

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DOKU OLUŞTURULMUŞ SİLİCİLİ KESİCİ TAKIM İLE
TORNALAMADA DOKU ÖZELLİKLERİNİN İŞLEME
PERFORMANSINA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

Hüseyin Bahri ESKİZARA

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
İmal Usulleri Programı

Danışman
Prof. Dr. Erhan ALTAN

Şubat, 2020

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DOKU OLUŞTURULMUŞ SİLİCİLİ KESİCİ TAKIM İLE TORNALAMADA
DOKU ÖZELLİKLERİNİN İŞLEME PERFORMANSINA ETKİLERİNİN
İNCELENMESİ**

Hüseyin Bahri ESKİZARA tarafından hazırlanan tez çalışması 11.02.2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İmal Usulleri Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Erhan ALTAN
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Erhan ALTAN, Danışman

Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Orhan Çakır, Üye

Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Yusuf Kaynak, Üye

Marmara Üniversitesi

Danışmanım Prof. Dr. Erhan ALTAN sorumluluğunda tarafımda hazırlanan Doku Oluşturulmuş Silicili Kesici Takım İle Tornalamada Doku Özelliklerinin İşleme Performansına Etkilerinin İncelenmesi başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Hüseyin Bahri ESKİZARA

İmza

Canım aileme

TEŞEKKÜR

Bu tezin ve ürettiğimiz diğer bilimsel çalışmaların gerçekleştirilmesinde bana her türlü destekte bulunan, beni hedeflerim için cesaretlendiren ve akademik hayata hazırlayan değerli büyüğüm ve hocam, Sayın Prof. Dr. Erhan ALTAN' a, teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam boyunca bana hep destek olan ve emeklerini esirgemeyen araştırma görevlisi hocam, Sayın Uğur EMİROĞLU' na, çalışmama katkılarından dolayı Pars Lazer Teknoloji Sistemleri Savunma Sanayi ve Tic. Ltd. Şirketi' nin sahibi Emrah Koçgazi' ye teşekkür ederim.

Her zaman yanımda olan canım aileme ve özellikle beni ben yapan, bugünlere getiren sevgili Dayım' a sonsuz teşekkür ederim.

Hüseyin Bahri ESKİZARA

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ	viii
KISALTMA LİSTESİ	ix
ŞEKİL LİSTESİ	x
TABLO LİSTESİ	xiv
ÖZET	xv
ABSTRACT	xviii
1 Giriş	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.2 Tezin Amacı.....	14
1.3 Hipotez.....	16
2 Yüzey Dokulandırma	17
2.1 Giriş.....	17
2.2 Yüzey Dokulandırma İşleminin Tarihi.....	17
2.3 Kesici Takımlarda Yüzey Dokulandırma İşlemi ve Etkileri.....	18
2.3.1 Yüzey Dokulandırma İle Performans Artış Mekanizması.....	18
2.3.2 Yüzey Dokulandırma İşleminin Talaşlı İşleme Karakteristiğine Etkileri.....	20
2.4 Kesici Takımlara Uygulanan Dokulandırma Yöntemleri.....	26
2.4.1 Lazer İle Dokulandırma.....	26
2.4.2 Sertlik Ölçüm Cihazlarıyla Dokulandırma.....	26
2.4.3 Abrazif Kumlama İle Dokulandırma.....	27
2.4.4 Abrazif Su Jeti İle Dokulandırma.....	27
2.4.5 Magnetorheological Sıvı İle Dokulandırma.....	28
2.4.6 Mikro Taşlama İle Dokulandırma.....	28
2.4.7 Odaklanmış İyon Işını İle Dokulandırma.....	29
2.4.8 Vibro Mekanik İşleme İle Dokulandırma.....	29

