

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

TOOLOX 44 MALZEMESİNİN TORNALANMASINDA YÜZEY
PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN VE TAKIM AŞINMASININ
İNCELENMESİ

NURAY ÜÇÜNCÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: DOÇ. DR. EMEL KURAM

ŞUBAT 2025

**T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**TOOLOX 44 MALZEMESİNİN TORNALANMASINDA
YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN VE TAKIM
AŞINMASININ İNCELENMESİ**

NURAY ÜÇÜNCÜ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

DANIŞMAN: DOÇ. DR. EMEL KURAM

ŞUBAT 2025

T.R.
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL

**INVESTIGATION OF SURFACE ROUGHNESS AND
TOOL WEAR IN TURNING OF TOOLOX 44
MATERIAL**

NURAY ÜÇÜNCÜ

**A THESIS OF MASTER OF SCIENCE
DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING**

ADVISOR: ASSOC. PROF. EMEL KURAM

FEBRUARY 2025

YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GTÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulunun 03/02/2025 tarih ve 2025/08 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 25/02/2025 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Nuray ÜÇÜNCÜ'nün tez çalışması Makine Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Doç. Dr. Emel KURAM

ÜYE

: Prof. Dr. Babür ÖZÇELİK

ÜYE

: Dr. Öğr. Üyesi Barkın BAKIR

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulunun

...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

Bu çalışmada, ön sertleştirilmiş bir takım çeliği olan Toolox 44 malzemesinin CNC torna tezgâhında işlenmesi sırasında kesme hızı, ilerleme ve kesici uç burun radyüsü değerlerinin yüzey pürüzlülüğü (Ra) ve kesici takım aşınması üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Deneyler (0,5 mm) sabit talaş derinliğinde soğutma sıvısı kullanılmadan gerçekleştirilmiştir. Tornalamada üç farklı kesme hızı (80 m/dak, 110 m/dak ve 140 m/dak), ilerleme miktarı (0,1 mm/dev, 0,2 mm/dev ve 0,3 mm/dev) ve kesici uç burun radyüsü (0,2 mm, 0,4 mm ve 0,8 mm) kullanılmıştır. Deney şartlarında talaş yüzeyinde krater aşınması veya kesici uç yüzeyinde talaş yapışması (built-up edge, BUE) tespit edilmemiştir. Ancak uçların serbest yüzeylerinde aşınma görülmüştür. Kesme hızı 140 m/dak, ilerleme 0,1 mm/dev ve kesici uç burun radyüsü 0,4 mm olduğu durumda en düşük serbest yüzey aşınması bulunmuştur. Tüm kesme hızları ve tüm kesici uç burun radyüsleri için, ilerleme miktarındaki artışla birlikte Ra değerinin yükseldiği tespit edilmiştir. Yine tüm kesme hızlarında genel olarak kesici uç burun radyüsünün artması ise Ra değerini düşürdüğü gözlemlenmiştir. Etkilerinin büyüklüğüne göre sırasıyla ilerleme miktarı, kesici uç burun radyüsü ve kesme hızı Ra değerini en fazla etkileyen parametreler olarak sıralanmıştır. Toolox 44 malzemesinin tornalanmasında kesici uç radyüsü ve kesme hızı hangi değerde olursa olsun Ra değerini önemli ölçüde artırması sebebiyle, ilerlemenin 0,3 mm/dev olarak seçilmemesi önerilmektedir. İlerlemenin 0,2 mm/dev olarak seçilmesi durumunda, iyi bir yüzey kalitesinin elde edilmesi için kesici uç burun radyüsünün 0,8 mm olması gerektiği bulunmuştur.

Bu bulgular, Toolox 44 malzemesinin işlenebilirlik özelliklerini anlamak ve yüzey kalitesi ile takım ömrünü optimize etmek için önemli bir rehber niteliğindedir.

Anahtar Kelimeler: Toolox 44, Kesici Takım Aşınması, Kesme Parametreleri, Tornalama, Kesici Uç Burun Radyüsü, Yüzey Pürüzlülüğü.

ABSTRACT

This study investigates the effects of cutting speed, feed rate, and tool nose radius on surface roughness (R_a) and tool wear during the machining of pre-hardened Toolox 44 steel using a CNC lathe. Turning experiments were conducted under dry cutting conditions with a constant depth of cut (0.5 mm). Three different cutting speeds (80, 110, and 140 m/min), feed rates (0.1, 0.2, and 0.3 mm/rev), and tool nose radii (0.2, 0.4, and 0.8 mm) were used. Under the experimental conditions, no built-up edge (BUE) or crater wear was observed on the tool surfaces. However, wear was observed on the flank surfaces of the tools. The lowest flank wear was observed at a cutting speed of 140 m/min, a feed rate of 0.1 mm/rev, and a tool nose radius of 0.4 mm. It was found that the R_a value increased with an increase in feed rate for all cutting speeds (80, 110, and 140 m/min) and tool nose radii (0.2, 0.4, and 0.8 mm). In general, it was observed that the R_a value decreased as the tool nose radius increased for all cutting speeds. The parameters affecting the R_a value were ranked in terms of their influence as follows: feed rate, tool nose radius, and cutting speed. Due to the significant increase in the R_a value observed with a feed rate of 0.3 mm/rev, it is recommended not to select this value during the machining of Toolox 44 steel. If a feed rate of 0.2 mm/rev is to be used, a tool nose radius of 0.8 mm should be selected to achieve optimal surface quality.

These findings provide important guidance for understanding the machinability characteristics of Toolox 44 steel and optimizing surface quality and tool life.

Keywords: Toolox 44, Tool Wear, Cutting Parameters, Turning, Insert Radius, Surface Roughness.

TEŞEKKÜR

Bu tezi hazırlamamda gösterdiği her türlü destek ve yardımlarından dolayı çok değerli hocam Doç. Dr. Emel Kuram'a en içten dileklerle teşekkür ederim.

Bu deneysel çalışmanın gerçekleştirilmesinde maddi ve manevi katkı sağlayan Baksan Makina A.Ş. ve çalışanlarına, CNC tornalama işlemiyle deney numunelerini hazırlayan Eren Gedik'e, yüzey pürüzlülüğü ölçümlerine yardımcı olan tekniker Önder Gedik'e ve SEM incelemelerinde destek veren öğretim görevlisi Ahmet Nazım'a teşekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
TABLolar DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Literatür Özeti, Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği	2
2. TORNALAMA	7
2.1. Kesme Parametreleri	8
2.1.1. Kesme Hızı	9
2.1.2. İlerleme	11
2.1.3. Talaş Derinliği	12
2.2. Kesici Takım Geometrisi	13
2.2.1. Kesici Uç Yarıçapı	13
3. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ	16
3.1. Yüzey Pürüzlülüğü Parametreleri	17
4. TAKIM AŞINMASI	19
4.1. Aşınma Tipleri	19
5. TOOLOX 44 ÇELİĞİ VE İŞLENEBİLİRLİĞİ	23
5.1. Toolox 44 Malzeme Özellikleri	23
5.1. Toolox 44 Uygulama Alanları	24
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	25
6.1. CNC Torna Tezgâhı	25
6.2. İş Parçası Malzemesi	26
6.3. Kesici Uç ve Takım Tutucu	26
6.4. Deney Planı	27
6.5. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü	30
6.6. Takım Aşınması Ölçümü	32
7. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA	34
7.1. Takım Aşınması	34
7.2. Yüzey Pürüzlülüğü	43
8. SONUÇLAR	46
9. ÖNERİLER	47
KAYNAKLAR	49
ÖZGEÇMİŞ	53
TEZ METNİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR	54
EKLER	55

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

V_c (m/dak)	:	Kesme Hızı
n (dev/dak)	:	Devir Sayısı
a (mm)	:	Kesilen Talaş Derinliği
d (mm)	:	Çap
f (mm/dev)	:	İlerleme
r_ϵ	:	Kesici Uç Yarıçapı
R_a (μm)	:	Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü
R_t	:	Pürüzlülük Yüksekliği
SEM	:	Taramalı Elektron Mikroskobu
BUE	:	Yığma Kenar Oluşumu



ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1: Tornalama İşleminin Gösterimi.	7
Şekil 2.2: Kesme Parametrelerinin İş Parçası Üzerinde Gösterimi.	9
Şekil 2.3: Kesme Hızının İfadesi	10
Şekil 2.4: Kesme Hızının Farklı Çaplardaki Değişiminin Gösterilmesi	11
Şekil 2.5: İlerleme Hızının Gösterilmesi	12
Şekil 2.6: Talaş Derinliğinin Gösterilmesi.	13
Şekil 2.7: Kesici Uç Yarıçapı Gösterilmesi.	14
Şekil 2.8: Kesici Uç Yarıçapının Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi	15
Şekil 3.1: Malzemeler Üzerinde Yüzey Pürüzlülüğü ve Dalgalanmanın Gösterilmesi.	17
Şekil 3.2: Yüzey Kalitesi İçin Sayısal Değerler.	18
Şekil 4.1: Aşınma Tiplerinin Sınıflandırılması.	20
Şekil 6.1: DOOSAN LYNX2100 CNC Torna Tezgâhı.	25
Şekil 6.2: Toolox 44 Deney Numunesi.	26
Şekil 6.3: Deneylerde Kullanılan Kesici Takım Özellikleri.	27
Şekil 6.4: Deneylerde Kullanılan Kater Özellikleri.	27
Şekil 6.5: İş Parçasının Torna Aynasına Bağlanması.	30
Şekil 6.6: İş Parçası Boyutu ve Tornalama Uzunluğu.	30
Şekil 6.7: Yüzey Pürüzlülüğü Ölçme Yöntemi ve Ölçüm Noktaları.	32
Şekil 6.8: Kesici Takım Aşınmasının SEM Ölçümü.	33
Şekil 7.1: Kullanılmamış Kesici Uçların SEM Görüntüleri.	35
Şekil 7.2: Kesici Uçların SEM Görüntüleri (Deney 1-6).	36
Şekil 7.3: Kesici Uçların SEM Görüntüleri (Deney 7-12).	37
Şekil 7.4: Kesici Uçların SEM Görüntüleri (Deney 13-18).	38
Şekil 7.5: Kesici Uçların SEM Görüntüleri (Deney 19-24).	39
Şekil 7.6: Kesici Uçların SEM Görüntüleri (Deney 25-27).	40
Şekil 7.7: Kesme hızları (a) 80 m/dak, (b) 110 m/dak ve (c) 140 m/dak kullanıldığında ilerleme ve kesici uç burun radyüsünün bir sonucu olarak ölçülen serbest yüzey aşınması değerleri.	42
Şekil 7.8: Kesme hızları (a) 80 m/dak, (b) 110 m/dak ve (c) 140 m/dak kullanıldığında ilerleme ve kesici uç yarıçapının bir fonksiyonu olarak ölçülen ortalama Ra değerleri	45

TABLÖLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 5.1: Toolox 44 Kimyasal Bileşimi (% ağırlık)	23
Tablo 5.2: Toolox 44 Malzemesinin Mekanik Özellikleri	24
Tablo 5.3: Toolox 44 Malzeme Fiziksel Özellikleri	24
Tablo 6.1: Deney Şartları	28



1. GİRİŞ

Endüstriyel üretimde kullanılan malzemelerin işlenebilirlik özellikleri, üretim süreçlerinin verimliliği ve ürün kalitesi açısından kritik bir öneme sahiptir. Modern imalat süreçlerinde yüksek mukavemetli çelikler, dayanıklılık, sertlik ve boyutsal stabilite gibi özellikleriyle öne çıkmaktadır. Üretim sektöründe, üretilen malzemelerde yüksek mukavemet ve kullanım ömrü istenmektedir. Bu sebeple talaşlı imalat öncesinde iş parçaları ısıtılarak sertleştirme işlemi yapılır. Isıtılma işlemi sonrası iş parçasında iç gerilmeler meydana gelmektedir. Bu iç gerilmeler sonucunda, iş parçasında mikro çatlak, çarpıklık, yüzeyde yanma ve iş parçasının deformasyona uğraması gibi sorunlar ortaya çıkmaktadır [1]. Isıtılma işlemi sonrası yapılan finiş yüzey işlemleri ile bu sorunlar giderilmektedir. Fakat bu işlemler ekstra zaman ve ekstra maliyet getirmektedir. Bu tür sebepler ile ön sertleştirilmiş olarak üretilen malzemelerin kullanımı talaşlı üretimde yaygınlaşmıştır [2].

Toolox 44 de bu malzemelerden biridir. Ön sertleştirilmiş ve tavlama bir malzeme olup, yüksek darbe direnci ve boyutsal kararlılığı sağlamak için gerilimi giderilmiş şekilde temin edilir. Uygun yüzey işlemleri ile servis ömrü artırılabilir. 45 HRC-47 HRC sertliğe rağmen işleme kolaydır ayrıca yüksek sıcaklıklarda yüksek mukavemete sahiptir [3]. Ancak, bu tür yüksek mukavemetli çeliklerin işlenmesi, genellikle kesici takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü gibi zorluklarla karşılaşılmasına neden olur.

Bu çalışmada, ön sertleştirilmiş Toolox 44 malzemesinin tornalanmasında oluşan yüzey pürüzlülüğü ve kesici takım aşınması ele alınmıştır. Yüzey pürüzlülüğü, işlenmiş yüzeyin kalitesini doğrudan etkileyen bir parametre olup, parçanın işlevselliği, kullanım ömrü ve montaj uygunluğu açısından büyük önem taşır. Kesici takım aşınması ise, üretim sürecinin sürdürülebilirliği ve maliyet etkinliği üzerinde belirleyici bir faktördür. Bu bağlamda, işleme parametrelerinin bu iki ana unsura etkisinin belirlenmesi, daha verimli üretim süreçlerinin tasarlanmasına olanak sağlayacaktır.

1.1. Literatür Özeti, Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği

Bayraktar, Ş., ve Uzun, G., çalışmalarında, Toolox 44 ve Nimax malzemelerinin frezelemede işlenebilirlikleri incelemişlerdir. Deneyler, farklı kesme hızları (50, 70, 90 m/dak), ilerlemeler (0,04, 0,08, 0,12 mm/diş) ve talaş derinliği de sabit tutularak (1,5 mm) yapılmıştır. Sonuçlara göre, Toolox 44 malzemesinin Nimax'a göre daha yüksek yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvveti oluşturduğunu bulmuşlardır. Nimax malzemesi için uygun kesme parametreleri yüksek kesme hızı (V: 90 m/dak) ve düşük ilerleme miktarıdır (f: 0,04 mm/diş). Kesme parametreleri Toolox 44 için ise düşük kesme hızı (V: 50 m/dak) ve düşük ilerleme (f: 0,04 mm/diş) olarak bulunmuştur. Kesme hızı arttıkça, Toolox 44 malzemesinde yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvveti önemli ölçüde artarken, Nimax malzemesinde bu değerler azalmıştır. Ayrıca, işlenmiş yüzey altı görüntüleri, Nimax malzemesinde çukur oluşumu, Toolox 44 malzemesinde ise ısı etkisiyle deformasyon olduğunu göstermiştir. Toolox 44'te daha fazla ilerleme izi gözlemlenmiş ve bu, yüzey pürüzlülüğünü artırmıştır [4].

Alexander vd., çalışmalarında, ilerleme hızı ve burun yarıçapının tornalama işlemi sırasında yüzey bütünlüğü ve yorulma ömrü üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Sonuçlar, yüzey pürüzlülüğünün etkisinden daha fazla olarak, gerilmelerin yorulma ömrü üzerindeki etkisinin daha fazla olduğunu göstermiştir. Çalışmanın amacı, yüzey kalitesi, tornalamada işlem parametreleri ve 34CrNiMo6 malzemesinin yorulma davranışı arasındaki ilişkiyi belirlemektir [5].

Sharman vd., Inconel 718 malzemesinin tornalamasında takım burun yarıçapının kalıntı gerilme dağılımı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Farklı ilerleme hızlarında ve yeni ile aşınmış kesici takım koşullarında 2, 3, 4 ve 6 mm yarıçaplı takımlar kullanılarak yapılan deneylerde, takım burun yarıçapının artmasının, radyal kesme kuvvetlerini artırdığı, mikro yapısal deformasyon derinliğini ve yüzeye yakın çekme gerilmelerini yükselttiği (aşınmış takım 1550 MPa'ya kadar) ve daha derin kalıntı gerilme dağılımına yol açtığı tespit edilmiştir [6].

Binali, R., ve diğerleri çalışmalarında; ön sertleştirilmiş Toolox 44 takım çeliği (44 HRC) kullanılarak işlenebilirlik deneyleri yapmışlardır. Deneylerde, yüzey frezeleme yöntemiyle farklı kesme hızları (150-240 m/dak), ilerleme miktarları (0.4-1.6 mm/diş) ve talaş derinliği (0.2-0.4 mm) verilerek, kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve kesici takımdaki aşınma incelenmiştir. Kuru şartlar altında yapılan deneylerde, kesme hızının

ve ilerleme miktarının artmasıyla yüzey pürüzlülük değerinin arttığı, ilerleme miktarına bağlı olarak da kesme kuvvetlerinin arttığı ve kesme hızının artmasıyla da azaldığı bulunmuştur [7].

Wojciechowski ve Mrozek; çalışmalarında ön sertleştirilmiş Toolox 44 çeliğinin mikro frezeleme işleminin mekanik ve teknolojik yönlerini incelemişlerdir. Deneyler, farklı diş başına ilerleme hızı ve takım eksen eğim açıları ile yapılan mikro frezeleme sırasında titreşim ivmesinin ölçülmesini içermektedir. Ayrıca, frezeleme kuvvetlerinin mekanik model kullanılarak tahmin edilmesi ve mikro frezeleme sürecinin optimizasyonu yapılmıştır. Elde edilen optimal takım eksen eğimi ve ilerleme hızı, işlenmiş yüzey pürüzlülüğü ölçülerek doğrulanmıştır. Sonuçlar, doğru takım eğimi ve ilerleme hızının frezeleme titreşimlerini azaltarak yüzey kalitesini iyileştirdiğini göstermektedir [8].

Kahraman ve arkadaşları; AISI 4140 çeliğinin frezeleme işleminde yüzey pürüzlülüğüne kesme derinliği, ilerleme, kesici uç sayısı ve kesme hızı gibi kesme parametrelerinin etkisini incelenmişlerdir. Taguchi yöntemi kullanılarak optimal kesme parametreleri belirlenmiş ve deneysel denemeler Taguchi L18 dizisiyle tasarlanmıştır. Optimal parametreler olarak kesme derinliği 0,5 mm, 0,08 mm/devir ilerleme, 325 m/dak kesme hızı ve 1 adet takım sayısı belirlenmiştir. Doğrulama testleri, Taguchi yönteminin yüzey pürüzlülüğünü minimuma indirmek için başarılı bir optimizasyon sağladığını göstermektedir [9].

