sinir ağları (ANN), genetik algoritma ve sonlu elemanlar gibi teknikler kullanılarak modellenabilir ve optimize edilebilir.

KAYNAKLAR

1. Tönshoff, H.K., Arendt, C. and Ben Amor, R., “Cutting of hardened steel”, *Annals of the CIRP*, 49: 547-566 (2000).
2. Davim, J. P., “Machining of hard materials - definitions and industrial applications”, *Machining of Hard Materials*, Springer, London, 1-31 (2011).
3. Grzesik, W., “Hard part machining”, *Advanced Machining Processes of Metallic Materials: Theory, Modelling and Application*, Elsevier, Amsterdam, 245-259 (2008).
4. Bruni, C., Forcellese, A., Gabrielli, F. and Simoncini, M., “Hard turning of an alloy steel on a machine tool with a polymer concrete bed”, *Journal of Materials Processing Technology*, 202: 493-499 (2008).
5. Zhou, J.M., Walter, H., Andersson, M. and Stahl, J.E. “Effect of chamfer angle on wear of PCBN cutting tool”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 43: 301-305 (2003).
6. Grzesik, W., Rech, J. and Wanat, T., “Surface finish on hardened bearing steel parts produced by superhard and abrasive tools”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 47: 255-262 (2007).
7. Zhou, J. M., Andersson, M. and Stahl, J.E., “Identification of cutting errors in precision hard turning process”, *Journal of Materials Processing Technology*, 153-154: 746-750 (2004).
8. Tönshoff, H.K., Arendt, C. and Ben Amor, R., “Cutting of hardened steel”, *Annals of the CIRP*, 49: 547-566 (2000).
9. Huang, Y., Chou, Y.K., Liang, S.Y., “CBN tool wear in hard turning: a survey on research progresses”, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 35: 443-453(2007).
10. Sood, R., Guo, C. and Malkin, S., “Turning of hardened steels”, *Journal of Manufacturing Processes*, 2: 187-193 (2000).
11. Klocke, F., Brinksmeier, E. and Weinert, K., “Capability profile of hard cutting and grinding processes”, *Annals of the CIRP*, 54: 22-45 (2005).
12. Abrao, A.M. and Aspinwall, D.K., “The surface integrity of turned and ground hardened bearing steel”, *Wear*, 196: 279-284(1996).

13. Smith, S., Melkote, N., Lara-Curzio, E., Watkins, T.R., Allard, L. and Riester, L., “Effect of surface integrity of hard turned AISI 52100 steel on fatigue performance”, *Materials Science and Engineering A*, 459: 337–346 (2007).
14. Küçükylmaz, A. “Experimental investigation of residual stresses introduced via shot peening and their effect on fatigue life of ball bearings”, Yüksek Lisans Tezi, *Ortadoğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-35(2010).
15. İnternet: Ortadoğu Rulman Sanayi ve Ticaret A.Ş., “Rulman Nedir?”, <http://www.ors.com.tr/index.php/page,5,urunler>(2014).
16. İnternet: Ortadoğu Rulman Sanayi ve Ticaret A.Ş., “Rulman Üretimi”, <http://www.ors.com.tr/index.php/page,6,uretim>(2014).
17. Kalpakjian, S., “Manufacturing Process for Engineering Materials”, *Addison-Wesley*, New York (1991).
18. Matsumoto, Y., Hashimoto, F. and Lahoti, G., “Surface integrity generated by precision hard turning”, *Annals of the CIRP*, 48: 59-62 (1999).
19. Konig, W., Komanduri, R., Tönshoff, H. K. and Ackershoff, G., “Machining of hard materials”, *Annals of the CIRP*, 39: 417-427 (1990).
20. Choi, Y., “Influence of tool flank wear on performance of finish hard machined surfaces in rolling contact”, *International Journal of Fatigue*, 32: 390–397 (2010).
21. Dawson, T. G. and Kurfess, T. R., “Tool life, wear rates, and surface quality in hard turning”, *Transactions of The North American Research Institute*, 29:175-182 (2001).
22. Coelho, R.T., Ng, E. and Elbestawi, M.A., “Tool wear when turning hardened AISI 4340 with coated PCBN tools using finishing cutting conditions”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 47: 263–272(2007).
23. Yallese, M.A., Chaoui, K., Zeghib, N., Boulanouar, L. and Rigal, J., “Hard machining of hardened bearing steel using cubic boron nitride tool”, *Journal of Materials Processing Technology*, 209: 1092–1104(2009).
24. Grzesik, W. and Wanat, T., “Surface finish generated in hard turning of quenched alloy steel parts using conventional and wiper ceramic inserts”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 46: 1988–1995(2006).
25. Attanasio, A., Umbrello D., Cappellini C., Rotella G. and M’Saoubi, R., “Tool wear effects on white and dark layer formation in hard turning of AISI 52100 steel”, *Wear*, 286–287: 98–107 (2012).