Thiele ve Melkote (1999); yaptıkları sert tornalama işleminde AISI 52100 çeliğini kullanmışlardır. İş parçası sertliğinin ve kesici takım kesme kenarı geometrisinin, kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelenmişlerdir. Sonuçlar, büyük kenar taşlamalarının, küçük kenar taşlamalarına kıyasla daha yüksek yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri oluşturduğunu göstermektedir. Ayrıca, kesme kenarı geometrisi ile iş parçası sertliği arasındaki etkileşimin de yüzey pürüzlülüğü değeri üzerinde etkisi olduğu bulunmuştur [10].

Güllü ve Özdemir; universal freze tezgâhında yüzey pürüzlülüğüne etki eden ilerleme, kesme hızı ve kesme derinliği parametrelerini deneysel olarak incelemişlerdir. İlerleme miktarını dört, kesme hızını beş, kesme derinliğini ise üç farklı değer vererek yüzey pürüzlülüğü (Ra) ölçülmüştür. Bu parametrelere göre, kesme derinliği 0,8 mm olduğunda ilerleme arttıkça yüzey pürüzlülüğünün arttığını,

ancak kesme derinliği 0,6 mm ve yüksek ilerleme miktarında pürüzlülüğün iyileştiğini, kesme derinliği 0,4 mm olduğuunda ise pürüzlülüğün daha da iyileştiğini ve ilerlemelere rağmen kararlı bir pürüzlülük değerini elde edildiğini bulunmuştur [11].

Özel ve Karpát (2005); tornalama işlemlerinde yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınmasını tahmin etmek için sinir ağı modellemesi kullanmışlardır. AISI 52100 ve AISI H-13 çelikleri üzerinde yapılan deneylerden elde edilen veriler, kesme koşullarına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınmasını daha doğru bir şekilde tahmin etmektedir. Ayrıca, regresyon modelleri ile sinir ağı modellerinin karşılaştırılması yapılmış ve sinir ağı modellerinin daha iyi tahminler yaptığı bulunmuştur. Çalışma, ilerleme hızının düşürülmesinin yüzey pürüzlülüğünü iyileştirirken, kesme hızının artırılmasının takım aşınmasını artırıp yüzey pürüzlülüğünü iyileştirdiğini göstermektedir. İş parçası sertliğinin artması ise daha iyi yüzey pürüzlülüğü ama daha yüksek takım aşınması ile sonuçlanmıştır [12].

Özçatalbaş (2000); çalışmasında 4140 çelik malzemesinin uygulanan ısıl işlem ile mekanik özelliklerinin değişmesinden dolayı sert metal kesici uçlar kullanılarak talaş kaldırma işlemi yapmıştır. Dinamometre ile talaş kaldırma esnasında kesme kuvvetleri ölçülmüş ve parçaların yüzey pürüzlülük değerleri incelenmiştir. Malzemenin artan mekanik özellikleri ve yan yüzey aşınma miktarı, ilerleme kuvvetini artırmış, takım aşınmasının yüzey kalitesine olan olumsuz etkisi ise yüksek mekanik özelliklere sahip malzemelerde daha belirgin hale gelmiştir [13].

Kopac ve Bahor; yaptıkları çalışmada, farklı teknolojik geçmişe sahip iş parçalarının hassas tornalama sürecini değerlendirmişlerdir. Bu değerlendirme, genellikle bitmiş veya yarı bitmiş ürünlerin kalite özelliklerini belirlemek için sıkça ölçülen bir parametre olan yüzey pürüzlülüğü üzerinde yoğunlaşmaktadır. İş parçası malzemesinin ve teknolojik geçmişinin yanı sıra işleme parametrelerinin işlenmiş yüzeylerin pürüzlülüğüne olan etkileri incelenmiştir. Hassas tornalama sürecindeki bu etkileşimlerin değerlendirilmesi için istatistiksel deney tasarımı ve analizi kullanılmıştır [14].

Özsés; AISI 4140, AISI 5410 ve St 37 malzemeleri kullanılarak yaptıkları çalışmada, farklı işleme koşullarında CNC tezgâhlarda üretilmiş parçaların yüzey pürüzlülüğündeki değişim miktarı deneysel olarak incelemiştir. Deneyler, CNC torna, dik işleme merkezi ve borverk tezgâhlarında gerçekleştirilmiş, fabrikada üretilen

parçalar numune olarak kullanılmıştır. İşleme parametreleri (takım ilerleme hızı, tabla ilerlemesi, paso derinliği, iş parçası/takım dönme hızı) değiştirilerek ortalama yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri incelenmiştir. Sonuçlar, fener mili dönme hızının artırılmasının yüzey pürüzlülüğünü iyileştirdiğini, ancak takım ve tabla ilerleme hızının artmasının yüzey pürüzlülüğünü kötüleştirdiğini göstermiştir [15].

Çiftçi; çalışmasında CVD kaplamalı sert metal takımlar ile AISI 316 ve AISI 304 paslanmaz çeliklerini kuru şartlar altında tornalamıştır. Kesme hızı, kesici takım kaplaması ve malzeme kalitesinin yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri üzerinde oluşturduğu etkileri incelemiştir. Deneyler sabit ilerleme miktarı ve kesme derinliğinde, dört ayrı kesme hızında gerçekleştirilmiştir. Kesici takımların aşınması SEM ile görüntülenmiştir. Sonuçlar, kesme hızının yüzey pürüzlülüğünü önemli ölçüde etkilediğini, artan hızla pürüzlülüğün azaldığını ancak belirli bir noktadan sonra tekrar arttığını göstermiştir [16].

Kumar ve arkadaşları; çalışmalarında sertleştirilmiş paslanmaz çelik (60 HRC) malzemeyi seramik kesici takım kullanarak işlemişlerdir. Seramik kesici takımın aşınması ve takım ömrünü analiz etmişlerdir. Kesici uçlarda krater aşınması, yan yüzey aşınması ve çentik aşınması gibi aşınma türleri kaydedilmiştir [17].

Lin ve arkadaşları; tornalama işlemindeki yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvvetleri, takım aşınması ve takım ömrünü incelenmek için AISI 4340 ıslah çeliği ve AISI D2 soğuk iş takım çeliğini kullanmışlardır. Düşük talaş derinliklerinde ve ilerleme miktarında iş parçası üzerindeki deformasyon miktarı nedeniyle kesme kuvvetlerinin yüksek olduğu bulunmuştur. Kesme hızının artması yüzey pürüzlülüğünü iyileştirmiştir. İlerleme hızının artışı ise pürüzlülüğünün artmasına neden olmuştur [18].

Bu çalışmada, kesme parametrelerinden ilerleme, kesme hızı ve kesici uç burun radyüsünün, Toolox 44 çeliğinin tornalanmasında yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması üzerindeki etkileri deneysel olarak değerlendirilmiştir. Araştırmanın temel amacı, bu parametrelerin yüzey kalitesi ve takım ömrü üzerindeki etkilerini anlayarak işleme koşullarının optimize edilmesine katkı sağlamaktır. Bu doğrultuda, deneysel veriler ışığında aşağıdaki sorulara yanıt aranmaktadır:

- Yüzey pürüzlülüğüne ve takım aşınmasına kesme hızının etkisi nedir?

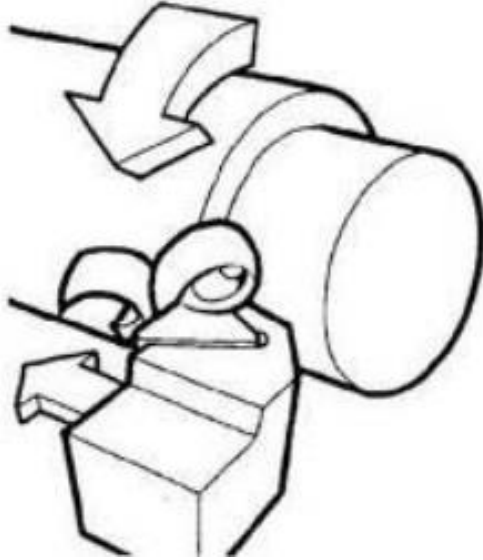
- İlerleme miktarı, yüzey pürüzlülüğünü ve takım aşınmasını nasıl etkilemektedir?
- Kesici uç burun radyüsü, işleme sonuçlarını ne şekilde değiştirmektedir?

Ön sertleştirilmiş Toolox 44'ün yeni nesil bir malzeme olması ve literatürde tornalama prosesi ile ilgili yeterli bilgi bulunmamasından dolayı bu çalışmanın sonuçlarının, Toolox 44 çeliği ve benzeri malzemelerin işlenmesi konusunda sanayiye ve literatüre önemli katkılar sağlaması beklenmektedir.



2. TORNALAMA

Tornalama, tek uçlu bir takım kullanarak silindirik parçaların üretildiği bir talaşlı imalat yöntemidir. Bu işlemde, iş parçası dönerken kesici takım parçanın yüzeyinden talaş kaldırmak için ilerler. Kesme hareketi, iş parçasının dönmesi ve kesici takımın ilerleme hareketinin birleşimiyle gerçekleşir **Şekil 2.1**. Tornalama, genel olarak daha karmaşık açıklamalara ihtiyaç duymayan, en yaygın kullanılan talaşlı imalat yöntemlerinden biridir. Ancak, çeşitli uygulamalarda bu yöntemin etkinliğini artırmak için birçok faktörün hassas bir şekilde belirlenmesi ve optimizasyon yapılması gerekmektedir. Tornalama, sürekli gelişim gösteren ve hassasiyet gerektiren bir imalat teknolojisidir [19].



Şekil 2.1: Tornalama İşleminin Gösterimi [19].

Tornalama işlemleri, genellikle tek kesici kenarın talaş kaldırma sürecine dâhil olduğu bir yöntem olmakla birlikte, iş parçasının malzemesi, şekli, işlem türü, işleme koşulları ve maliyet gibi etkenlere bağlı olarak farklılık gösterebilir. Tornalama, farklı boyutlara ve malzeme kalitesine sahip dairesel simetrideki iş parçalarının işlenmesinde yaygın olarak kullanılır. Bu işlem, daha kaliteli bir performans elde edebilmek için özel olarak tasarlanmış takımların kullanılmasını gerektiren çeşitli işlem tiplerini içermektedir. Tornalama işlemlerini daha anlaşılır hale getirmek için, farklı uygulamaları belirli kategorilerde gruplamak mümkündür.

- İç çap tornalama
- Boyuna tornalama
- Kesme veya kanal açma
- Alın tornalama
- Yuvarlak profil işleme
- Dış açma vb.

Tornalamada kesici takımın ilerleme hareketi, iş parçasının eksenine paralel gerçekleşir ve bu parçanın çapını küçültmek anlamına gelir. Alternatif olarak, kesici takım iş parçasının ucuna doğru ilerleyebilir ve bu işlem alın tornalama olarak adlandırılır. Genellikle, her iki hareketin kombinasyonu kullanılarak konik yüzeyler ve formlu yüzeyler elde edilir. Günümüzde torna tezgâhlarının kontrol sistemleri, düz ya da formlu yüzeylerin işlenmesinde karşılaşılabilecek çeşitli senaryoları gerçekleştirebilecek yeterlilikte tasarlanmıştır. Sayısal kontrol (NC) sayesinde kesici kenarların etkin bir şekilde yönetilmesi sağlanır. Bu durum, CNC tezgâhlarının geleneksel kopyalama tezgâhları ve formlu takımların kullanımının yerini almasını mümkün kılar.

Talaşlı imalatla elde edilen iş parçalarının geometrik özelliklerinden biri olan yüzey pürüzlülüğü önemli bir parametredir. Kesme hızı, talaş derinliği, ilerleme miktarı ve kesici uç yarıçapı gibi faktörler doğrudan yüzey pürüzlülüğüne etki eder. Yüzey pürüzlülük değeri talaş derinliği ve ilerleme arttıkça artar. Kesici uç yarıçapının artması ile yüzey kalitesinde iyileşme olur [20]. Bu parametrelerin her birinin imalat sürecine pozitif ya da negatif etkileri bulunabilir. Bu nedenle, bu parametrelerin doğru bir şekilde kombinasyonu, verimli bir imalat süreci ve istenilen yüzey pürüzlülük değerinin elde edilmesini sağlar.

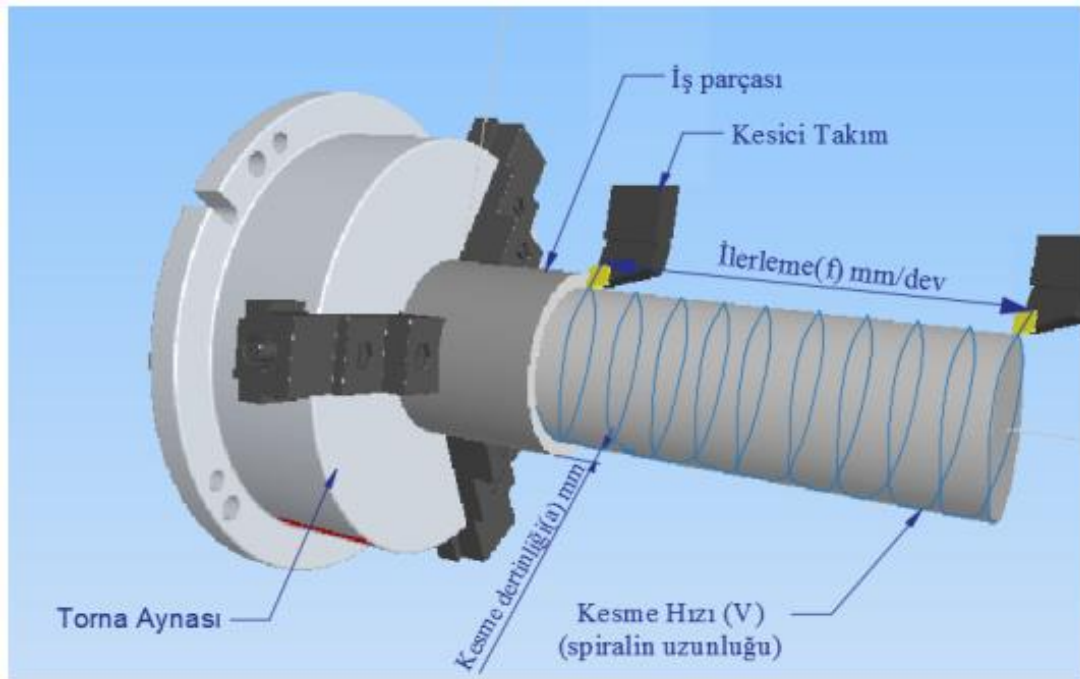
2.1. Kesme Parametreleri

Talaşlı şekillendirme sırasında kullanılan işleme yöntemi, işleme şartları, kesici takım türü ve iş parçası ile kesici takım arasındaki mekanik etkileşimlere bağlı olarak işlenen yüzeylerde sıklıkla istenmeyen işleme izlerinin oluşmasına sebep olabilir [21].

Farklı parçaların birleşimiyle oluşan ürünlerin kalitesini artırmak, yüksek hassasiyetle işlenmiş yüzeylerin elde edilmesini gerektirir. İşleme esnasında kesici takımlardaki titreşimler, hatalar ve kesici kenarındaki malzeme birikintileri gibi negatif etkiler

minimum değere indirilmeye çalışılarak, kullanılan kesici takımın tipine ve geometrisine aynı zamanda da ilerleme hızına bağlı olarak en iyi yüzey bitirme kalitesine ulaşılma hedeflenir. Talaş kaldırma işlemlerinde etkili olan başlıca parametreler, talaş derinliği, kesici takımın ilerleme hızı ve kesme (dönme) hızıdır.

Şekil 2.2. Torna tezgâhında işlenen parçalardan verimli sonuçlar alınmasında kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği gibi parametreler etkilidir. İlerleme miktarı ve devir sayısı uygun değerlerde seçilmediği takdirde tornalamada hem zaman kaybı meydana gelebilir hem de işleme maliyetleri artabilir. Ayrıca, yüzey kalitesi olumsuz etkilenebilir. Bu nedenle, iş parçasının devir sayısının doğru bir şekilde hesaplanması büyük önem taşır. Kaba işleme ve bitirme işlemleri için uygun ilerleme miktarının belirlenmesi hem verimliliği artırır hem de istenen yüzey kalitesine ulaşılmasını sağlar. Bunun yanı sıra, işleme süresinin hesaplanması da üretim planlamasının önemli bir parçasıdır. Aşağıda, bu kavramlara ilişkin temel bilgiler sunulmuştur.



Şekil 2.2: Kesme Parametrelerinin İş Parçası Üzerinde Gösterimi [22].

2.1.1 Kesme Hızı

İş parçası torna tezgâhında ana mil hızı (n) ile döner. Bunun sonucunda iş parçası çapı üzerinde bir kesme hızı (V_c) oluşmasına neden olur. Kesme hızı, kesici takımın iş parçası yüzeyiyle temas ettiği noktadaki çevresel hızdır. Başka bir ifadeyle, kesme

hızı, talaş kaldırılan çap üzerinde kesici kenardan geçen iş parçası çevresinin hızını ifade eder **Şekil 2.3**.

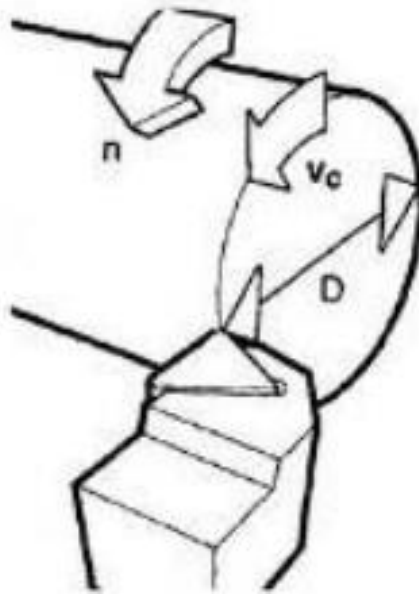
Gerçek kesme hızını hesaplamak için iş parçasının işlenen çaptaki çevresi ($\pi \times D$) ile ana mil hızı (n) çarpılmalıdır. Bu hesaplama şu şekilde ifade edilir:

$$V_c = \frac{\pi \times D \times n}{1000} \text{ (m/dak)} \quad (2.1)$$

Burada:

- V_c : Kesme hızı (m/dak)
- D : İşlenen çap (mm)
- n : Ana mil hızı (dev/dak)

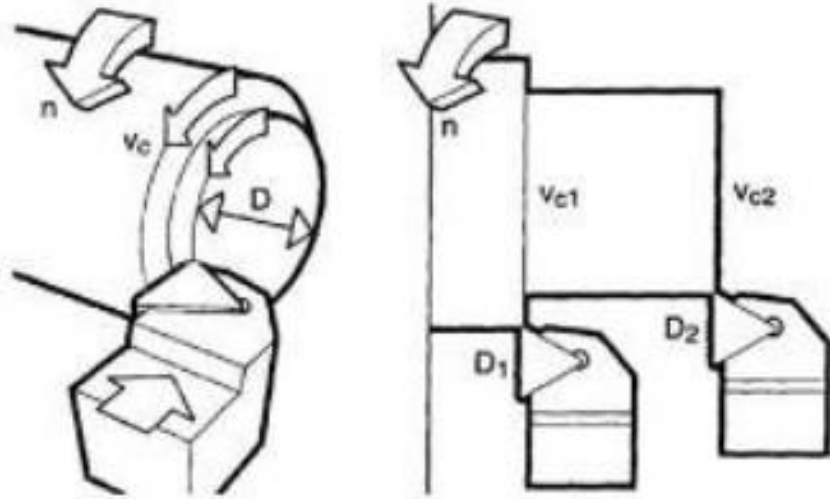
Ana mil hızı (n) ile kesme hızı (V_c) arasında doğrusal bir ilişki bulunmaktadır. İşleme verimliliğini artırmak ve kesici takımın ömrünü uzatmak için bu parametrelerin doğru bir şekilde belirlenmesi önemlidir.



Şekil 2.3: Kesme Hızının İfadesi [19].

Kesme hızı (V_c), yalnızca işlenen çap (D) ve ana mil hızı (n) değişmediği sürece aynı kalır. Ancak, sabit bir kesme hızında işlenen çap küçüldükçe ana mil hızı (n) artar. Bu durum, özellikle takımın iş parçası merkezine doğru ilerlediği alın tornalama işlemlerinde önemli bir rol oynar. Eğer iş parçası sabit bir ana mil hızıyla (n) dönerse,

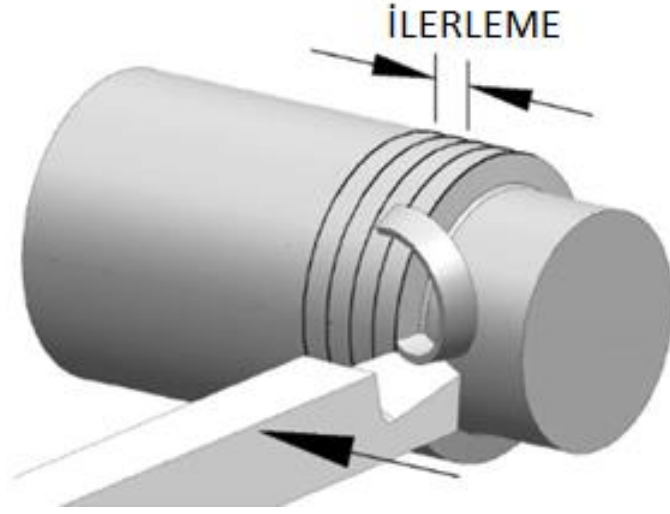
alın tornalama sırasında işlenen çap küçüldükçe kesme hızı (V_c) de değişecektir. Bunun nedeni, kesme hızının işlenen çaptaki çevre uzunluğu ile doğru orantılı olmasıdır **Şekil 2.4**.



Şekil 2.4: Kesme Hızının Farklı Çaplardaki Değişiminin Gösterilmesi [19].

2.1.2 İlerleme

İlerleme, kesici takımın bir dakikada iş parçası üzerinde aldığı mesafedir (V_f - m/dak). Bu değer, işleme hızını ve takımın hareketini doğrudan etkiler. Devir başına ilerleme ise; kesici takımın iş parçasının bir tam dönüşü sırasında gerçekleştirdiği ilerleme miktarıdır (f - mm/dev). Bu değer, takımın bir devrindeki talaş kaldırma miktarını tanımlar. **Şekil 2.5**'de ilerleme hızı gösterilmiştir. Bu iki parametre, tornalama sürecinde talaş oluşumu ve işlenen yüzey kalitesinin temel belirleyicileridir. Devir başına ilerleme (f), özellikle talaş kalınlığı ve talaş kırma sürecini etkileyerek işleme verimliliği ve takım performansı üzerinde önemli bir rol oynar. Ayrıca, işlenen yüzeyin pürüzlülüğünü ve genel kalitesini etkileyen önemli bir değerdir.

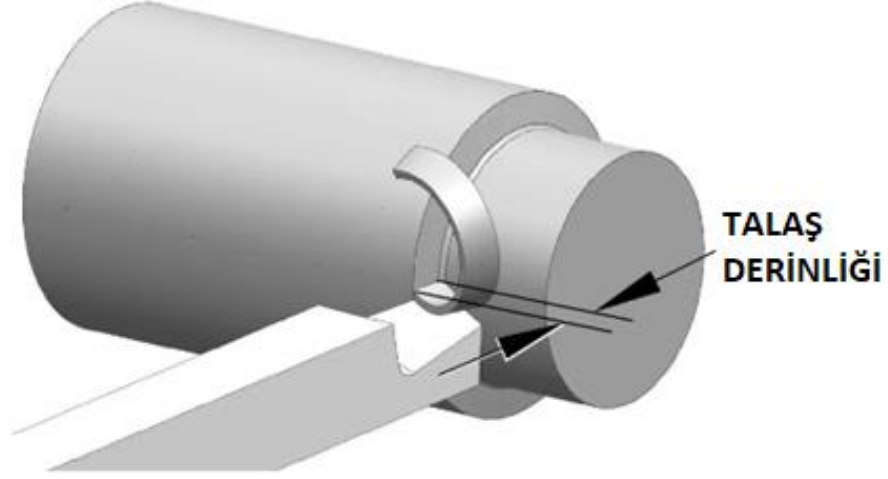


Şekil 2.5: İlerleme Hızının Gösterilmesi [23].

2.1.3 Talaş Derinliği

CNC tornalamada, talaş derinliği kesici takımın bir pasoda iş parçasının yüzeyinden ne kadar derinlikte malzeme kaldırılacağını tanımlayan ve işleme sürecinin verimliliği ile takım dayanıklılığı üzerinde önemli etkiye sahip olan bir parametredir **Şekil 2.6**. Çok küçük bir değerde verilen talaş derinliği, işleme süresinin uzamasına ve enerji verimliliğinin azalmasına yol açabilir. Öte yandan, kesme derinliğinin gereğinden fazla verilmesi, takım üzerinde aşırı gerilim oluşturabilir ve takımın aşınması ya da kırılması riskini artırabilir.

Uygun talaş derinliği kesme hızı, ilerleme miktarı, işlenen malzemenin özellikleri, kullanılan kesici takımın malzemesi ve geometrisi gibi faktörlere bağlı olarak belirlenir [23]. Doğru seçilen talaş derinliği hem işleme verimliliğini artırır hem de işlenen yüzey kalitesini yükseltir ve takım ömrünü uzatır.



Şekil 2.6: Talaş Derinliğinin Gösterilmesi [24].

2.2. Kesici Takımın Geometrisi

Talaş kaldırma operasyonlarının temel elemanı kesici takımlardır. Takım geometrisini belirleyen parametreler, talaş oluşumu ve işleme süreci üzerinde kritik bir etkiye sahiptir. Bu parametreler talaş açısı, kesici uç yarıçapı, kesici uç açısı ve kesici uç eğimi olarak tanımlanabilir.

Bu çalışmada kesici uç yarıçapının aşınma ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi inceleneceği için bu konuda bilgi verilmiştir.

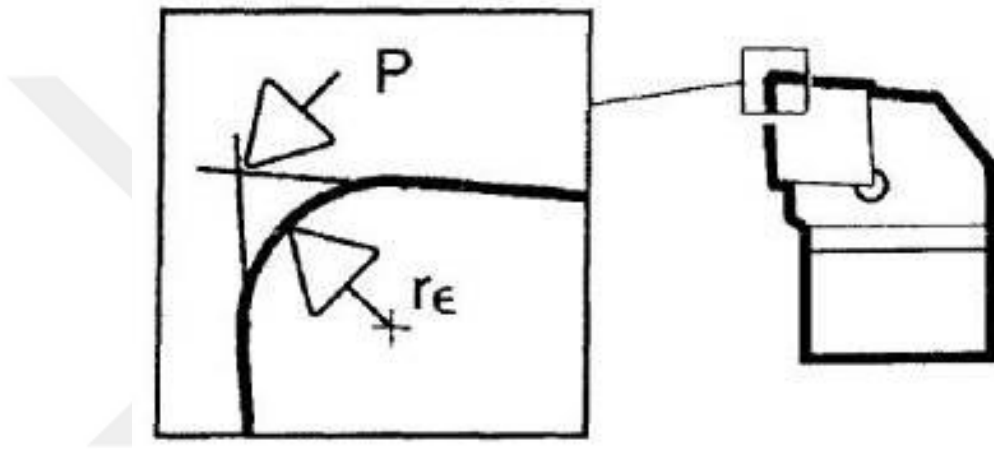
2.2.1. Kesici Uç Yarıçapı

Kesici uç yarıçapı, kesici takım geometrisinin bir parametresi olup, tornalama işlemi üzerindeki etkileri uzun yıllardır araştırılmaktadır. Kesici uç yarıçapının büyüklüğü, tornalama sırasında hem avantaj hem de dezavantajlar sunan bir faktördür. Büyük uç yarıçapları, kesme işlemi sırasında daha geniş bir temas yüzeyi sağlayarak işlenen yüzeyin pürüzlülüğünü azaltır ve yüzey kalitesini iyileştirir. Ancak, geniş temas alanı nedeniyle kesme sırasında takım üzerindeki yük artar, bu da takım aşınmasının hızlanmasına ve işleme sırasında harcanan enerjinin artmasına neden olur [24].

Kesici takım geometrisinde, köşe yarıçapı (r_e), teorik olarak bir P noktasında birleşen iki kesici kenar boyunca teğet olarak tanımlanır **Şekil 2.7**. Köşe yarıçapının varlığı, kesici ucun keskinliğini azaltarak mukavemetin artmasını sağlar. Bu durum, kesici

ucun mekanik dayanıklılığını artırırken, çatlama ve deformasyona karşı direncini de güçlendirmektedir.

Daha büyük bir köşe yarıçapı, işlem sırasında kesici uç üzerindeki temas yüzey alanını artırarak, uygulanan kesme kuvvetlerinin daha geniş bir alana yayılmasına olanak tanır. Bunun sonucu olarak, işleme esnasında takım ömrü uzar ve kesme işlemi daha kararlı bir şekilde gerçekleştirilir. Ayrıca, büyük köşe yarıçapı, sıcaklığın sistemden uzaklaştırılmasını kolaylaştırır. Bu durum, ısıl gerilmelerden kaynaklanan yapısal hasarları önemli ölçüde azaltır ve takım performansını artırır [22].



Şekil 2.7: Kesici Uç Yarıçapı Gösterilmesi [19].

Kaba tornalama işlemlerinde verimlilik üzerinde doğrudan etkili olan en önemli parametrelerden biri talaş derinliğidir. Tornalama sırasında, büyük talaş derinliği verilmesi takım ömrü üzerinde olumsuz etkiler oluşturabilecek potansiyele sahiptir. Bu durumda, performans kayıplarını önlemek amacıyla daha büyük bir uç boyutunun tercih edilmesi bir çözüm olsa da, alternatif olarak da daha büyük bir köşe yarıçapına (r_e) sahip uç seçilebilir [22].

İş parçasının yüzey kalitesi, kesici takımın uç yarıçapı (r_e) değerinden doğrudan etkilenmektedir. Yüzey pürüzlülüğü, kesici uç yarıçapı ve ilerlemenin bir fonksiyonu olarak değerlendirilir. Bununla birlikte, kesici kenardaki aşınma ve kesme hızı gibi faktörler de yüzey kalitesine önemli ölçüde etki etmektedir.

Büyük köşe yarıçaplarının hem kaba hem de ince tornalama işlemlerinde çeşitli avantajlar sunduğu bilinmektedir. Birim kesici kenar uzunluğu başına daha düşük mekanik basınç, daha düşük ısı oluşumu ve belirli bir ilerleme hızı değerinde daha iyi

Diagram illustrating a three-stage cascode current mirror. The diagram shows three cascode stages. The first stage has a PMOS cascode and an NMOS cascode. The second stage has a PMOS cascode. The third stage has a PMOS cascode and an NMOS cascode. The output is taken from the NMOS cascode of the third stage. The diagram is labeled with R_t , f , and r_e .

$$R_t = \frac{f^2}{8 \times r_e}$$

Kesici uç yarıçapının (r_e) küçülmesi, kesici ucun iş parçasına nüfuz etme oranını artırırken, kesme kuvvetinin, tezgâh gücünün ve kesici ucun mukavemetinin azalmasına yol açar. Talaş derinliğinin ve köşe yarıçapı değerlerinin küçük olması, talaş kaldırma işlemi sırasında küçük bir yanaşma açısının oluşturduğu etkilere benzerdir. Buna karşın talaş derinliğinin ve köşe yarıçapının daha yüksek değerlerde olması, talaş kaldırma sırasında büyük bir yanaşma açısına eşdeğer etkiler yaratarak talaşın iş parçasından daha küçük bir açıyla uzaklaşmasını sağlar [22].

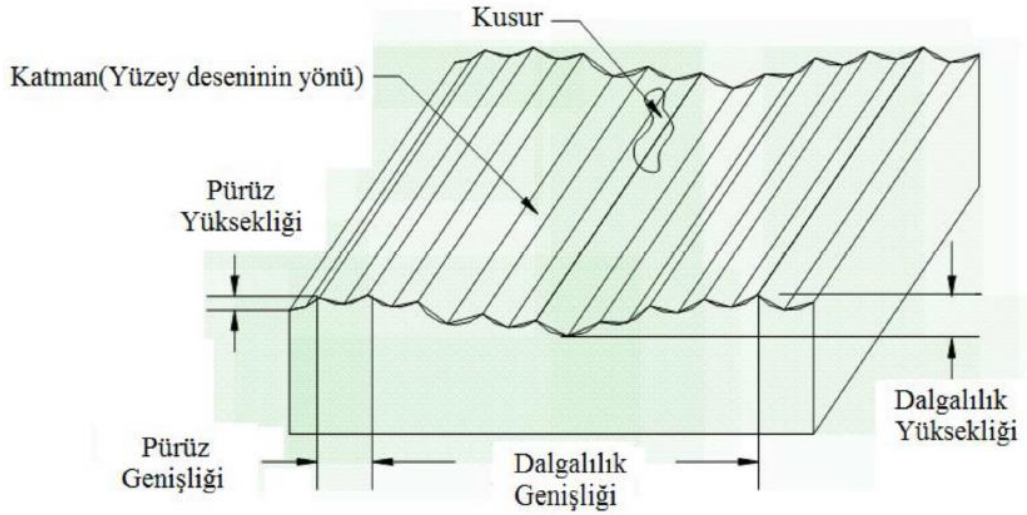
Tırlama riskinin bulunduğu durumlarda, uç radyüsünün seçimi titizlikle yapılmalıdır. Bu durum, özellikle kesme geometrisinin, yanaşma açısının ve köşe yarıçapının seçimlerinin kritik önem taşıdığı delik işleme uygulamalarında daha da büyük bir önem kazanmaktadır. Uygun parametrelerin belirlenmesi, işlem verimliliğini artırmanın yanı sıra işleme sırasında oluşabilecek titreşim kaynaklı olumsuzlukları da en aza indirecektir [22].

3. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ

Kesici uç ile malzeme arasındaki mekanik etkileşimlerin etkisiyle talaş kaldırılmış yüzeylerde genellikle istenmeyen izler oluşmaktadır **Şekil 3.1**. Kimyasal, fiziksel ve ısı etkenlerde bu oluşuma sebebiyet verir. Bu izler, teorik yüzey çizgisinin altında ve üzerinde meydana gelen düzensiz sapmalara yol açar. Bu tür düzensizlikler, yüzey pürüzlülüğü olarak ifade edilir ve yüzey kalitesini doğrudan etkileyen önemli bir parametredir [25].

Malzemelerin işlenmesi sırasında kullanılan tüm işlem parametreleri, yüzey hassasiyeti üzerinde doğrudan etkili olmaktadır. Bu bağlamda, yüzey pürüzlülüğü, yüzey kalitesini belirleyen temel parametrelerden biri olarak öne çıkmaktadır. Kesme hızı, ilerleme, talaş derinliği, devir sayısı, çalışma koşulları (soğutma sıvısı veya kuru) ve tezgâh rijitliliği gibi faktörler ise yüzey kalitesini etkileyen başlıca parametreler arasında bulunmaktadır. Yüzey pürüzlülüğü, yalnızca tribolojinin sürtünme, aşınma ve yağlama gibi geleneksel konuları ile sınırlı kalmayıp; aynı zamanda sızdırmazlık, hidrodinamik performans, elektriksel iletkenlik ve ısı transferi gibi çeşitli uygulama alanlarında da kritik bir rol oynamaktadır. Bu nedenle, makine elemanları ve iş parçalarının yüzey pürüzlülük değerlerinin kontrol altına alınması büyük bir önem taşımaktadır [15].

Talaşlı üretim yöntemleriyle işlenen malzemelerin yüzeylerinde, uygulanan kesme koşulları ve kesme parametrelerinin etkisiyle pürüzlülük ve dalgalanma oluşmaktadır. Bu dalgalanma yüzeyin geometrik şeklini temsil ederken, yüzey kalitesinin değerlendirilmesinde pürüzlülük ise temel bir kriter olarak kabul edilmektedir [26][27].