26. İnternet: Khalid Traders, “Introduction to Ball Bearings”, <http://www.ktntn.com/pdfs/Introduction%20to%20Ball%20Bearings.pdf> (2014).
27. İnternet:NTN-SNR Group, “Bearing Technology”, http://www.ntn-snr.com/portal/fr/en-en/file.cfm/02-bearing_technology.pdf?contentID=4674 (2014).
28. İnternet: Ortadoğu Rulman Sanayi ve Ticaret A.Ş.,“RulmanÇeşitleri”, <http://www.ors.com.tr/index.php/page,5,urunler> (2014).
29. İnternet: AST Bearings LLC, “Bearing Materials”,http://www.astbearings.com/assets/files/Bearing-Materials-Technical-Information-Sheet_ENB-04-0553.pdf (2014).
30. İnternet: Kamtech Associates Pvt. Ltd.,“Manufacturing of Bearing”, <http://bearingsindustry.com/manufacturing.pdf> (2014).
31. Panda, A. and Pandová, A., “Production outer ring of tapered roller bearings”, *Scientific Bulletin, Serie C, Fascicle: Mechanics, Tribology, Machine Manufacturing Technology*, 23: 153-154 (2009).
32. İnternet: “Ortadoğu Rulman Sanayi ve Ticaret A.Ş.”, Üretim Süreçleri, http://www.ors.com.tr/index.php/page,74,uretim_surecleri(2014).
33. İnternet: Sandvik Coromant, “Switch to Hard-Part Turning”, http://www2.coromant.sandvik.com/coromant/pdf/Hard_part_turning/C-1040-069.pdf(2014).
34. Bartarya, G. and Choudhury, S.K., “State of the art in hard turning”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 53: 1–14 (2012).
35. Thiele, J. D. and Melkote, S.N., “Effect of cutting edge geometry and workpiece hardness on surface generation in the finish hard turning of AISI 52100 steel”, *Journal of Materials ProcessingTechnology*, 94(2-3): 216–226 (1999).
36. Rodriguez, C.J.C., “Cutting edge preparation of precision of cutting tools by applying micro-abrasive jet machining and brushing”, *Kassel University Press*, Kassel (2009).
37. Lahiff, C., Gordon, S. and Phelan P., “PCBN tool wear modes and mechanisms in finish hard turning”, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 23: 638–644 (2007).
38. Singh, D. and Rao, P. V., “Flank wear prediction of ceramic tools in hard turning”, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 50:479–493(2010).

39. Godoy, V.A. and Diniz, E.A., “Turning of interrupted and continuous hardened steel surfaces using ceramic and CBN cutting tools”, *Journal of Materials Processing Technology*, 211: 1014–1025 (2011).
40. Kumar, A. S., Durai, A.R. and Sornakumar T., “The effect of tool wear on tool life of alumina-based ceramic cutting tools while machining hardened martensitic stainless steel”, *Journal of Materials Processing Technology*, 173: 151–156 (2006).
41. Aslantaş, K., Uçun, İ. and Çiçek, A., "Tool life and wear mechanism of coated and uncoated Al₂O₃/TiCN mixed ceramic tools in turning hardened alloy steel", *Wear*, 274-275: 442-451 (2012).
42. Grzesik, W., “Wear development on wiper Al₂O₃–TiC mixed ceramic tools in hard machining of high strength steel”, *Wear*, 266: 1021–1028 (2009).
43. Sokovic, M., Barisic, B. and Sladic, S., “Model of quality management of hard coatings on ceramic cutting tools”, *Journal of Materials Processing Technology*, 209: 4207–4216 (2009).
44. Grzesik, W., “Wear of ceramic tools in hard machining”, *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 26(2): 127-130 (2008).
45. Davim, J. P., “Advanced cutting tools”, Machining of Hard Materials, *Springer*, London, 33-86 (2011).
46. Yallese, M.A., Rigal, J.F., Chaoui, K. and Boulanouar, L., “The effect of cutting conditions on mixed ceramic and cubic boron nitride tool wear and on surface roughness during machining of X200Cr12 steel (60 HRC)”, *Proceedings of Institution of Mechanical: Part B: Engineering Manufacture*, 219: 35–55 (2005).
47. Huang, Y. and Dawson, T.G., “Tool crater wear depth modeling in CBN hard turning”, *Wear*, 258: 1455–1461 (2005).
48. Farhat, Z.N., “Wear mechanisms of CBN cutting tool during high-speed machining of mold steel”, *Materials Science and Engineering A*, 361: 100–110 (2003).
49. More, A.S., Jiang, W., Brown, W.D. and Malshe, A.P., “Tool wear and machining performance of CBN-TiN coated carbide inserts and PCBN compact inserts in turning AISI 4340 hardened steel”, *Journal of Materials Processing Technology*, 180: 253–262 (2006).
50. Grzesik, W., “Influence of tool wear on surface roughness in HT using differently shaped ceramic tools”, *Wear*, 265: 327–335 (2008).

51. Ebrahimi, A. and Moshksar, M.M, “Evaluation of machinability in turning of micro- alloyed and quenched-tempered steels: tool wear, statistical analysis, chip morphology”, *Journal of Material Processing Technology*, 209: 910–921 (2009).
52. Davim, J.P. and Figueira, L, “Machinability evaluation in hard turning of cold work tool steel (D2) with ceramic tools using statistical techniques”, *Materials and Design*, 28: 1186–1191 (2007).
53. Aslan, E., Çamuscu, N. and Birgoren, B., “Design optimization of cutting parameters when turning hardened AISI 4140 steel (63 HRC) with Al₂O₃ + TiCN mixed ceramic tool”, *Materials and Design*, 28: 1618–1622 (2007).
54. Lin, H.M., Liao, Y.S., Wei, C.C., “Wear behavior in turning high hardness alloy steel by CBN tool”, *Wear*, 264: 679–684 (2008).
55. Saini, S., Ahuja, I.S., Vishal, S. and Sharma, V.S., “Residual stresses, surface roughness, and tool wear in hard turning: a comprehensive review”, *Materials and Manufacturing Processes*, 27: 583–598(2012).
56. Poulachon, G., Bandyopadhyay, B.P., Jawahir, I. S., Pheulpin, S. and Seguin, E., “Wear behavior of CBN tools while turning various hardened steels”, *Wear*, 256: 302–310 (2004).
57. Guo, Y.B., Dale, W. Schwach, D.W. “An experimental investigation of white layer on rolling contact fatigue using acoustic emission technique”, *International Journal of Fatigue*, 27:1051–1061 (2005).
58. Sangil Han, S., Melkote, S.N., Haluska, M. S. and Watkins, T.R., “White layer formation due to phase transformation in orthogonal machining of AISI 1045 annealed steel”, *Materials Science and Engineering A*, 488:195–204 (2008).
59. Ramesh, A., Melkotea, S.N., Allardb, L.F., Riesterb, L. and Watkinsb, T.R., “Analysis of white layers formed in hard turning of AISI 52100 steel”, *Materials Science and Engineering A*, 390: 88–97 (2005).
60. Guo, Y.B. and Sahni, J., “A comparative study of hard turned and cylindrically ground white layers”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 44: 135–145 (2004).
61. İnternet: Soroka, D.P., Hardinge Inc., “Hard Turning and The Machine Tool”, <http://hardingeus.com/usr/pdf/hardtturn/ASME.pdf> (2004).
62. Malluck, J.A. and Melkote, S.N, “Modeling of deformation of ring shaped workpieces due to chucking and cutting forces”, *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 126:141–147 (2004).