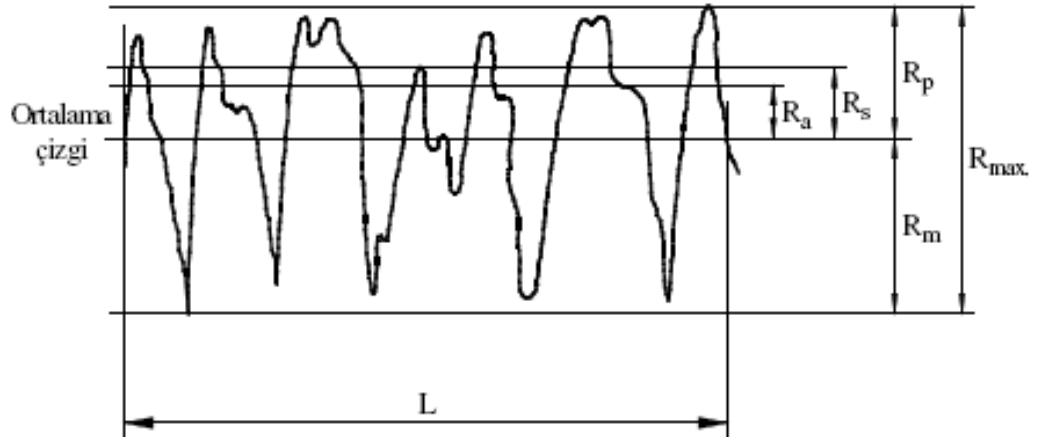
Şekil 3.1: Malzeme Yüzeyinde Pürüzlülük ve Dalgalanmanın Gösterilmesi [23].

Malzeme yüzeyindeki pürüzlülük değeri, talaş kaldırma yöntemine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Örneğin, hassas tornalanmış bir parçanın yüzey kalitesi, kaba tornalanmış bir parçanın yüzey kalitesinden önemli ölçüde farklılık gösterir. İş parçalarının yüzey kalitesini artırmak amacıyla taşlama veya parlatma gibi son işlem yöntemleri uygulanmaktadır. Yüzey kalitesi, genellikle iş parçasının tasarım aşamasında belirlenmekte ve bu doğrultuda uygun son işlem türü seçilmektedir. Düşük yüzey pürüzlülük değeri, endüstride üretilen pek çok üründe aranan önemli bir özellik olarak öne çıkmaktadır. Bu nedenle, yüzey kalitesinin iyileştirilmesi hem ürün performansını hem de müşteri memnuniyetini artırmada kritik bir rol oynamaktadır.

3.1. Yüzey Pürüzlülüğü Parametreleri

Çoğu ülkeler, yüzey pürüzlülüğünü ölçmek için M yöntemini benimsemektedir. Bu ülkeler arasında, bazıları ortalama yüzey pürüzlülüğünü (R_a), kullanırken, bazıları ise en büyük yüzey pürüzlülüğünü (R_{max}) ölçüm kriteri olarak kullanmaktadır **Şekil 3.2.**

Yüzey pürüzlülük değeri, pürüzlülüğe bağlı olarak değişen ve "değerlendirme uzunluğu" olarak adlandırılan standart bir aralıkta ölçülmektedir [28][29].



Şekil 3.2: Yüzey Kalitesi İçin Sayısal Değerler [30].

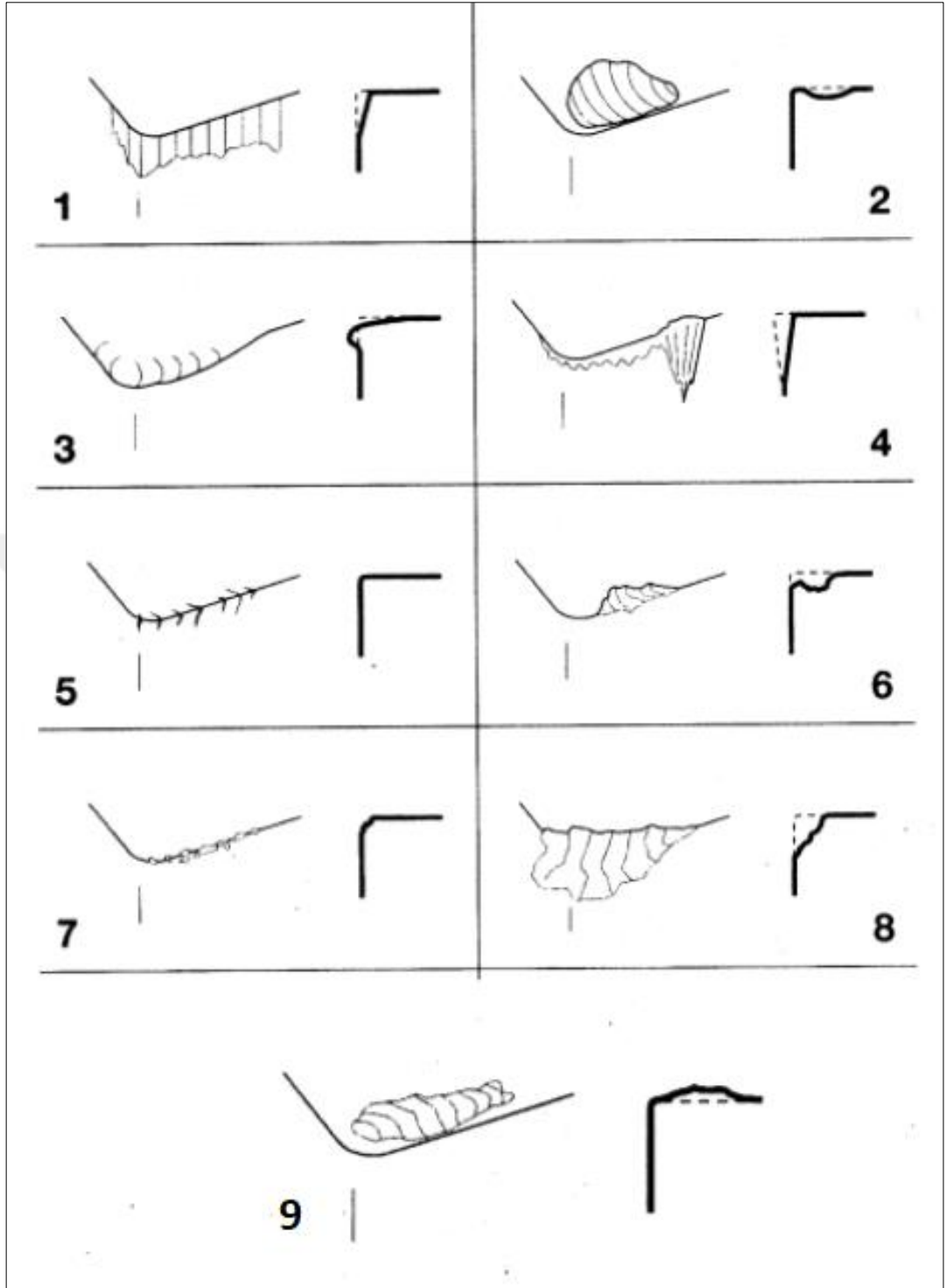
4. TAKIM AŞINMASI

İşleme sırasında, tüm kesici takımlar aşınma sürecine girer ve kesici takım ömrünü tamamlayıncaya kadar sürer. Takımdaki aşınma kaçınılmaz bir olgudur; ancak ne zaman, hangi miktarda ve hangi türde aşınma gerçekleşeceğinin bilinmesi, aşınmanın olumsuz etkilerini minimize edebilir.

Kısa bir zaman diliminde kesici kenarın büyük hacimde talaş kaldırması, işlem verimliliğini artırmak açısından olumlu bir durumdur. Bununla birlikte, takımın beklenenden önce ömrünü tamamlaması veya kırılması, işlem sürecinde istenmeyen olumsuzluklara yol açmaktadır. Bu nedenle, takım aşınma sürecinin iyi bir şekilde izlenmesi, işleme verimliliği ve takım ömrünün değerlendirilmesi açısından kritik öneme sahiptir.

4.1. Aşınma Tipleri

Başlıca aşınma türleri **Şekil 4.1**'de görsel olarak verilmiştir.



Şekil 4.1: Aşınma Tiplerinin Sınıflandırılması [19].

1. Serbest Yüzey Aşınması: Kesicinin serbest yüzeyinde gerçekleşen ve genellikle abrasiv (sürtünmeli) aşınma mekanizmaları nedeniyle meydana gelen aşındırma. Talaş kaldırma sırasında, kesici kenarın ana ve yardımcı kesici kenarları ile iş parçasının teması sonucu aşınma gerçekleşir. Bu tür aşınma, yüzey kalitesini olumsuz

etkileyebilir ve hassasiyeti düşürebilir. Bunun kontrol altında tutulması, aşınmanın ilerlemesinin sınırlı kalması açısından önemlidir. Serbest yüzey aşınması belirli bir değerin üzerine çıktığında, yüzey kalitesinde bozulmalar meydana gelir. Bu da, iş parçasının hassasiyetinin azalmasına, sürtünme katsayısının artmasına ve dolayısıyla işleme verimliliğinin olumsuz etkilenmesine yol açar. Bu sebeple, serbest yüzey aşınmasının izlenmesi ve uygun sınırlar içinde tutulması, işlem kalitesinin korunması açısından kritik öneme sahiptir [31].

2. Krater Aşınması: Kesici takımın kesme yüzeyinde, özellikle takımın kesici kenarının uç kısmında oluşan bir aşınma türüdür. Bu aşınma, kesme işlemi sırasında yüksek sıcaklıkların etkisiyle malzemenin yüzeyinden eriyen küçük metal parçacıklarının kesici takımın yüzeyine çarpması ve birikmesi sonucu meydana gelir. Genellikle, kesici takımın arka yüzeyinde bir çukur veya "krater" şeklinde izler bırakır. Krater aşınması, özellikle yüksek kesme hızlarında ve sert malzemelerle yapılan işlemlerde daha belirgin hale gelir. Bu tür aşınma, takım ömrünü kısaltabilir ve kesme kalitesini olumsuz etkileyebilir [31][32].

3. Plastik Deformasyon: Yüksek sıcaklıklar ve basınçlar, kesici takımın kesici kenarında plastik deformasyona yol açabilir. Bu durum, kesme hızının yüksek olması, ilerleme oranlarının büyük olması ve sert iş parçası malzemelerinin kullanılması gibi koşullarda ortaya çıkar. Kesici kenarın bu tür deformasyona uğramaması için takımın kızıl sertliğinin yüksek olması gereklidir. Aksi halde, bu deformasyon takımın sıcaklık oluşumunu artırarak, geometrik değişimlere ve talaş akışının bozulmasına neden olabilir. Uygun kesici uç geometrisi ve kesici kenarın yuvarlatılması bu tür aşınmanın önlenmesinde önemlidir [31].

4. Yardımcı Kenarda Çentik Oluşumu: Genel olarak oksidasyon aşınması ve adezyon aşınmasının birleşiminden kaynaklanan bir aşınma türüdür. Çentikler, kesici kenar ile iş parçası arasında ayrılma noktalarında oluşur. Aşınma kesme işleminin sonunda, kesme bölgesiyle havanın temas ettiği bölgede oluşur. Çentik aşınmasının belirli bir eşik değerin üzerinde olması, hassas işleme süreçlerinde yüzey kalitesini olumsuz yönde etkileyebilir ve kesici kenarın dayanıklılığını azaltabilir [31].

5. Isıl Çatlaklar: Çoğunlukla ısı oluşumunun sürekliliği nedeniyle meydana gelen bu çatlaklar bir yorulma aşınmasıdır. Frezeleme gibi sıcaklık değişimlerinin fazla olduğu talaşlı imalat işlemlerinde sıkça görülür. Bu çatlaklar, kesici kenara dik bir şekilde

meydana gelir ve malzeme kenardan dış tarafa doğru zorlanır. Bu zorlanma sebebiyle kesici uç kullanılamaz hale gelir ve takım malzemesinde ani kırılmalar meydana gelir. Kesme sırasında değişen talaş derinliği de sıcaklık oluşumuna etki ederler [31][32].

6. Mekanik Yorulma Çatlakları: Kesme kuvvetlerindeki ani değişimler sebebiyle mekanik çatlaklar oluşur. Kesme kuvvetindeki sürekli değişiklikler, kesici kenarın dayanma limitini aşarak çatlakların oluşmasına neden olabilir. Bu çatlaklar, genellikle kesici kenara paralel şekilde gelişir [31].

7. Kesici Kenardan Parçacık Kopması (Dökülme): Kesici kenarın kırılması sebebiyle meydana gelen bir aşınma türüdür. Yüksek yük değişimleri veya darbelere bağlı olarak, takım yüzeyinden kopmalar gerçekleşebilir. Özellikle darbelere dayalı kesme işlemleri bu tür aşınmanın başlıca nedenlerindendir. Kenar üzerindeki detaylı bir inceleme aşınmanın kenardan parçacık kopması mı, serbest yüzey aşınması mı olduğunu belirleyecektir [31][32].

8. Kesici Kenarın Kırılması: Bu aşınma türü kesici takımın ömrünü tamamlaması sebebiyle oluşur. Geometrik değişiklikler, sıcaklık artışı ve kuvvet değişimleri gibi etmenler kesici kenarın kırılmasına neden olabilir. Yüksek kesme hızları ve yoğun talaş kaldırma şartlarında, kesici kenar üzerinde meydana gelen gerilme türleri, kesici ucun dayanım sınırını aştığında, kırılma meydana gelmesine yol açar [31].

9. Yığma Kenar Oluşumu: Yüksek ısı, basınç ve sürtünme gibi nedenlerle talaşların kesici takıma yapışmasıdır. Yığma kenar, detaylı inceleme gerekmeden görülebilen ve belki de tespiti en kolay takım aşınması türüdür. Yığma kenar, işlenen malzemenin kesici takıma basınçla kaynaklandığı durumları tarif eden terimdir. Takım incelenirken yığma kenar oluşumunun en belirgin kanıtı, takımın talaş yüzeyinde ya da yan yüzünde malzeme bulunmasıdır.

Bu durum, işleme uygulamalarında kısa takım ömrü, düşük yüzey kalitesi, boyut farklılıkları ve benzeri kalite sorunları gibi birçok soruna neden olabilir. Bu sorunların başlıca nedeni, kesme kenarının merkez hattı mesafesi ve takım geometrisinin, talaş ya da yan yüze kaynaklanan malzeme yüzünden değişime uğramasıdır. Yığma kenar oluşumu arttıkça, başka tür arızalara ve hatta büyük sorunlara neden olabilir [31][32].

Bu aşınmaların hepsi aşınma olmayıp, kesici ucun tamamen kırılmasıdır.

5. TOOLOX 44 ÇELİĞİ VE İŞLENEBİLİRLİĞİ

5.1. Toolox 44 Malzeme Özellikleri

Toolox 44, sertleştirilmiş ve temperlenmiş bir çelik alaşımı olup, yüksek tokluğa, üstün ölçü kararlılığına sahiptir ve iç gerilimlerin minimize edilmesi amacıyla gerilim giderme işlemi uygulanmış şekilde tedarik edilmektedir. 45 HRc sertliğe sahip olmasına rağmen, yüksek işlenebilirlik özellikleri ile dikkat çeker.

Toolox 44, yüksek sıcaklıklarda koruduğu yüksek mekanik mukavemet ve termal kararlılık özellikleri sayesinde, özellikle plastik enjeksiyon ve kauçuk, metal enjeksiyon, kesme ve form verme kalıpları, makine elemanlar gibi zorlu uygulamalarda tercih edilen bir mühendislik malzemesidir. Ayrıca, aşınma plakaları, kızak sistemleri ve yüksek sıcaklığa maruz kalan makine elemanlarında kullanılmaya uygun bir yapıdadır.

Toolox 44'ün yüzey mühendisliği uygulamaları, örneğin kaplama ve sertleştirme işlemleri ile kombine edilmesi, malzemenin servis ömrünü önemli ölçüde artırabilmektedir [3]. Bu özellikleri, onu yüksek performans ve dayanıklılık gerektiren endüstriyel uygulamalarda ideal bir seçim haline getirmektedir. **Tablo 5.1**'de Toolox 44 malzemesinin kimyasal özellikleri verilmiştir. **Tablo 5.2**'de Toolox 44 malzemesinin mekanik özellikleri verilmiştir. **Tablo 5.3**'de Toolox 44 malzemesinin fiziksel özellikleri verilmiştir.

Tablo 5.1: Toolox 44 Kimyasal Özellikleri (% ağırlık) [3].

C	Si	Mn	P	S
0,32	0,6-1,1	0,8	max 0,01	max 0,003
Cr	Mo	V	Ni	Cr
1,35	0,80	0,14	max 1	1,35

Tablo 5.2: Toolox 44 Malzemesinin Mekanik Özellikleri [3].

Sıcaklık (°C)	+20°C	+200°C	+300°C	+400°C	+400°C
Çekme Dayanımı (MPa)	1450	1380			
Akma Dayanımı (MPa)	1300	1200			
Uzama (%)	13	10			
Darbe Tokluğu (J)	30	60	80	80	
Sertlik (HRc)	45				

Tablo 5.3: Toolox 44 Malzeme Fiziksel Özellikleri [3].

Sıcaklık (°C)	+20°C	+200°C	+400°C	+600°C
Isıl İletkenlik (W/m.K)	28	29	29	21
Termal Genleşme Katsayısı (10 ⁻⁶ /K)	13.5	13.5	13.5	

5.2. Toolox 44 Uygulama Alanları

Toolox 44 malzemesi pek çok operasyonda pek çok farklı işlem için kullanılmaktadır. Bunlardan başlıcaları aşağıda belirtilmiştir [3].

- Tutma Çeneleri
- Mengene Ayakları
- Alüminyum Kesme Bıçakları
- Vinç Tekerleği
- Kesme ve Delme Zımbası (Nitrasyon işlemi ile yüzey sertleştirme yapılarak)
- Çekme Test Makinesi Hidrolik Silindiri
- Sac Kesme ve Şekil Verme Kalıpları
- Kasnak Haddeme Milleri
- Dişli Çark
- Aşınma Plakaları (Nitrasyon işlemi ile yüzey sertleştirme yapılarak)

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Ön sertleştirilmiş Toolox 44 takım çeliğinin tornalama operasyonlarında, kesme hızının, ilerlemenin ve kesici uç burun radyüsünün işleme performansı üzerindeki etkilerini değerlendirmek amacıyla kapsamlı bir deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, özellikle bu parametrelerin ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) ve kesici takım aşınması üzerindeki etkileri detaylı bir şekilde incelenmiştir.

Deneyler, talaş kaldırma sürecinde işleme parametrelerinin, yüzey kalitesi ve takım ömrü üzerindeki etkilerinin anlaşılmasına katkı sağlamak amacıyla tasarlanmıştır. Bu kapsamda, farklı kesme hızları, ilerleme değerleri ve kesici uç geometrileri ile elde edilen sonuçlar analiz edilmiş, uygun işleme koşulları ve aşınma mekanizmaları arasındaki ilişkiler ortaya konulmuştur.

6.1. CNC Torna Tezgâhı

Tornalama deneyleri CNC torna tezgâhında (DOOSAN marka LYNX2100) yapılmıştır. Bu tezgâhın teknik özellikleri **Ek A**'da verilmiştir. **Şekil 6.1**'de tezgâhın görseli bulunmaktadır.