63. Brinksmeier, E., Sölter, J. and Grote, C., “Distortion engineering – identification of causes for dimensional and form deviations of bearing rings”, *CIRP Annals–Manufacturing Technology*, 56(1): 109–112 (2007).
64. Beekhuis, T., Björn, L., Brinksmeier E., Garbrecht, M. and Sölter, J., “Improving the shape quality of bearing rings in soft turning by using a Fast Tool Servo”, *Prod. Eng. Res. Devel*, 3:469–474 (2009).
65. Brinksmeier, E., and Sölter, J., “Prediction of shape deviations in machining”, *CIRP Annals Manufacturing Technology*, 58:507–510 (2009).
66. Stöbener, D., and Beekhuis, B., “Application of an in situ measuring system for the compensation of wall thickness variations during turning of thin-walled rings”, *CIRP Annals – Manufacturing Technology*, 62:511–514 (2013).
67. Neşeli, S., “Tornalamada takım geometrisi ve tırlama titreşimlerinin yüzey pürüzlülüğüne etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 48-66 (2006).
68. İşbilir, F., “Takım ömrünün sebep-sonuç diyagramları ile açıklanması, yüzey pürüzlülüğü ve takım ömrüne etkili faktörlerin analizi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 4-8 (2006).
69. Tekaslan, Ö., Gerger, N. ve Şeker, U., “CNC torna tezgahında AISI 304 çeliklerin işlenmesinde optimum yüzey pürüzlülüğünü sağlayacak kesme parametrelerinin tespiti”, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 16: 97-104 (2008).
70. Demircioğlu, P., “Talaşlı imalat yöntemleri ile imal edilen iş parçalarında yüzey pürüzlülüğünün yüksek hassasiyette iğne uçlu ve 3D optik ölçüm sistemleri ile değerlendirilmesi”, *Mühendis ve Makina*, 52(613): 81-91 (2011).
71. Yılmaz, E., “Dış tornalama işleminde, takım tutucu malzemesinin ve sertliklerinin (HRC) yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetlerine etkisinin gri ilişkisel analiz yöntemi ile belirlenmesi”, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 7-9 (2010).
72. Can, A., “AISI 5140 çeliğinin sermet, PVD ile TiAlN-CVD ile TiN kaplanmış kesici uçlarla tormalanmasında kesme değişkenleri, kaplama cinsi ve takım aşınmasının yüzey pürüzlülüğüne etkisinin deneysel incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 13-24 (2003).
73. Motorcu, A. R., “Ç1050, Ç4140 ve Ç52100 çeliklerinin işlenebilirliği ve modeller geliştirilmesi”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 11-23 (2006).

74. Akkuş, H., “Tornalama işlemlerinde yüzey pürüzlülüğünün istatistiksel ve yapay zeka yöntemleriyle tahmin edilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 33-42 (2010).
75. Groover, M. P., “Dimensions, surfaces and their measurement”, Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems, 4th Edition, *John Wiley & Sons Inc*, 78-98 (2010).
76. Leach, R., “The measurement of surface texture using stylus instruments” Measurement Good Practice Guide No. 37, *National Physical Laboratory*, Middlesex, 11-31(2014).
77. İnternet: Jenoptik AG, “Roughness Measuring Systems From Jenoptik – Surface Texture Parameters In Practice”, [http://www.jenoptik.com/cms/products.nsf/0/1A7134BF9D269B8CC1257B9B00525CEA/\\$File/faltblatt_rauheit_en_10037109_06_2013.pdf?Open](http://www.jenoptik.com/cms/products.nsf/0/1A7134BF9D269B8CC1257B9B00525CEA/$File/faltblatt_rauheit_en_10037109_06_2013.pdf?Open) (2014).
78. Davim J. P., “Surface Texture Characterization and Evaluation Related to Machining”, Surface Integrity in Machining, *Springer*, London, 37-66 (2010).
79. İnternet: Zygo Corporation, “Surface Texture Parameters”, <http://action.zygo.com/acton/attachment/4246/f-00ce/0/-/-/-/file.pdf> (2014)
80. Taylan, F., “Sert malzemelerin frezelenmesinde takım aşınma davranışlarının belirlenmesi”, Doktora Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, 38-53, (2009).
81. Davim, J. P., “Advanced cutting tools”, Machining of Hard Materials, *Springer*, London, 33-87, (2011).
82. Şeker, U., “Talaşlı imalatta takım tasarımı”, *G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Ders Notları*, Ankara (2000).
83. Çakır, M.C., “Modern Talaşlı İmalat Yöntemleri”, *Vipaş*, Bursa, (2000).
84. Özdemir, U., ERTEN, U., “Talaşlı imalat sırasında kesici takımda meydana gelen hasar mekanizmaları ve takım hasarını azaltma yöntemleri”, *Havacılık Ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, 1(1): 37-50, 2003.
85. İnternet: Sandvik Coromant, “Tool Wear”, http://www.sandvik.coromant.com/en-us/knowledge/milling/troubleshooting/tool_wear/pages/default.aspx(2014).
86. Kafkas, F., “Tornalanmış parçalardaki kalıntı gerilmelerin sapma yöntemi kullanılarak tahmini”, *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu*, Karabük (2009).

87. Kafkas, F., “Vidaların talaşlı imalatında imalat parametrelerinin vida diş dibindeki kalıntı gerilmeler üzerine etkilerinin deneysel olarak araştırılması”, Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 8-24 (2007).
88. Tekaslan Ö., “AISI 304 östenitik paslanmaz çeliklerde işlenebilirliğe bağlı olarak kalıcı gerilme problemlerinin araştırılması”, Doktora Tezi, **Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Balıkesir, 17-112 (2007).
89. Davim J. P., “Residual stresses and microstructural modifications” *Surface Integrity in Machining*, **Springer**, London, 67-126 (2010).
90. Huang, H., Liu Z. and Xie H., “Recent progress in residual stress measurement techniques”, *Acta Mechanica Solida Sinica*, 26 (6): 570-883 (2013).
91. Dreiera S. and Denkenaa B., “Determination of residual stresses in plate material by layer removal with machine-integrated measurement”, *Procedia CIRP*, 24:103-107 (2014).
92. Savaria, V., Bridier, F. and Bochern, P., “Computational quantification and correction of the errors induced by layer removal for subsurface residual stress measurements”, *International Journal of Mechanical Sciences*, 64:184-195 (2012).
93. Bendek E., Lira I., François M. and Vial C., “Uncertainty of residual stresses measurement by layer removal”, *International Journal of Mechanical Sciences*, 48: 1429–1438 (2006).
94. Özer A., Özçatalbaş, Y., “Delik delme yöntemiyle kalıcı/kalıntı gerilmelerin ölçülmesi ve gerinim ölçerlerin kalibrasyonu” **Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ.**, 26 (3) : 657-666 (2011).
95. Yelbay, H.İ., “Tahribatsız yöntemlerle kalıntı gerilim ölçümündeki gelişmeler” **3rd International Non-Destructive Testing Symposium and Exhibition**, İstanbul (2008).
96. Diniz, A. E. and Oliveira, A.J., “Hard turning of interrupted surfaces using CBN tools”, *Journal of Materials Processing Technology*, 195: 275–281 (2008).
97. Benga, G. C. and Abrao, A.M., “Turning of hardened 100Cr6 bearing steel with ceramic and PCBN tools”, *Journal of Materials Processing Technology*, 143: 237-241 (2003).
98. Chonghai, X., Xing, A. and Chuanzhen, H., “Fabrication and performance of an advanced ceramic tool material”, *Wear*, 349: 503-508 (2001).
99. Luo, S. Y., Liao, Y.S. and Tsai, Y.Y., “Wear characteristics in turning high hardness alloy steel by ceramic and CBN tools”, *Journal of Materials Processing Technology*, 88: 114-121 (1999).