Şekil 6.1: DOOSAN LYNX2100 CNC Torna Tezgâhı.

6.2. İş Parçası Malzemesi

Toolox 44, yüksek tokluk ve aşınma direnci özelliklerine sahip, ön sertleştirilmiş bir takım çeliği olarak tornalama işlemi için tercih edilmiştir. Malzeme sertlik aralığı 41 HRc ile 47 HRc arasında olup, bu özellikleri sayesinde zorlu işleme koşullarında üstün performans sağlamaktadır. Deney numuneleri, Toolox 44'ün Ø50x100 mm ölçülerinde kesilmesiyle elde edilmiş ve toplamda 27 adet deney numunesi hazırlanmıştır. CNC torna tezgâhında işlenen numunelerin son halleri **Şekil 6.2'**de sunulmuştur.



Şekil 6.2: Toolox 44 Deney Numunesi.

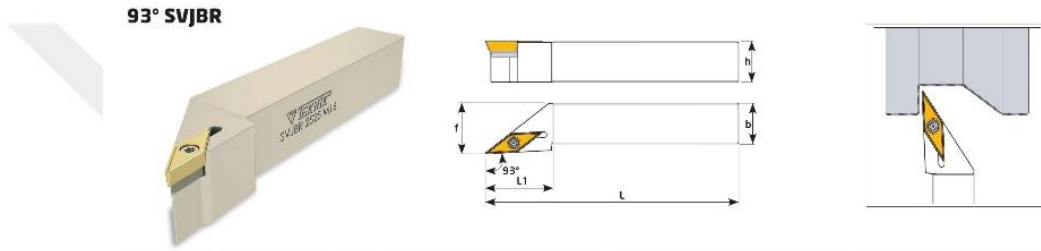
6.3. Kesici Uç ve Takım Tutucu

Deneylerde, DESCAR marka VBMT 1103 kodlu sement karbür kesici uçlar kullanılmıştır. Bu kesici uçlar, 5° pozitif talaş açısına sahip rombik bir geometriye sahiptir ve uç burun radyüsleri 0,2 mm, 0,4 mm ve 0,8 mm olarak belirlenmiştir. Deneylerde kullanılan kesici takımın görseli **Şekil 6.3'**de verilmiştir.



Şekil 6.3: Deneylerde Kullanılan Kesici Takım Özellikleri [33].

Kesici uçlar, Teknik marka SVJBR 2525 M16 kodlu katere bağlanmıştır. Ayrıca, deneylerde kullanılan kesici kater tutucusu **Şekil 6.4**'de gösterilmiştir.



Şekil 6.4: Deneylerde Kullanılan Kater Özellikleri [34].

6.4. Deney Planı

Toolox 44 malzemesinin tornalama deneylerinde, üç farklı ilerleme miktarı (0,1 mm/dev, 0,2 mm/dev ve 0,3 mm/dev), üç farklı kesme hızı (80 m/dak, 110 m/dak ve 140 m/dak) ile üç farklı kesici uç radyüsü (0,2 mm, 0,4 mm ve 0,8 mm) kullanılarak detaylı bir deney tasarımı gerçekleştirilmiştir. Kesme derinliği, tüm deneylerde sabit bir değer olarak belirlenmiştir. Oluşturulan deney planı **Tablo 6.1**'de verilmiştir. Deney planlaması, takım üreticisinin belirttiği operasyonel parametre aralıklarının alt ve üst limitleri dikkate alınarak tasarlanmıştır. Deneyler, soğutma sıvısı kullanılmaksızın tamamen kuru kesme koşullarında yapılmıştır.

Deneylerin her biri, kullanılmamış kesici uç ve yeni bir parça ile gerçekleştirilmiş olup, takım performansını etkileyebilecek faktörler minimuma indirilmiştir. Bu çalışma kapsamında toplamda 27 farklı deney uygulanmış ve buna bağlı olarak 27 adet kesici uç ile 27 adet iş parçası kullanılmıştır. Deneylerde kesme parametrelerinin yüzey

pürüzlülüğü üzerindeki etkisi ve kesici uçların aşınma performansı gibi teknik detayların değerlendirilmesi hedeflenmiştir.

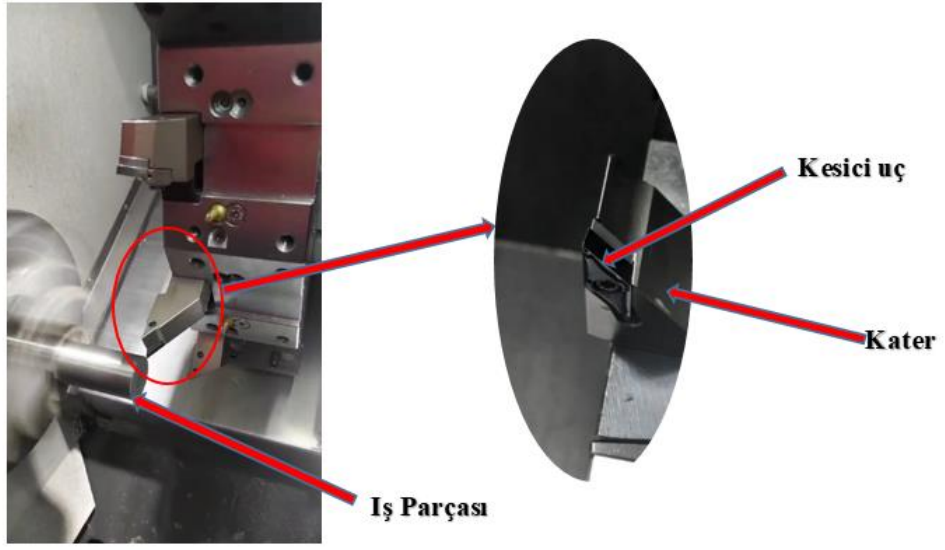
Tablo 6.1: Deney Şartları.

Deney No	Kesme Hızı (m/dak)	İlerleme (mm/dev)	Talaş Derinliği (mm)	Kesici Uç Burun Radyüsü (mm)
1	80	0,1	0,5	0,2
2	80	0,1	0,5	0,4
3	80	0,1	0,5	0,8
4	80	0,2	0,5	0,2
5	80	0,2	0,5	0,4
6	80	0,2	0,5	0,8
7	80	0,3	0,5	0,2
8	80	0,3	0,5	0,4
9	80	0,3	0,5	0,8
10	110	0,1	0,5	0,2
11	110	0,1	0,5	0,4
12	110	0,1	0,5	0,8
13	110	0,2	0,5	0,2
14	110	0,2	0,5	0,4
15	110	0,2	0,5	0,8
16	110	0,3	0,5	0,2
17	110	0,3	0,5	0,4
18	110	0,3	0,5	0,8

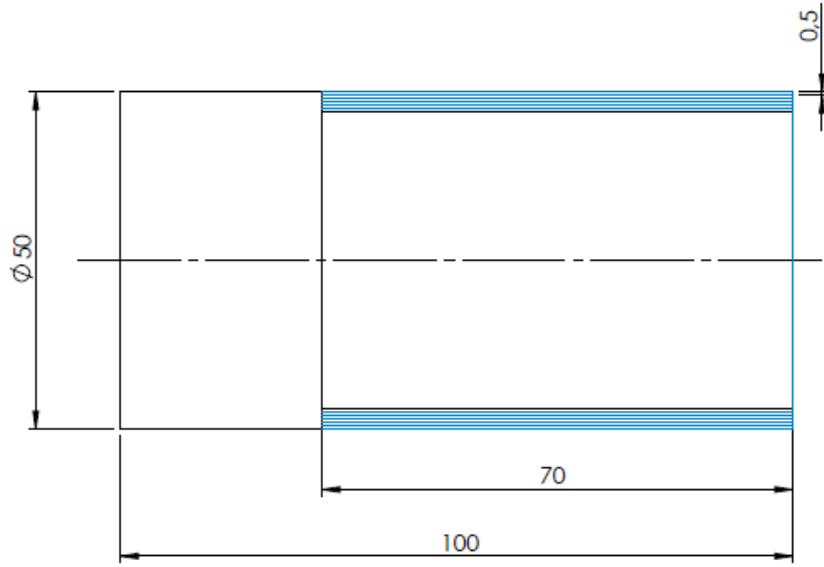
Tablo 6.1: Deney Şartları (Devamı).

19	140	0,1	0,5	0,2
20	140	0,1	0,5	0,4
21	140	0,1	0,5	0,8
22	140	0,2	0,5	0,2
23	140	0,2	0,5	0,4
24	140	0,2	0,5	0,8
25	140	0,3	0,5	0,2
26	140	0,3	0,5	0,4
27	140	0,3	0,5	0,8

Deneylerde kullanılan iş parçaları, torna aynasına bağlanmış ve belirlenen deney parametreleri çerçevesinde işlenmiştir **Şekil 6.5**. Her bir tornalama işlemi, 0,5 mm kesme derinliğinde sabitlenmiş, 70 mm işleme uzunluğunda gerçekleştirilmiştir **Şekil 6.6**. Her bir iş parçası üzerinde, 11 ardışık paso uygulanarak toplamda 770 mm talaş kaldırma işlemi tamamlanmıştır. İşleme sırasında, boyuna tornalama operasyonu tercih edilmiştir. Talaş kaldırma işleminin doğrusal bir ilerleme ile gerçekleştirilmesi, kesme parametrelerinin işleme performansına etkisinin daha sistematik bir şekilde değerlendirilmesine imkân sağlamıştır.



Şekil 6.5: İş Parçasının Torna Aynasına Bağlanması.



Şekil 6.6: İş Parçası Boyutu ve Tornalama Uzunluğu (Ölçüler ‘mm’ cinsindendir.).

6.5. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü

Yüzey pürüzlülüğü, iş parçası yüzeyinin topografik özelliklerinin referans bir yüzeyle karşılaştırılması, temaslı izleyici probler veya optik metotlar ile gerçekleştirilerek ölçülmektedir. Tornalama işlemi sonrasında elde edilen yüzeylerin pürüzlülük değerleri, Mitutoyo Surf Test 301 profilometre cihazı kullanılarak detaylı bir şekilde

analiz edilmiştir. Mitutoyo Surf Test 301 teknik özellikleri **Ek B**'de verilmiştir. Ölçümlerde, ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) parametresi esas alınmıştır.

Deneyisel ölçüm prosedüründe, örnekleme sayısı 5, örnekleme uzunluğu ise 0,8 mm olarak belirlenmiştir. Ra değerleri, her iş parçasının yüzeyinden dört farklı noktadan alınan ölçümler ile hesaplanmış ve analizlerde bu noktaların aritmetik ortalaması değerlendirilmiştir. Bu yöntem, işleme parametrelerinin yüzey kalitesi üzerindeki etkilerini detaylı bir şekilde incelemeye olanak tanımıştır.

Yüzey pürüzlülüğü ölçümünde, değerlendirme işlemi, izleyici bir ucun iş parçası yüzeyi üzerinde belirlenmiş bir değerlendirme uzunluğu boyunca hareket ettirilmesi prensibine dayanmaktadır. Bu süreçte, izleyici ucun hareketi sırasında yüzeyde oluşan mikroskobik dalgalanmalar veya titreşimler büyütülerek hareketli bir şerit üzerine aktarılmakta ya da elektronik cihazlar aracılığıyla analiz edilmektedir **Şekil 6.7**.

Literatür incelemelerine göre, yüzey pürüzlülüğü ölçümünde izleyici uç geometrisinin hassasiyeti, ölçüm sonuçlarının doğruluğunu doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle, genellikle 90° uç açısına sahip, 4-12 µm yarıçapında izleyici uçlar tercih edilmektedir. Bu uç geometrisi, yüzey profili detaylarının yeterli hassasiyetle algılanmasına olanak tanımaktadır. Ayrıca, kullanılan profilometre sistemleri, hem temaslı ölçüm yöntemi ile güvenilir sonuçlar sunmakta hem de geniş bir yüzey analiz kapasitesine sahiptir [35].



Ölçüm Noktaları

Şekil 6.7: Yüzey Pürüzlülüğü Ölçme Yöntemi ve Ölçüm Noktaları.

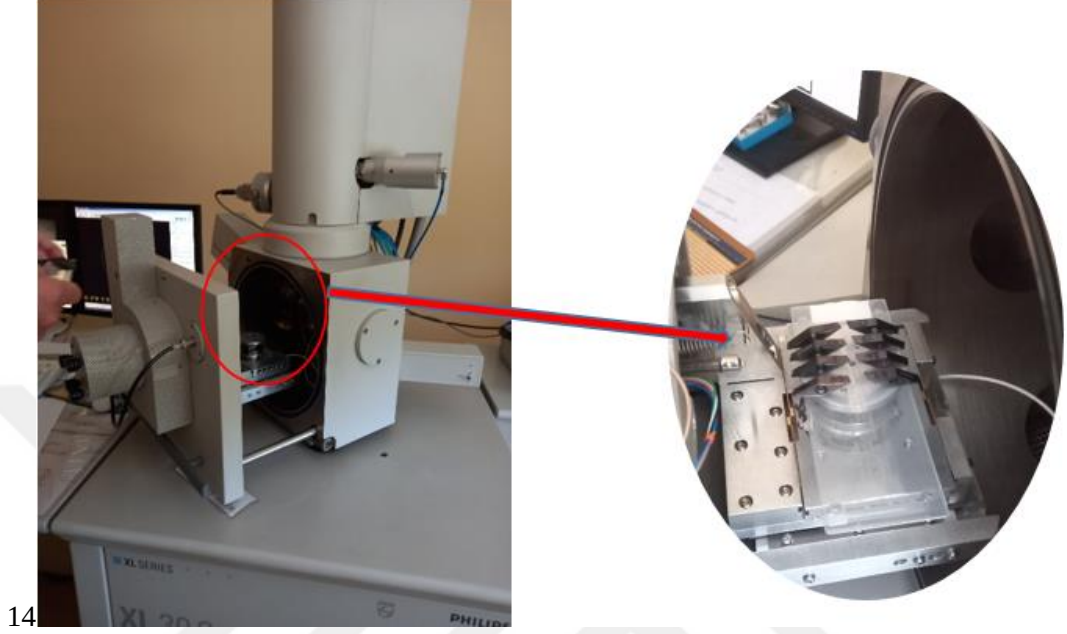
6.6. Takım Aşınması Ölçümü

Tornalama işlemleri sonrasında, kesici uçlarda oluşan serbest yüzey aşınmaları, yüksek çözünürlüklü görüntüleme özelliğine sahip taramalı elektron mikroskobu (Scanning Electron Microscope - SEM) kullanılarak analiz edilmiştir. Bu inceleme için Philips XL30 SEM cihazı tercih edilmiştir. Şekil 6.8’de kesici uçların SEM cihazına yerleştirilmesi gösterilmiştir.

Aşınma analizi sırasında, kesici uçların serbest yüzeyinde meydana gelen maksimum aşınma genişliği temel değerlendirme kriteri olarak alınmıştır.

Aşınma miktarının ölçümünde, özellikle kesici takımın mikroyapısal deformasyonları, aşınma morfolojisi ve termo-mekanik etkilerden kaynaklanan malzeme kaybı detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bu yöntem, talaş kaldırma işlemi sırasında takım-malzeme etkileşiminin ve kesme parametrelerinin aşınma mekanizmaları üzerindeki etkilerinin

anlaşılmasını sağlamak amacıyla kullanılmıştır. SEM görüntüleme, aşınma bölgelerindeki mikroskobik detayların net bir şekilde belirlenmesine ve takım ömrü ile ilgili hassas verilerin elde edilmesine olanak tanımaktadır.



14

şekil 6.8: Kesici Takım Aşınmasının SEM lm.

7. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

7.1. Takım Aşınması

Şekil 7.1'de kesici uçların kullanılmamış durumdaki SEM (Tarama Elektron Mikroskobu) görüntüleri yer almaktadır. **Şekil 7.2, Şekil 7.3, Şekil 7.4, Şekil 7.5, Şekil 7.6'** da ise tornalama deneylerinden sonra meydana gelen aşınma durumlarını gösteren SEM görüntüleri yer almaktadır.

SEM görüntülerinin incelenmesiyle, kesici uçlarda talaş birikmesi (built-up edge, BUE) gözlemlenmemiştir. Ayrıca, uçların talaş yüzeylerinde krater aşınmasının da bulunmadığı anlaşılmıştır. Görsellerden de anlaşılabileceği üzere, kesici uçların yan yüzeylerinde serbest yüzey aşınması meydana gelmiştir.

Farklı kesme hızları, ilerleme değerleri ve kesici uç burun radyüsü kombinasyonları altında Toolox 44 çeliğinin serbest yüzey aşınması değerleri incelenmiştir. **Şekil 7.7'**de sunulan veriler, serbest yüzey aşınmasının kesme parametreleri ve kesici uç burun radyüsü kombinasyonlarına bağlı olarak çeşitlilik gösterdiğini ortaya koymuştur.

Serbest yüzey aşınması, iş parçası malzemesinde bulunan sert bileşenlerin, özellikle karbür parçacıklarının, kesici takım yüzeyi ile etkileşimi sonucu oluşan bir aşınma mekanizmasıdır. Tornalama işlemi sırasında, bu sert karbür parçacıkları kesici takımın yan yüzeyine sürtünerek yüksek seviyede mekanik yük oluşturur. Bu durum, takım yüzeyinde aşınma alanının zamanla genişlemesine neden olur [36].

Kesme bölgesindeki aşınmanın ana kaynağı olarak, abrasiv aşınmaya yol açan mekanik yükler belirlenmiştir [37]. Tornalama işlemi sırasında, yan kenar aşınması ve burun aşınmasının çoğunlukla birlikte gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, değişen işlem parametreleri ve faktörlerin etkisi nedeniyle aşınma alanlarının büyüklüğü farklılık göstermektedir. Araştırılan parametrelerin çokluğu, aşınma mekanizması ile ilgili genel bir çıkarım yapmayı güçleştirmiştir.