100. Chou, Y.K., Evans, C. J. and Barash, M.M., “Experimental investigation on cubic boron nitride turning of hardened AISI 52100 steel”, *Journal of Materials Processing Technology*, 134: 1-9 (2003).
101. Barry, J. and Byrne, G., “Cutting tool wear in the machining of hardened steels, Part II: Cubic Boron Nitride cutting tool wear”, *Wear*, 247: 152-160 (2001).
102. Uçun, İ. ve Aslantaş, K., “Sertleştirilmiş 52100 takım çeliğinin tornalanmasında karbürlü kesici takımın performansının araştırılması”, *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu*, Karabük, (2009).
103. Choi, Y., “A study on the effects of machining-induced residual stress on rolling contact fatigue”, *International Journal of Fatigue*, 31: 1517–1523 (2009).
104. Guo, Y.B., Warren, A. W. and Hashimoto, F., “The basic relationships between residual stress, white layer, and fatigue life of hard turned and ground surfaces in rolling contact”, *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 2: 129-134 (2010).
105. Jouini, N., Revel, P., Mazeran, P. E. and Bigerelle, M., “The ability of precision hard turning to increase rolling contact fatigue life”, *Tribology International*, 59: 141–146 (2013).
106. Guddat, J., M’Saoubi, R., Alm, P. and Meyer, D., “Hard turning of AISI 52100 using PCBN wiper geometry inserts and the resulting surface integrity”, *Procedia CIRP*, 19: 118 -124 (2011).
107. Hua, J., Shivpuri, R., Cheng, X., Bedekar, V., Matsumoto, Y., Hashimoto, F. and Watkins, T.R., “Effect of feed rate, workpiece hardness and cutting edge on subsurface residual stress in the hard turning of bearing steel using chamfer+hone cutting edge geometry”, *Materials Science and Engineering A*, 394: 238-248 (2005).
108. Dahlman, P., Gunnberg, F. and Jacobson, M., “The influence of rake angle, cutting feed and cutting depth on residual stresses in hard turning”, *Journal of Materials Processing Technology*, 147: 181-184 (2004).
109. Caruso, S., Umbrello, D., Outeiro, J. C., Filice, L. and Micari, F., “An experimental investigation of residual stresses in hard machining of AISI 52100 steel”, *Procedia Engineering*, 19: 67-72 (2011).
110. Diniz, A.E., Ferreira, J. R. and Filho, F.T., “Influence of refrigeration/lubrication condition on SAE 52100 hardened steel turning at several cutting speeds”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 43: 317–326 (2003).

111. Rotella G., Umbrello, D., Dillon O.W. and Jawahir, I.S. “Evaluation of process performance for sustainable hard machining”, *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems and Manufacturing*, 6 (6): 989-998 (2012).
112. Sölter, J., Grote, C. and Brinksmeier, E., “Influence of clamping strategies on roundness deviations of turned rings”, *Machining Science and Technology*, 15: 338-355 (2011).
113. Maračeková M., Zvončan, M. and Görög, A., “Effect of clamping pressure on parts inaccuracy in turning”, *Tehnički vjesnik*, 19 (3): 509-512 (2012).
114. Batalha, G.F., Delijaicov, S., Aguiar, J.B., Bordinassi, E.C. and Filho M.S., “Residual stresses modelling in hard turning and its correlation with the cutting forces”, *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 24 (1): 350-356 (2007).
115. Kurt, A., “Talaş kaldırma sırasında oluşan kesme kuvvetleri ve mekanik gerilmelerin deneysel olarak incelenmesi ve matematiksel modellerinin oluşturulması”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (2006).
116. Motorcu, A. R., “Isıl işlemsiz ve küreselleştirilmiş Ç52100 rulman çeliğinin farklı takımlarla işlenmesinde takım ömrü ve aşınmasının incelenmesi”, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 25(1): 65-75 (2010).
117. Islam, M.N., “Effect of additional factors on dimensional accuracy and surface finish of turned parts”, *Machining Science and Technology: An International Journal*, 17 (1): 145-162 (2013).
118. Bouacha K. , Yallese, M.A., Khamel, S. and Belhadi S., “Analysis and optimization of hard turning operation using cubic boron nitride tool”, *Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 45: 160–178 (2014).
119. Singh, D. and Rao, P.V., “Optimization of tool geometry and cutting parameters for hard turning”, *Materials and Manufacturing Processes*, 22: 15–21 (2007).
120. Chou Y.K. and Song, H., “Thermal modeling for white layer predictions in finish hard turning”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 45: 481–495(2005).
121. Li Qian, L. and Hossan, M.R., “Effect on cutting force in turning hardened tool steels with cubic boron nitride inserts”, *Journal of Materials Processing Technology*, 191: 274–278 (2007).
122. Özel, T., “Modeling of hard part machining: effect of insert edge preparation in CBN cutting tools”, *Journal of Materials Processing Technology*, 141: 284–293 (2003).

123. İnternet:Sandvik Coromant, “CBN Takım”, <http://www.sandvik.coromant.com/engb/products/pages/productdetails.aspx?c=DCGW11T304S01020F%207015&m=5730461> (2014).
124. İnternet: Sandvik Coromant, “İç Çap Kater”, <http://www.sandvik.coromant.com/engb/products/pages/productdetails.aspx?c=A25T-SDUCR%2011&m=5722389> (2014).
125. İnternet:Sandvik Coromant, “Dış Çap Kater”, <http://www.sandvik.coromant.com/engb/products/pages/productdetails.aspx?c=SDJCR%202020K%2011&m=5749577> (2014).
126. İnternet: Bilginoğlu Endüstri, “Seramik Takım”, http://www.bilginoglu-endustri.com.tr/images2/img/4463/File/04%2020Kyocera%20Turning_Inserts_CERAMIC%202010-2011%20%5BENG%5D.pdf(2014).
127. İnternet: Bilginoğlu Endüstri, “Seramik Kaliteleri”, <http://www.bilginoglu-endustri.com.tr/images2/img/4463/File/01%20-%20Kyocera%20Insert%20Grades%202010-2011%20%5BENG%5D.pdf>(2014).
128. İnternet: Bilginoğlu Endüstri, “Dış Çap Kateri”, <http://www.bilginoglu-endustri.com.tr/images2/img/4463/File/08%20%20Kyocera%20Boring%202010-2011%20%5BENG%5D.pdf>(2014).
129. İnternet: Murata Machinery LTD.,“Muratec MW120 CNC Torna Tezgahı”,<http://www.muratec.net/mt/products/mw.html#t01>(2014).
130. İnternet:Sandvik Coromant, “CBN ile Sert Parça Tornalama”, <http://www.sandvik.coromant.com/sitecollectiondocuments/downloads/global/catalogues/tr-tr/c-2940-137.pdf>(2014).
131. İnternet: Hainbuch Workholding Technolog”, “Adaptation Clamping Device”,<http://www.hainbuch.com/en/home/products/adaptation-clamping-device/mando-adapt/mando-adapt-t812.html> (2014).
132. Trent, E.M. and Wright, P.K, “Forces and stresses in metal cutting”, Metal Cutting, *Butterworth–Heinemann*, Boston, 57-95 (2000).
133. Sadik, M.İ., “Wear development and cutting forces on CBN cutting tool in hard part turning of different hardened steels”, *Procedia CIRP*, 1: 232–237 (2012).

ÖZGEÇMİŞ

Mehmet BOY 10.07.1978 tarihinde Sakarya’da doğdu. İlkokul ve ortaokul öğrenimi aynı şehirde tamamladı. Sakarya Anadolu Meslek Lisesi Makine Bölümü’nden 1996 yılında mezun oldu. 1997 yılında Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Talaşlı Üretim Öğretmenliğini kazandı ve 2001 yılında mezun oldu. 2001 yılında Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Eğitimine başladı ve 2004 yılında mezun oldu. 2006 yılında Karabük Üniversitesi Meslek Yüksekokulunda Öğretim Görevlisi olarak göreve başladı. 2008 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Eğitimi Anabilim Dalı’nda Doktora Eğitimine başladı ve halen Eğitimine ve Öğretim Görevliğine devam etmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres: Karabük Üniversitesi

Meslek Yüksekokulu

Makine Programı

Demir Çelik Kampüsü 78050 / KARABÜK

Tel : 0 505 503 42 69

E-posta : mboy@karabuk.edu.tr