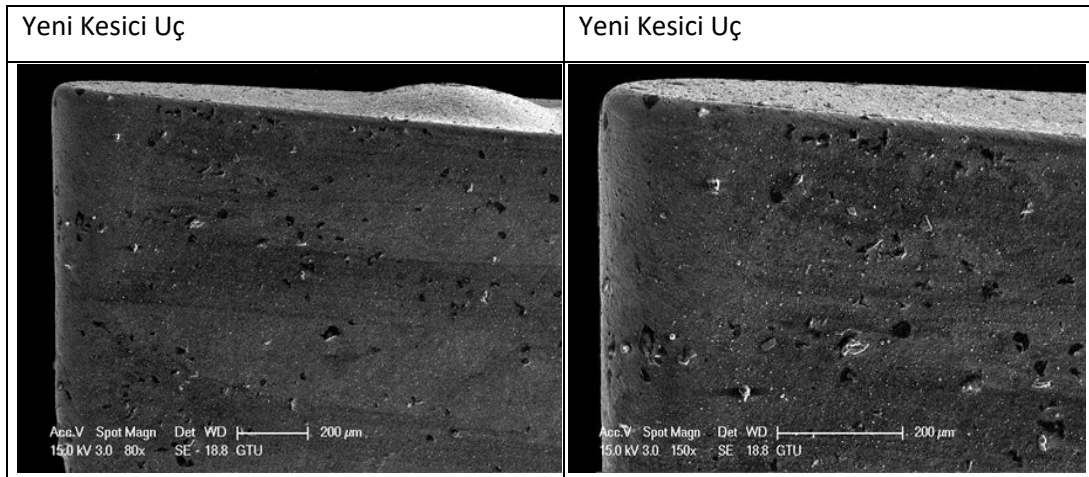
Deney sonuçlarına göre, uç yarıçapının baskın aşınma mekanizması üzerinde belirgin bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir. Bu bulgu, literatürdeki çalışmalarla uyumlu bir

şekilde ifade edilmiştir [36]. Bu nedenle, kesme parametrelerinin spesifik değerleri kullanılarak aşınma mekanizması yorumlanmaya çalışılmıştır.

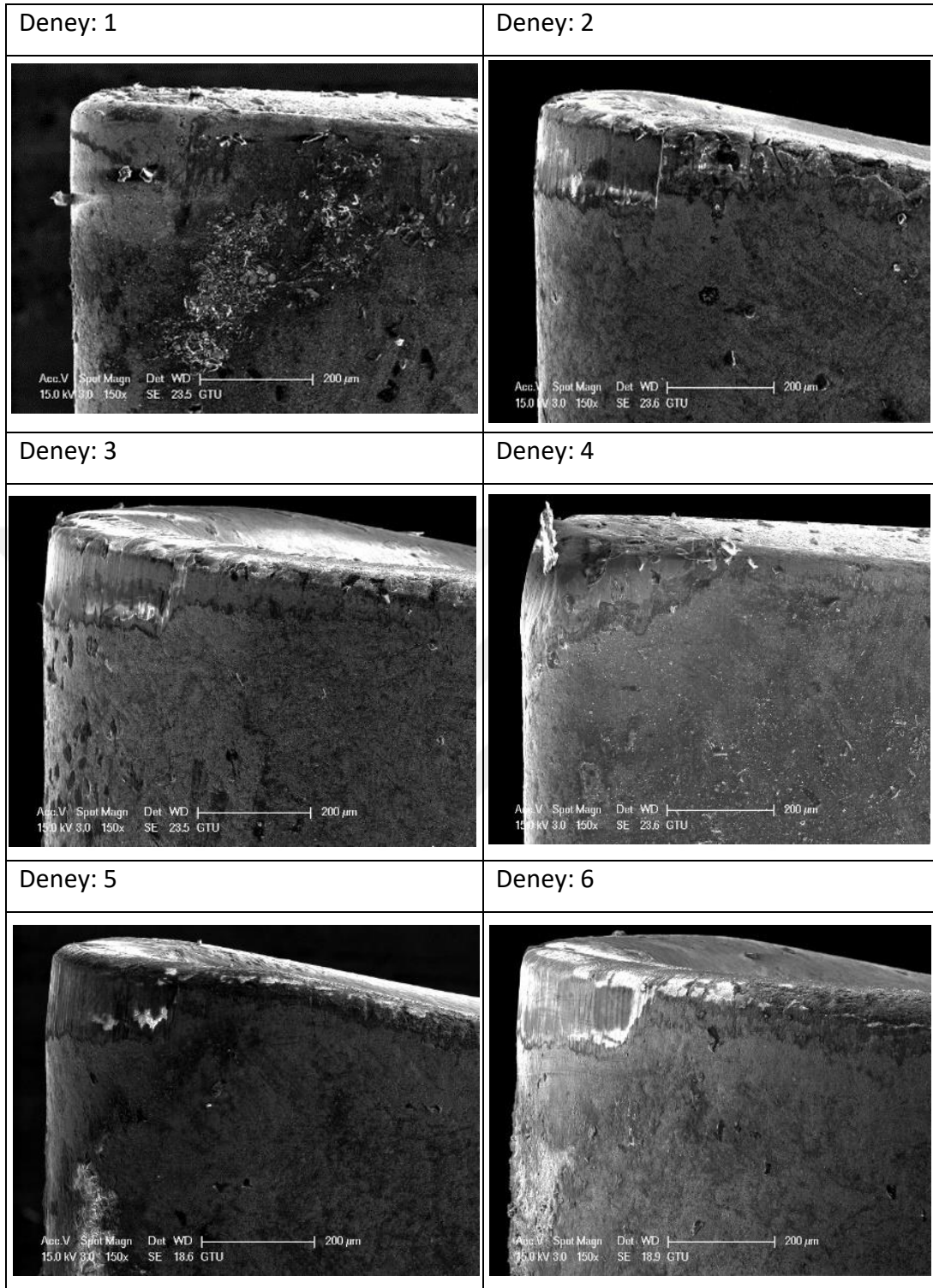
DeneySEL veriler incelendiğinde, en düşük serbest yüzey aşınması ve en düzenli bir aşınma 20. deneyde elde edilmiştir. Bu deneyde kesme hızı 140 m/dak, ilerleme miktarı 0,1 mm/dev ve uç yarıçapı 0,4 mm olarak belirlenmiştir. Ancak, en yüksek kesme hızında aşınma değerinin düşük çıkması literatürdeki önceki sonuçlarla uyuşmamaktadır [37]. Bu duruma, artan kesme hızı ile aşınma değerinin azalması ve buna bağlı olarak talaş akışının kolaylaşması sebep olarak gösterilebilir.

En ciddi serbest yüzey aşınması ise 4. deneyde gözlemlenmiştir. Bu deneyde kesme hızı 80 m/dak, ilerleme miktarı 0,2 mm/dev ve uç yarıçapı 0,2 mm olarak belirlenmiştir. Düşük kesme hızı ve küçük uç yarıçapının bir araya gelmesi, kesici takımında belirgin bir aşınma meydana getirmiştir. Bu koşullarda, yan kenar aşınması ve burun aşınması birleşerek takım ucunda deformasyona neden olmuştur.

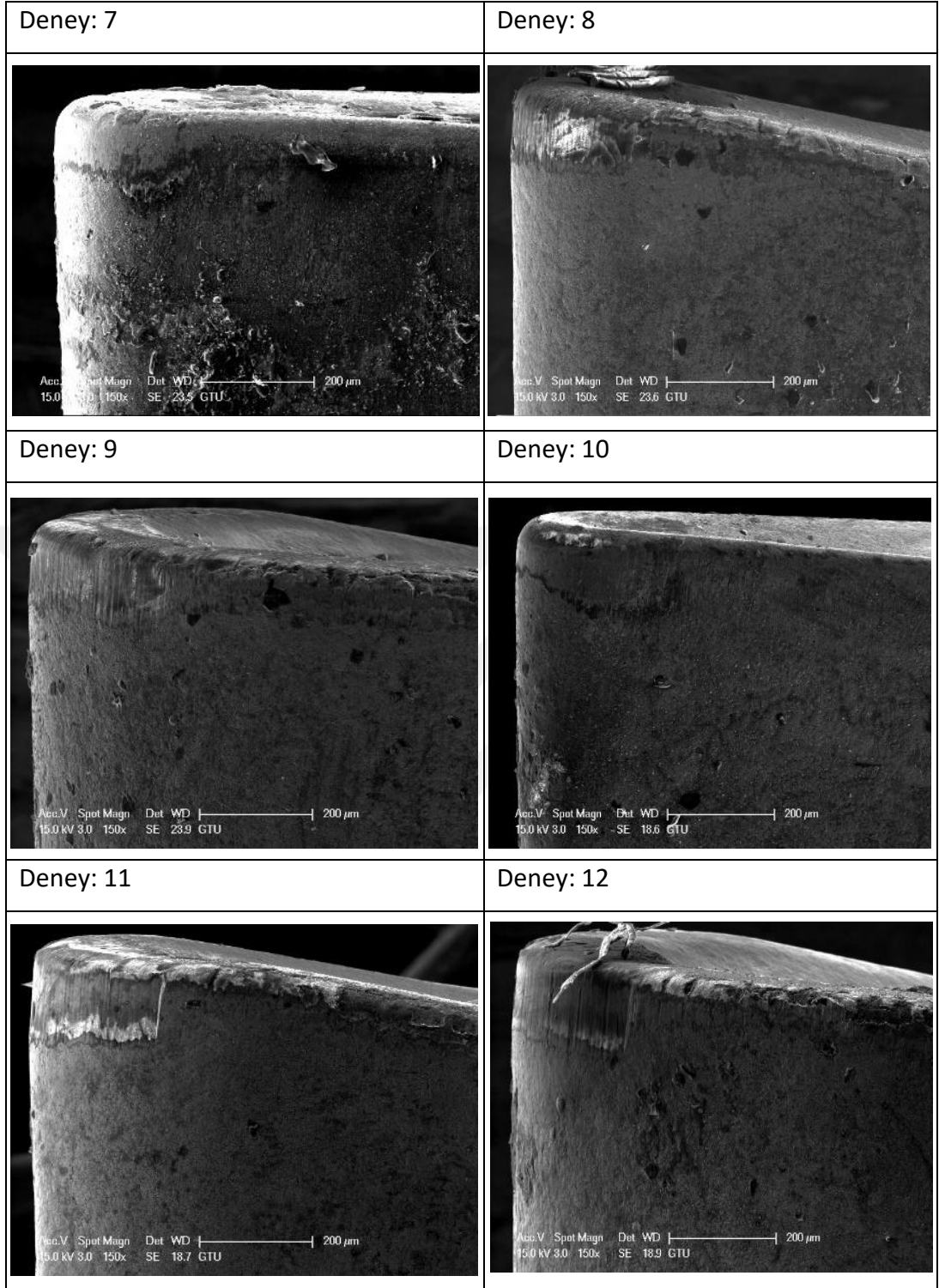
Sonuç olarak, kesme parametreleri ile aşınma mekanizması arasındaki ilişki, işlem parametrelerine bağlı olarak farklılık göstermiştir. Özellikle kesme hızı ve ilerleme miktarının, aşınma alanlarının büyüklüğünü ve oluşum mekanizmasını önemli ölçüde etkilediği görülmüştür.



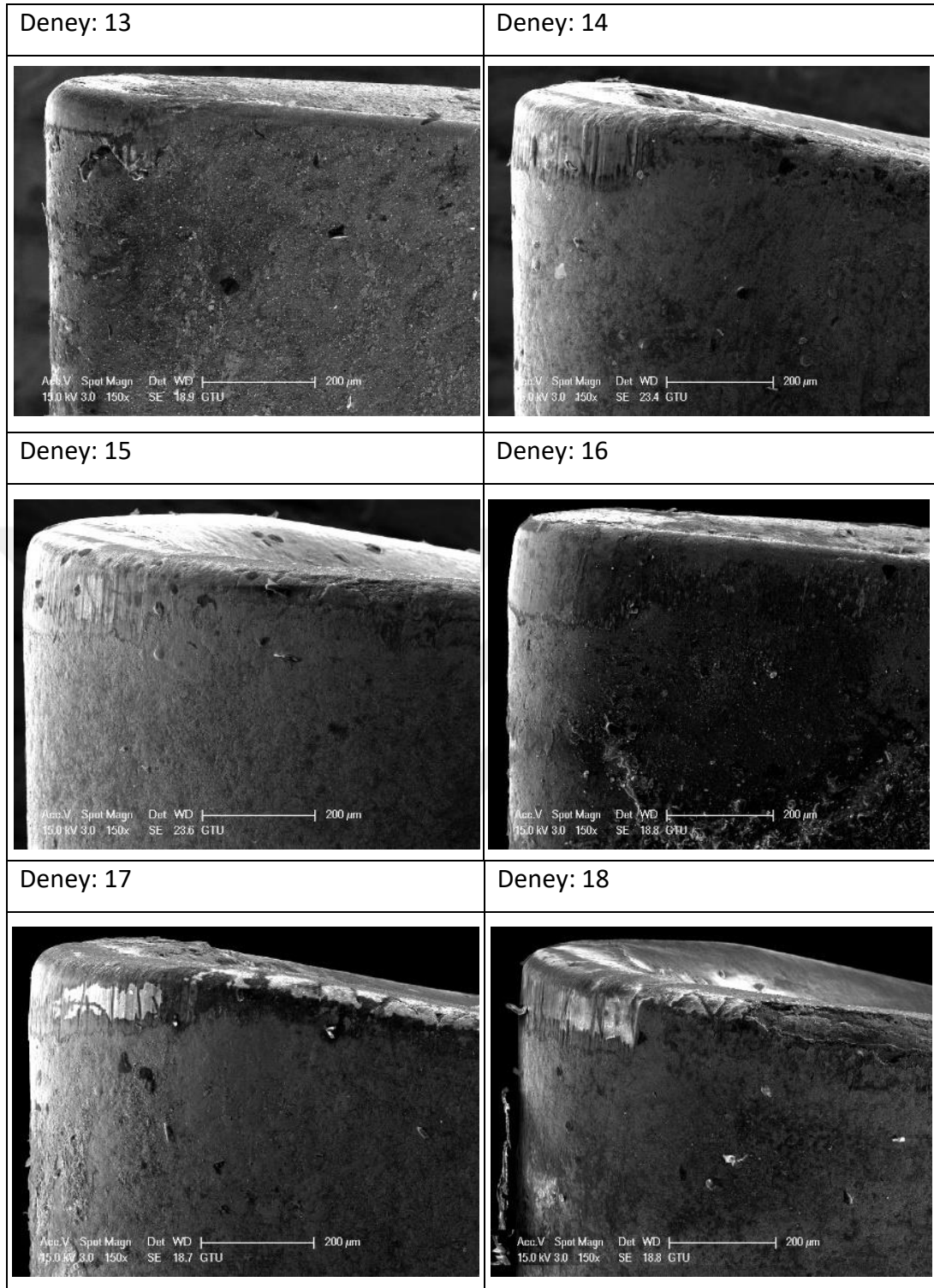
Şekil 7.1: Kullanılmamış Kesici Uçların SEM görüntüleri.



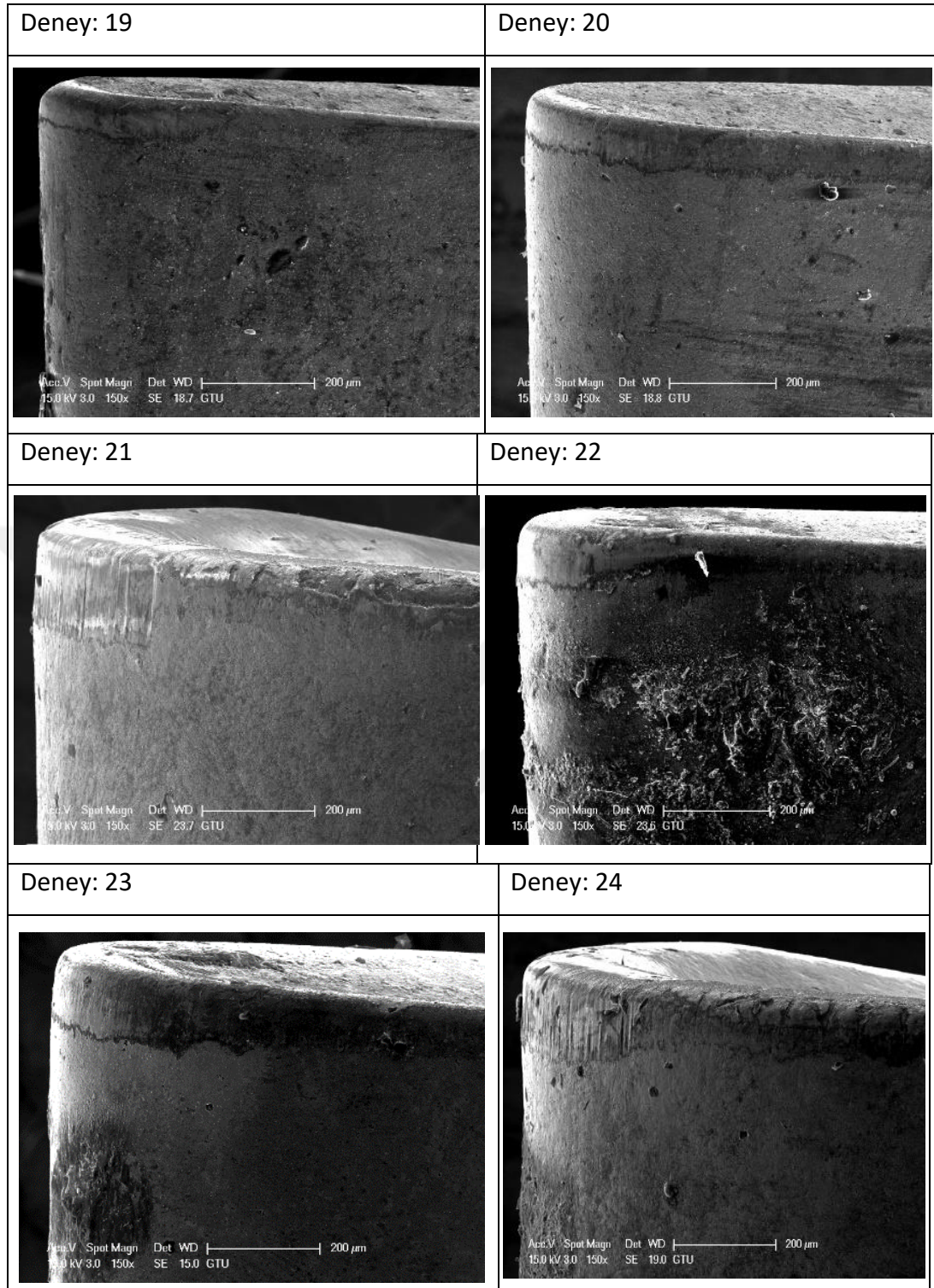
Şekil 7.2: Kesici Uçların SEM görüntüleri (Deney 1-6).



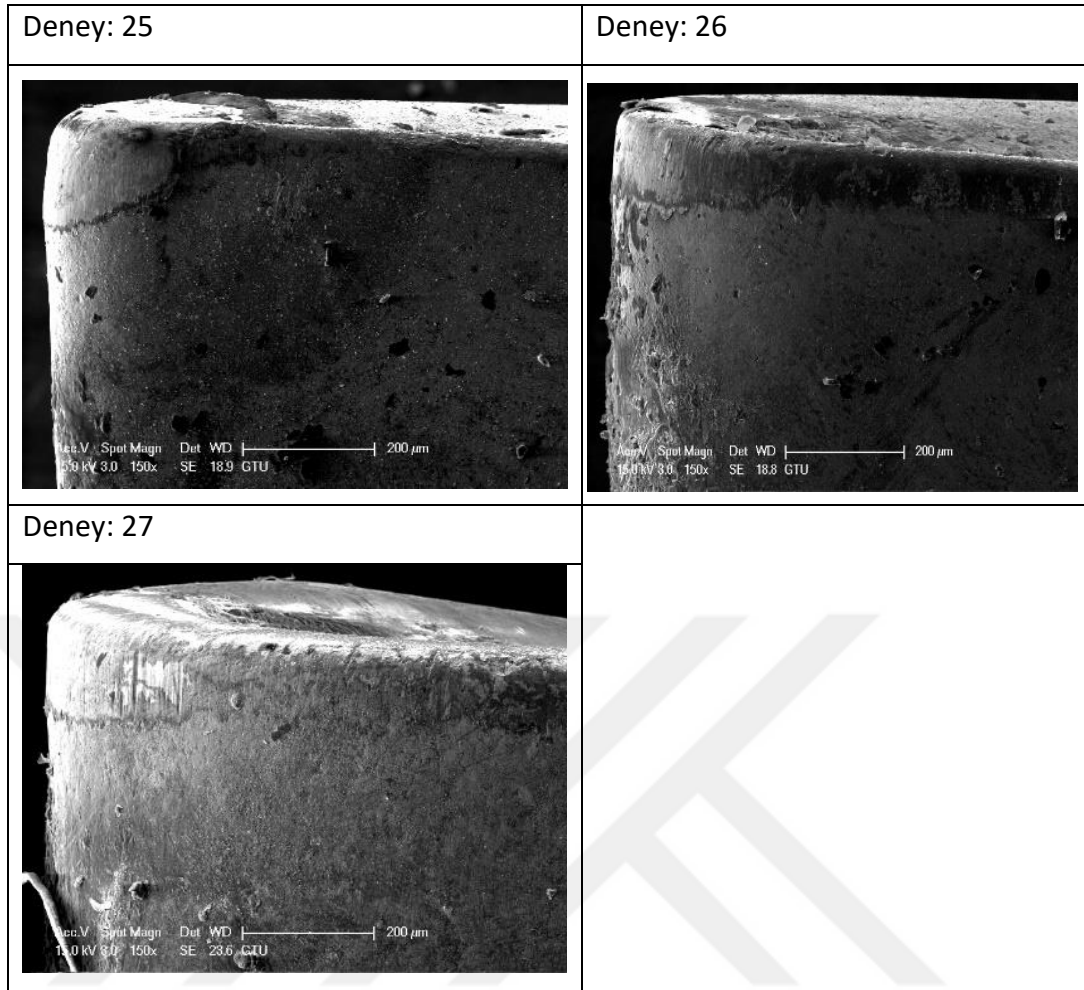
Şekil 7.3: Kesici Uçların SEM görüntüleri (Deney 7-12).



Şekil 7.4: Kesici Uçların SEM görüntüleri (Deney 13-18).



Şekil 7.5: Kesici Uçların SEM görüntüleri (Deney 19-24).



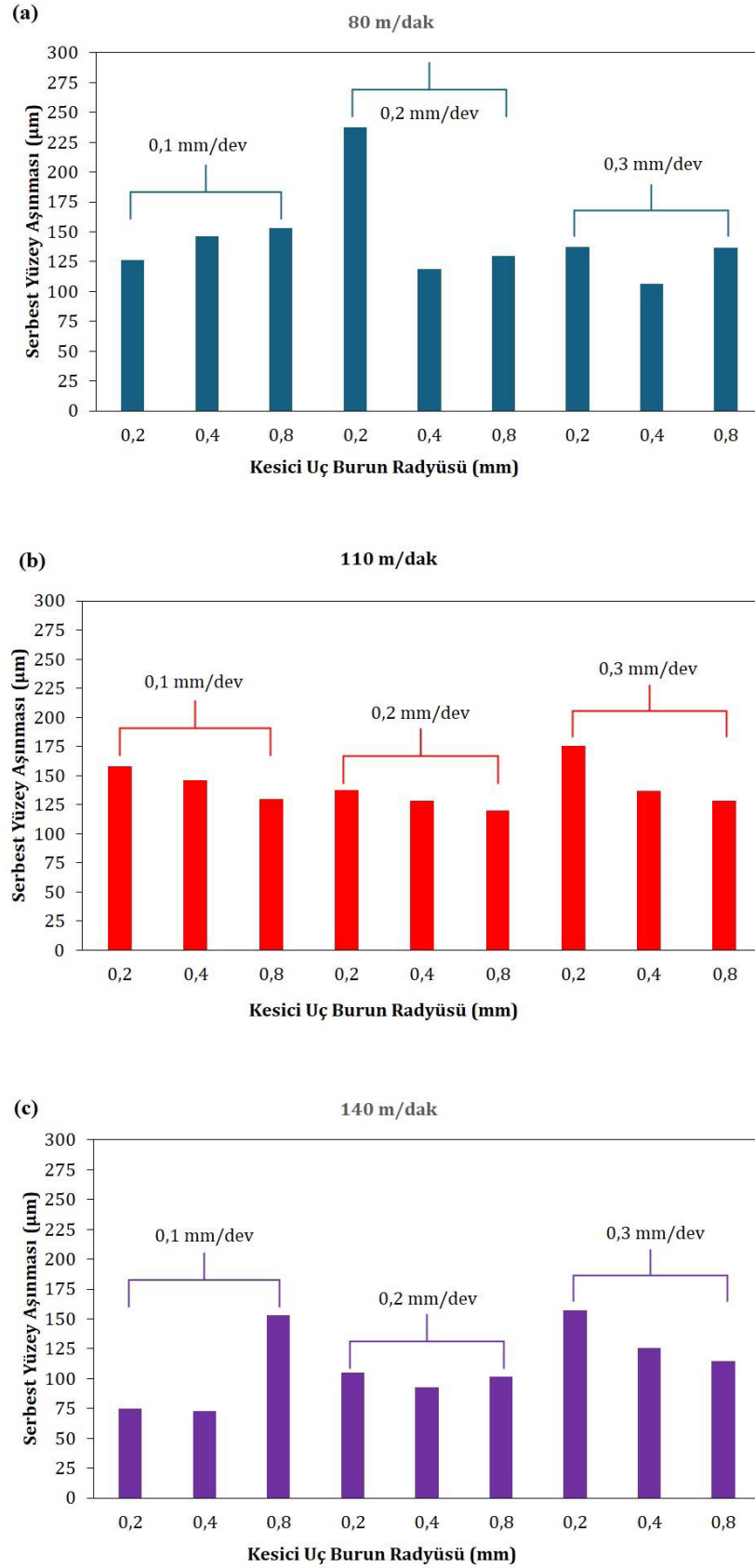
Şekil 7.6: Kesici Uçların SEM görüntüleri (Deney 25-27).

Serbest yüzey aşınmasını minimuma indirmek için 80 m/dak kesme hızı, 0,3 mm/dev ilerleme miktarı ve uç burun radyüsü ise 0,4 mm değerleri tercih edilmelidir. Düşük ilerleme değerlerinde özellikle düzgün talaş oluşumu ve çelik malzeme ile kesici arasında daha düşük sıcaklık oluşumunun bu sonuca katkıda bulunduğu ifade edilmektedir [38]. Serbest yüzey aşınmasını azaltmak için ise 110 m/dak kesme hızı kullanıldığında en uygun değerlerin, 0,2 mm/dev ilerleme ve uç burun radyüsünün ise 0,8 mm olduğu belirlenmiştir. Literatürde, uç burun radyüsünün artmasıyla talaş temas alanının genişlemesi sonucu çelik malzemede gerilme konsantrasyonunun azaldığı ve bu durumun aşınma oranlarını azaldığı vurgulanmaktadır [39]. 110 m/dak kesme hızında, bu etki daha düzenli bir şekilde gözlemlenmiştir. Uç burun radyüsünün artması ile tüm ilerleme değerlerinde serbest yüzey aşınmasının azaldığı belirlenmiştir. En düşük serbest yüzey aşınması değeri ise kesme hızı 140 m/dak iken, ilerleme 0,1 mm/dev ve uç burun radyüsü 0,4 mm kullanıldığında 72,958 µm olarak ölçülmüştür. Bu durum, yüksek kesme hızlarında şiddetli sıcaklık artışına bağlı olarak kesici

takımın serbest yüzeyine uygulanan mekanik gerilmelerin düşmesinden kaynaklanabilir [38]. Ancak, bu hızda düzenli bir aşınma trendi tespit edilmemiştir.

Literatür de yüksek uç burun radyüsüne sahip kesici takımların genel olarak serbest yüzey aşınmasını azalttığını desteklemektedir. Bu durum, uç radyüsünün artmasıyla kesme kuvvetlerinin daha geniş bir alana yayılması ve kesici takımın ömrünün artmasından kaynaklanmaktadır. Ek olarak, ilerleme değerlerinin düşük tutulması, kesici takımın şiddetli mekanik darbelerden korunmasına ve aşınma oranlarının azalma trendine katkı sağlar [39].





Şekil 7.7: Kesme hızları (a) 80 m/dak, (b) 110 m/dak ve (c) 140 m/dak kullanıldığında ilerleme ve kesici uç burun radyüsünün bir sonucu olarak ölçülen serbest yüzey aşınması değerleri.

7.2. Yüzey Pürüzlülüğü

80 m/dak, 110 m/dak ve 140 m/dak kesme hızı değerlerinde, ilerleme ve kesici uç yarıçapına bağlı olarak ölçülen ortalama Ra (yüzey pürüzlülüğü) değerleri **Şekil 7.8'**de gösterilmiştir. Bu kesme hızlarında, tüm kesici uç yarıçapları için ilerleme değerindeki artışla birlikte yüzey pürüzlülük değeri de artmıştır. İlerleme miktarının artması, kesme bölgesinde sürtünmeden dolayı sıcaklık artışına neden olarak aşınmanın artmasına yol açar ve bu da yüzey kalitesini kötüleştirir **[40][41]**. Sıcaklık, takım-talaş ve takım-iş parçası arayüzeylerinde yoğunlaşır ve ilerlemenin artmasıyla yüzeyde kalıcı gerilmeler oluşur **[41][42][43]**. Bu bağlamda, ilerlemenin artması ile yüzey pürüzlülüğünün artması beklenen bir sonuçtur.

Kesme hızı 80 m/dak iken 0,2 mm uç yarıçaplı kesici takımla tornalanmış yüzeylerde, ilerlemenin 0,1 mm/dev'den 0,3 mm/dev'e yükseltilmesiyle Ra değerindeki artış %912 olmuştur. Aynı kesme hızında, uç yarıçapı 0,4 mm kesici takımla bu artış %628 iken 0,8 mm uç yarıçaplı takımla ise %122 olmuştur. Kesme hızı 110 m/dak iken, uç yarıçapı 0,2 mm ve ilerleme de 0,1 mm/dev kullanıldığında Ra değeri %860, uç yarıçapı 0,4 mm ve ilerleme 0,2 mm/dev kullanıldığında Ra değeri %390, uç yarıçapı 0,8 mm ve ilerleme 0,3 mm/dev kullanıldığında Ra değeri %262 artmıştır. Kesme hızı 140 m/dak olduğunda ise, 0,2 mm, 0,4 mm ve 0,8 mm uç yarıçaplı kesici takımlarla yapılan tornalamada, Ra değerleri ilerleme 0,1 mm/dev iken %793, ilerleme 0,2 mm/dev iken %726 ve ilerleme 0,3 mm/dev iken %294 oranında artmıştır.

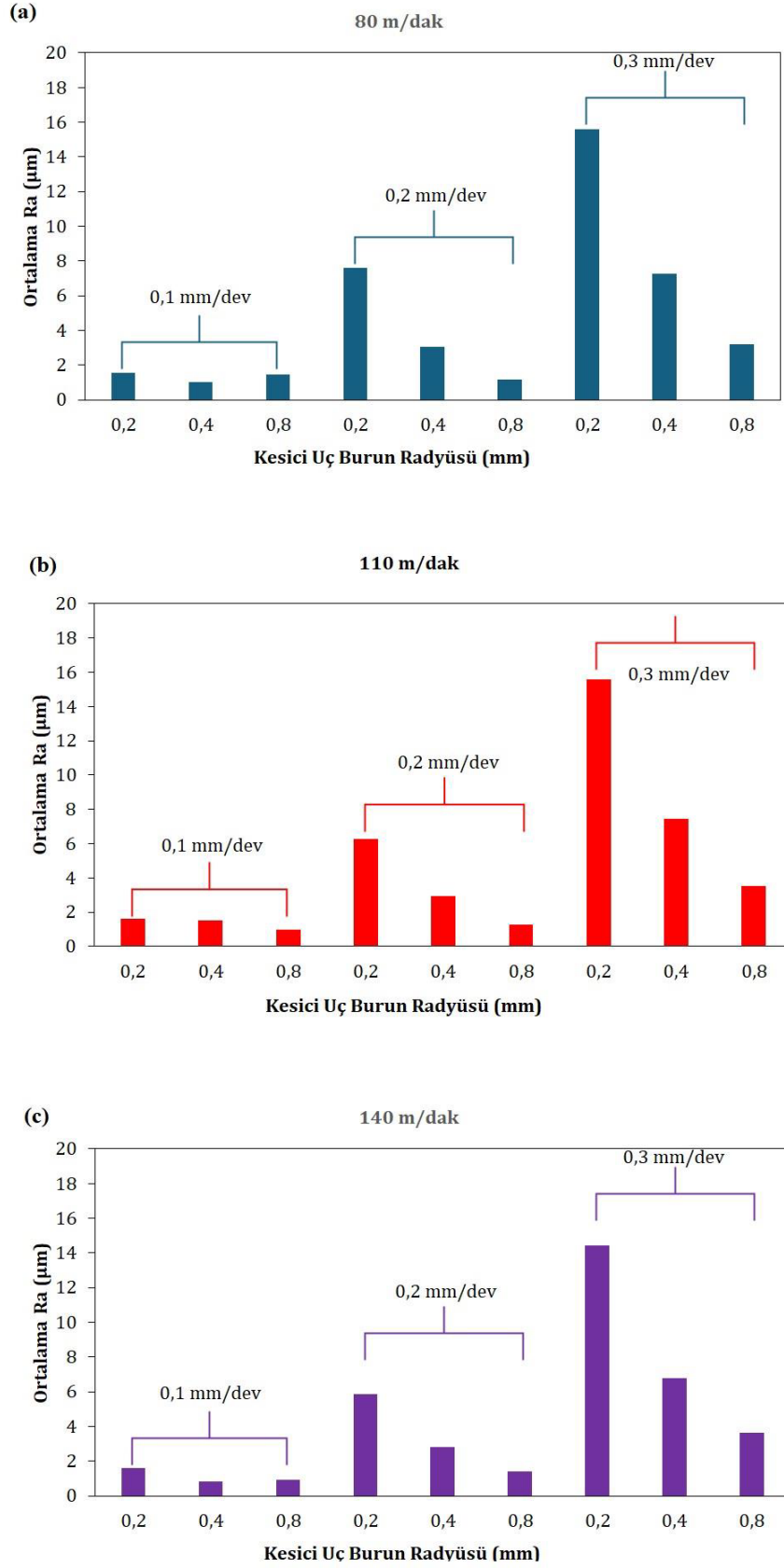
Genel olarak tüm kesme hızlarında kesici uç yarıçapı arttıkça Ra değeri azalmıştır. Diğer çalışmalarda da benzer şekilde uç yarıçapının artmasının yüzey kalitesini iyileştirdiği rapor edilmiştir **[38][39]**. Bhavsar **[44]**, uç yarıçapının yüzey pürüzlülüğünü azaltmadaki rolünü ve takım ucu ile iş parçası arasındaki sıcaklık oluşumunda önemli bir etkisini vurgulamıştır. Literatürde bu bulgu, uç yarıçapındaki artışın malzeme üzerindeki sürtünme miktarını artırdığı şeklinde açıklanmaktadır. Takım ile iş parçası arasındaki sürtünme seviyesindeki artış, malzemenin özgül kesme direncinin azalmasına neden olur ve bu durum, malzeme üzerinden talaş kaldırma işleminin daha kolay gerçekleşmesini sağlar **[43]**. Bu nedenle, kesici uç yarıçapı arttıkça yüzey pürüzlülük değerinde azalma meydana gelir.

Kesici uç yarıçapı küçüldüğünde, işleme sırasında yüzeyde oluklar oluşarak yüzey kalitesini olumsuz etkiler **[45]**. 0,2 mm olan kesici uç yarıçapı 0,8 mm'ye arttığında,

oluk oluşumu daha azalır ve bu da yüzey pürüzlülüğünün iyileşmesine yol açar. En belirgin iyileşmeler, ilerleme hızlarının 0,2 mm/dev ve 0,3 mm/dev olduğu durumlarda gözlemlenmiştir. Örneğin, kesme hızı 80 m/dak, ilerlemenin de 0,2 mm/dev olduğu durumda, uç yarıçapının 0,8 mm'ye çıkarılması Ra değerinde %85'lik bir azalmaya neden olmuştur. 0,3 mm/dev ilerleme olduğunda ise, aynı uç yarıçapı değişikliği Ra değerini %79 oranında düşürmüştür. Kesme hızı 110 m/dak olduğunda ise, uç yarıçapının 0,8 mm'ye çıkarılması, ilerlemenin de 0,2 mm/dev seçilmesi %79, aynı değerde kesme hızı ve uç radyüsünde ilerlemenin 0,3 mm/dev seçilmesi %77 oranında bir azalma sağlamıştır. Aynı şekilde kesme hızı 140 m/dak olduğunda, 0,2 mm/dev ilerleme Ra değerinde %76 oranında, 0,3 mm/dev ise %74 oranında azalma olmuştur. En düşük Ra değeri, 140 m/dak kesme hızı, 0,1 mm/dev ilerleme ve 0,4 mm uç yarıçapı ile işlenmiş yüzeyde 0,8175 μm olarak bulunmuştur.

Bu çalışmada, yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerini en fazla etkileyen parametrelerin sırasıyla ilerleme, kesici uç yarıçapı ve kesme hızı olduğu görülmüştür. İlerleme, yüzey pürüzlülüğünü en çok etkileyen parametre olarak, literatür araştırmalarında da benzer şekilde belirtilmiştir [46][47].

Toolox 44'ün tornalanmasında, kesme hızı ve kesici uç yarıçapı hangi değerde olursa olsun, Ra değerini önemli ölçüde artırdığından 0,3 mm/dev ilerleme değerinin kullanılmaması gerekmektedir. İyi bir yüzey kalitesi elde etmek için 0,2 mm/dev ilerleme hızı tercih edilecekse, kesici uç yarıçapının 0,8 mm olarak seçilmesi gerektiği belirlenmiştir. Benzer bir sonuca, Kayır vd. [48] tarafından yapılan çalışmada da ulaşılmıştır. Yapılan araştırmalar, AISI 316Ti paslanmaz çeliğinin küçük uç yarıçaplı (0,4 mm) kesici takımlarla yüksek ilerleme ve kesme hızlarında tornalanmasının hem takım ömrü hem de yüzey pürüzlülüğü açısından uygun olmadığını göstermiştir [48].



Şekil 7.8: Kesme hızı (a) 80 m/dak, (b) 110 m/dak ve (c) 140 m/dak kullanıldığında ilerleme ve kesici uç yarıçapının bir sonucu olarak ölçülen ortalama Ra değerleri.

8. SONUÇLAR

Bu çalışma, ön serleştirilmiş Toolox 44 malzemesinin tornalanmasında kesme hızı, ilerleme ve kesici uç yarıçapının yüzey pürüzlülüğü (Ra) ve serbest yüzey aşınması üzerindeki etkilerini incelemiştir. Araştırmada şu bulgulara ulaşılmıştır.

- **Kesici Uç Aşınma Tipleri:** Toolox 44 çeliğinin tornalanması sırasında kesici uçlarda yığıntı talaş (BUE) oluşmadığı ve talaş yüzeyinde krater aşınması görülmediği belirlenmiştir. Fakat kesici uçların yan yüzeylerinde serbest yüzey aşınması tespit edilmiştir.
- **En Düşük Serbest Yüzey Aşınması:** 140 m/dak kesme hızı, 0,1 mm/dev ilerleme ve 0,4 mm kesici uç yarıçapı kullanıldığında ölçülmüştür.
- **İlerleme ve Yüzey Pürüzlülüğü:** Tüm kesici uç yarıçaplarında ve kesme hızlarında, ilerlemenin artışı yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerinde bir yükselişe neden olmuştur.
- **Kesici Uç Yarıçapı ve Yüzey Kalitesi:** Tüm kesme hızlarında, kesici uç yarıçapı büyüdükçe Ra değerinin azaldığı görülmüştür.
- **Parametrelerin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi:** Ra değerine etki eden parametreler arasında öncelik sırasının ilerleme, kesici uç yarıçapı ve kesme hızı olduğu belirlenmiştir
- **İlerleme Önerileri:** Toolox 44 malzemesinin işlenmesinde, 0,3 mm/dev ilerleme değerinin Ra'yı çok fazla artırdığı ve bu nedenle tercih edilmemesi gerektiği sonucuna varılmıştır.
- İyi bir yüzey kalitesi için 0,2 mm/dev ilerleme değeri kullanıldığında, kesici uç yarıçapının 0,8 mm olarak seçilmesi önerilmektedir.

9. ÖNERİLER

Deney planı, farklı kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne ve kesici uç aşınma performansına etkilerini analiz etmek için kapsamlı ve sistematik bir şekilde tasarlanmıştır. Ancak deney sonuçlarının güvenilirliği ve kapsamlılığını artırmak için aşağıdaki öneriler dikkate alınabilir:

- Toolox 44 takım çeliğinin işlenmesinde farklı malzeme bileşimlerine sahip kesici uçlar kullanılarak karşılaştırmalı bir analiz yapılabilir. Örneğin, seramik veya CBN uçlar ile tornalama performansı karşılaştırılabilir.
- Deneyler tamamen kuru kesme koşullarında gerçekleştirilmiştir. Ancak, farklı soğutma stratejileri eklenerek bu parametrenin etkisi de analiz edilebilir.
- Kesme derinliği, sabit tutulmuş olsa da farklı değerlerle tekrar eden deneyler, bu parametrenin etkisini değerlendirmek için önemli olabilir. Kesme derinliği, takım aşınması ve yüzey kalitesini etkileyen önemli bir faktördür.
- Kesme hızı, ilerleme miktarı ve uç burun radyüsü gibi parametrelerin mevcut aralıklarının dışında ek seviyeler eklenerek deney kapsamı genişletilebilir. Bu, geniş bir operasyonel aralık için daha kapsamlı bir analiz yapılmasına olanak tanır.
- Çalışmada tornalama yöntemi kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Frezeleme, taşlama ve delik delme gibi işlemler kullanılarak deneysel çalışma yapılabilir.
- Toolox serisinden olan Toolox 33 ve Toolox 40 malzemeleri ile farklı üretim yöntemleri kullanılarak deneysel çalışmalar yapılabilir.
- Daha küçük bir kesme derinliği ile tornalama yapılarak yüzey pürüzlülüğü ve kesici takım aşınması incelenebilir.
- Tornalama işlemi sırasında oluşan talaş tipleri, kesme parametrelerinin işleme stabilitesine etkisi açısından analiz edilebilir. Bu, kesme sırasında ortaya çıkan sıcaklık, titreşim ve talaş kırılması hakkında bilgi sağlayabilir.
- Kesme kuvvetlerinin takım aşınması üzerindeki etkisi incelenebilir.
- L27 deney seti uygulanmış sonuçların analizi (istatistiksel) ANOVA (varyans analizi) yapılabilir.

- Farklı talaş derinliklerinde harcanan güç ve enerji verimliliği açısından incelenebilir.
- Bu öneriler doğrultusunda mevcut deney planı geliştirilerek, tornalama işlemi ve malzeme-kesici takım etkileşimleri hakkında daha kapsamlı ve genellenebilir sonuçlar elde edilebilir.



KAYNAKLAR

- [1] Çolak, O., (2006), ‘‘CNC Freze Tezgâhı için Kesme Parametrelerinin Akıllı Yöntemlerle Elektronik Ortamda Optimizasyonu’’. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [2] Daghini, L. and Nicolescu, C., (2007), ‘‘Influence of Inserts Coating and Substrate on Toolox 44 Machining’’ Swedish Production Symposium.
- [3] Toolox Technical Information Toolox 44. Toolox 44® - Korkmaz Çelik
- [4] Bayraktar Ş., Uzun G., (2021), ‘‘Ön sertleştirilmiş Toolox 44 ve Nimax Kalıp Çeliklerinin İşlenebilirliği Üzerine Deneysel Çalışma’’, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 36 1939-1947.
- [5] Javidi, A., Rieger U., Eichseder W., (2008), ‘‘The effect of machining on the surface integrity and fatigue life’’ (Technical note), International Journal of Fatigue, 30,2050-2055.
- [6] Sharman, A.R.C., Hughes, J.I., Ridgway, K., (2005), ‘‘The effect of tool nose radius on surface integrity and residual stresses when turning Inconel 718’’, Journal of Materials Processing Technology, 216, 123-132.
- [7] Binalı R., Ulaş H.B., Demir H., (2018), ‘‘Toolox 44 Malzemesinde Talaş Kaldırma Miktarının Yüzey Pürüzlülüğü ve Takım Aşınması Üzerindeki Etkilerinin incelenmesi’’, Technological Applied Sciences (NWSATAS), 13 19-28.
- [8] Wojciechowski S., Mrozek K., (2017) , ‘‘Mechanical and technological aspects of micro ball end milling with various tool inclinations’’, International Journal of Mechanical Sciences, 134 424-435.
- [9] Kahraman, F., (2009), ‘‘The use of Response Surface Methodology for Prediction and Analysis of surface Roughness of AISI 4140 Steel’’, *Materials and Technology*, (5), 267-270.
- [10] Thiele, J.D., Melkote, S.N., (1999), ‘‘Effect of cutting edge geometry and workpiece hardness on surface generation in the finish hard turning of AISI 52100 steel’’, Journal of Materials Processing Technology, 94: 216–226.
- [11] Güllü A. ve Özdemir A., (2003), ‘‘Prizmatik Parçaların Frezelenmesinde Kesme Parametreleri ile Yüzey Pürüzlülüğü Arasındaki İlişkilerin Deneysel Olarak Bulunması’’, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi 16 (1), 127-134
- [12] Özel, T., Karpaz, Y., (2005), ‘‘Predictive modeling of surface roughness and tool wear in hard turning using regression and neural Networks’’, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 45: 467–479.

- [13] Özçatalbaş, Y., (2000), “Isıl İşlemlerin Cr-Mo Esaslı Bir Çeliğin İşlenebilirliğine Etkisi”, 10. Uluslararası Metalürji ve Malzeme Kongresi Bildiriler Kitabı, İstanbul, 759-765.
- [14] Kopac , J.,Bahor, M. , (1999), “Interaction of the Technological History of a Workpiece Material and the Machining Parameters on the Desired Quality of The surface Roughness of A Product ‘’, Journal of Materials Processing Technology , (62), 327-330.
- [15] Özses B., (2002), “Bilgisayar Sayısal Denetimli Takım Tezgahlarında Değişik İşleme Koşullarının Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü, 6-25
- [16] Çiftçi İ., “Machining of Austenitic Stainless Steels Using CVD Multi Layer Coated Cemented Carbide Tools ‘’, Tribology International, (4),(565-569).
- [17] A. S. Kumar, A. R. Durai, T. Sornakumar: (2006), “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, vol. (173), (151-156), (2006)
- [18] Lin W.S., Lee B.Y., (2001), “Modeling the Surface Roughness and Cutting Forces During Turning’’, *Journal of Material Processing Technology*, (108),286-293.
- [19]. Çakır, C., (2000), “Modern Talaşlı İmalat Yöntemleri’’, Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı Yayın No: 158, Bursa.
- [20] Gökkaya, H, Nalbant, M., (2005), “The Effects of Cutting Tool Geometry and Processing Parameters on The Surface Roughness of AISI1030 Steel’’, Materials and Design 28(2007) 717- 721, Ankara, Turkey
- [21] Atakök, G., (2015), “Kesme Kuvvetleri, Sıcaklık, Titreşim Ses ve Yüzey Pürüzlülüğünün Ölçülmesi, Optik-Koordinat Ölçme, Tersine Mühendislik’’, Ders notları, Marmara üniversitesi.
- [22] Demirtaş M., (2003), “Cnc Torna Tezgâhında İslah Çeliklerinin İşlenmesinde Titreşim ve Yüzey Pürüzlülüğünün Deneysel Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi.
- [23] <https://xometry.pro/tr/makaleler/cnc-torna-genel-bakis/>
- [24] Chou, Y. K., & Song, H. (2003), “Tool geometry effect on finish hard turning surface roughness’’. Journal of Materials Processing Technology, 148(2), 259-268.
- [25] Güllü, A., (1995), “Silindirik Taşlamada İstenen Yüzey Pürüzlülüğünü Elde Etmek için Taşlama Parametrelerinin Bilgisayar Yardımıyla Optimizasyonu’’, *Doktora Tezi*, Gazi Üniversitesi Makine Eğitim Bölümü, Ankara, 1-30.
- [26] Şahin, Y., (2010), “Talaş Kaldırma Prensipleri Cilt 2.’’ Nobel Yayınevi, ISBN:975-591-219-3, İstanbul, s.1-350.

- [27] Baba, F., (2014), ''ST 37, AISI 1040 ve 2379 Malzemelerin Tornalama İşleminde Yüzey Pürüzlülüğünün İncelenmesi'', Lisansüstü tez çalışması, Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, s.16-18. Düzce.
- [28] Thomas, T.R. and Charton, G. (1981), ''Variation of roughness parameters on same typical manufactured surfaces''. *Precision Engineering*, 3(2), 91-96.
- [29] King, T.G., Spedding, T.A. (1982), '' On the relationships between surface profile height parameters' *Wear*, 83, 91-108.
- [30]. Scarr A.J.T. (1991). *Metrology and Precision Engineering*. New York: Mc. Graw-Hill, 56-68.
- [31] Tali, D., (2010), ''Nikel Esaslı Inconel 718 Süper Alaşımının Tornalanmasında Yüzey Pürüzlülüğünün İncelenmesi'', Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [32] Hua Y., Liu Z., (2018), ''Effects of cutting parameters and tool nose radius on surface roughness and work hardening during dry turning Inconel 718'', The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 96 -2421-2430.
- [33] https://www.unistar-tools.com/products_detail/115.html
- [34]https://www.teknikcuttingtools.com/urun_det.php?dil=tr&id=690&kat=21&baslik=93-svjbr.html
- [35] Bayrak, M., (2002), ''Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi ve Uzman Sistemle Karşılaştırılması'', Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi*.
- [36] Zhang X., Li M., Soo S. L., Yang X., (2024), '' Effects of chip breaker groove and tool nose radius on progressive tool wear and behavior when turning GH3536 nickel-based superalloys'', *Tribology International*, 197-109806.
- [37] Gupta M. K., Song Q., Liu Z., Sarikaya M., Mia M., Jamil M., Singla A. K., Bansal A., Pimenov D. Y., Kuntoğlu M., (2021), '' Tribological performance based machinability investigations in cryogenic cooling assisted turning of α - β titanium alloy'', *Tribology International*, 160 - 107032.
- [38] Kumar P. V. A, Patnaik L., Bharati K., Venkatesh V. S. S., Kumar S., (2024), ''Investigating tool wear rate and surface quality of hardened tool steel'': a fuzzy-MARCOS analysis and response surface methodology study, *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, 18 - 4137-4158.
- [39] Rao A.S., (2023), ''Effect of nose radius on the chip morphology, cutting force and tool wear during dry turning of Inconel 718'', *Tribology-Materials, Surfaces & Interfaces*, 17 -62-71.
- [40] Kılıçkap E., Çelik Y.H., Yardımeden A., (2017), ''Karbon Elyaf Takviyeli Plastik Kompozitlerin Tornalanmasında Yüzey Pürüzlülüğü ve Takım Aşınmasına Etki Eden Parametrelerin Araştırılması'', *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 8 , 175-180.

[41] Akkurt, M., (1996), ‘‘Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgâhları’’. Birsen Yayınevi, ISBN.975-511-067-4, İstanbul, s.1- 48.

[42] Nalbant M., Gökkaya H., Sur G., (2007), ‘‘Application of Taguchi method in the optimization cutting parameters for surface roughness in turning’’, Materials and Design, 28 -1379-1385.

[43] Özdemir M., (2019), ‘‘Yüzey Pürüzlülüğü Üzerinde Kesme Parametrelerinin Etki Oranlarının Yüzey Yanıt Yöntemi Kullanarak Analizi’’, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji, 7 639-648.

[44] Shah D., Bhavsar S.,’’ (2020), Effect of tool nose radius and machining parameters on cutting force, cutting temperature and surface roughness’’,–an experimental study of Ti-6Al-4V (ELI). Materials Today: Proceedings, 22 -1977-1986.

[45] Patel V.D., Gandhi A.H., (2019), ‘‘Analysis and modeling of surface roughness based on cutting parameters and tool nose radius in turning of AISI D2 steel using CBN tool’’, Measurement, 138 - 34-38.

[46] Akgün M., Ulaş H.B. Demir H., (2017), ‘‘İmalat Çeliklerinin Tornalanmasında Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğü Üzerine Etkisinin Analizi ve Optimizasyonu’’, Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi (GBAD), 6 ,50-58.

[47] Yılmaz B., Güllü A., (2020), ‘‘AISI 1050 Çeliğın Tornalanmasında Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğü ve Talaş Oluşumu Üzerine Etkilerinin Araştırılması’’, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 26- 628-633.

[48] Kayır Y., Aslan S., Aytürk A., (2013), ‘‘AISI316Ti Paslanmaz Çeliğın Tornalanmasında Kesici Uç Etkisinin Taguchi Yöntemi ile Analizi’’, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 28 -363-372.

[49] Daghini, L. and Nicolescu, C., (2007),’’ Influence of Inserts Coating and Substrate on Toolox 44 Machining’’. Swedish Production Symposium.

[50] <https://maszyneria.com/tr/urun/doosan-lynx-2100-lma-cnc-torna-tezgahi/>

[51] Mitutoyo SJ301 YÜZEY PÜRÜZLÜLÜK ÖLÇÜM CİHAZI Endüstriyel Test, Ölçüm Ve Kontrol Cihazları - Kullanma Kılavuzu - Sayfa:7 - ekilavuz.com

ÖZGEÇMİŞ

Nuray ÜÇÜNCÜ, 2005 yılında Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi bölümünde lisans programını tamamladı. 2006 yılında GYTE Tasarım ve İmalat Mühendisliğinde Yüksek Lisans Programına başladı.

Tamamlayamadığı yüksek lisans programına, 2022 yılında kabul edilen öğrenci affından faydalanıp kayıt yaptırarak Gebze Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümü olarak devam etmektedir.

2006 yılından beri özel sektörde üretim planlama ve proje mühendisi olarak çalışmaktadır.



TEZ ÇALIŞMASI KAPSAMINDA YAPILAN YAYINLAR

Kuram E., Üçüncü N., (2024), “Toolox 44 Çeliğinin Tornalanmasında Kesme Hızı, İlerleme ve Kesici Uç Yarıçapının Takım Aşınması ve Yüzey Pürüzlülüğüne Etkileri”, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji, 12(4): 1006-1017.



EKLER

Ek-A: DOOSAN LYNX2100 CNC Torna Tezgâhının Teknik Özellikleri [50].

CNC Kontrol	DOOSAN FANUC i Series
X eksen	300 mm
Z eksen	510 mm
Tezgâh gücü	15/11 kW
Devir sayısı	6000 rpm
Hidrolik ayna çapı	6’’
Hassasiyet	0,001 mm
Taret-takım bağlama kapasitesi	12

Ek-B: Mitutoyo Surf Test 301 Teknik Özellikleri [51].

Model	Mitutoyo Surf Test 301
İğne uç yarıçapı	2 µm
Ölçme aralığı	350 µm
Tarama hızı	0,25, 0,5 mm/s
Tarama kuvveti	0,75 mN
Filtre	2CR/PC75/ Gaussian
Ölçülebilen parametreler	Ra, Rz, Rmax, Ry, Rt
Örnekleme uzunluğu	0,08 / 0,25 / 0,8 / 2,5 / 8 mm
Ölçme uzunluğu (L)	0,3 – 12,5 mm