2.4.9	Mikro Döküm İle Dokulandırma.....	29
2.4.10	Mikro EDM İle Dokulandırma.....	29
2.4.11	Elektrokimyasal İşleme İle Dokulandırma	31
3	Silici Geometrilili Kesici Takımlar	32
3.1	Silici Takım Geometrisi.....	32
3.2	Silici Geometrilili Takımlarla Yapılan Bazı Çalışmalar	36
4	Kesici Takımlarda Aşınmalar	41
4.1	Kesici Takımlarda Aşınma.....	41
4.2	Kesici Takımlarda Aşınma Mekanizmaları.....	42
4.2.1	Abrazif Aşınma.....	42
4.2.2	Adezif Aşınma	42
4.2.3	Difüzyon Aşınması.....	43
4.2.4	Oksidasyon Aşınması	44
4.3	Kesici Takımlarda Aşınma Türleri.....	44
4.3.1	Krater Aşınması	44
4.3.2	Serbest Yüzey Aşınması	45
4.3.3	Yığma Ağız Oluşumu.....	47
4.3.4	Burun Yarıçapı Aşınması.....	47
4.3.5	Isıl ve Mekanik Çatlamlar	48
4.3.6	Çentik Aşınması	48
4.3.7	Plastik Deformasyona Bağlı Aşınma	49
4.3.8	Talaş Vurması İle Takım Aşınması	49
4.3.9	Kenar Çentiklenmesi	49
4.4	Takım Kırılması.....	49
5	Deneysel Çalışmalar	50
5.1	Giriş	50
5.2	Deneylerde Kullanılan Kesici Takımlar, Kater ve İş Parçası Malzemesi	51
5.2.1	Deneylerde Kullanılan Takım Uçları ve Kater	51
5.2.2	İş Parçası	52
5.3	Deneylerde Kullanılan Tezgah ve Yardımcı Aygıtlar	53
5.4	Ön Deneyler	57
5.4.1	Amaç.....	57
5.4.2	Deney Şartları ve Uygulanması	57

5.4.3	Yüzey Dokulandırma ve Numuneler.....	58
5.4.4	Talaş Kaldırma Şartları	58
5.4.5	Ön Deney Çıktıları.....	59
5.4.6	Ön Deney Sonuçları.....	64
5.5	Deneyler	65
5.5.1	Amaç.....	65
5.5.2	Deney Şartları ve Uygulanması	66
5.5.3	Yüzey Dokulandırma ve Numuneler.....	68
5.5.4	Deney Çıktıları.....	70
6	Sonuç ve Öneriler	79
	Kaynakça	82
	Tezden Üretilmiş Yayınlar	88

SİMGE LİSTESİ

a_p	Kesme derinliği
D	İş parçası çapı
d_g	Doku genişliği
E_R	Yüzey pürüzlülüğündeki sapma değeri
F_f	Sürtünme kuvveti
F_r	Bileşke kuvvet
F_x	Radyal kuvvet
F_y	Kesme kuvveti
F_z	İlerleme kuvveti
f	İlerleme
h_c	Talaş kalınlığı
l_f	Takım-talaş temas boyu
n	Devir sayısı
R_a	Yüzey pürüzlülüğü aritmetik ortalaması
R_t	Toplam profil yüksekliği
R_z	Maksimum profil yüksekliği (ortalama)
r_w	Wiper köşe yarıçapı
VB	Serbest yüzey aşınması değeri
V_c	Kesme hızı
η	Talaş hacmi
φ	Kayma açısı
γ_0	Talaş açısı
τ_c	Kayma direnci

KISALTMA LİSTESİ

AISI	American Iron and Steel Institute (Amerikan Demir ve Çelik Enst.)
Al ₂ O ₃	Alüminyum oksit
AWJM	Abrazif Su Jeti İle İşleme
C	Karbon
Ca	K _{al} siyum
CaF ₂	Kalsiyum Florit
CNC	Computer Numerical Control
Cr	Krom
CVD	(Ti(C,N)+Al ₂ O ₃ +TiN) Kesici Takım Kaplaması
°C	Celsius
EDM	Elektro Discharge Machining (Elektro Erozyon)
F	Flor
HRC	Rockwell Sertliği
ISO	International Organization for Standardization
Mn	Mangan
Mo	Molibden
MoS ₂	Molibden Disülfid
MQL	Minimum Quantity Lubrication (Minimum Miktarda Yağlama)
N	Azot
Ni	Nikel
P	Fosfor
PCBN	Polycrystalline Cubic Boron Nitride
S	Kükürt
Si	Silisyum
S/N	Sinyal/Gürültü, db
Ti	Titanyum
TiN	Titanyum Nitrür
V	Vanadyum
W	Tungsten
WS ₂	Tungsten Disülfid

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Kesme Kuvvetinin Doku Derinliğine Göre Değişimi [14]	3
Şekil 1.2 Dokulu Takımın, Takım Talaş Yüzeyi Teorik Görüntüsü.....	4
Şekil 1.3 Serbest Yüzeyde (STT-F) ve Talaş Yüzeyinde (STT-R) Dokulandırma İşleminin Kesme Kuvvetlerine Etkileri [21]	6
Şekil 1.4 Farklı Doku Tiplerinin Kesme Sıcaklığına Etkileri (STT-0: Düz (Doğru Şeklinde) STT-3: Eğimli (Açılı) STT-2: Dalgalı STT-1: Eliptik) [16].....	7
Şekil 1.5 Farklı Özellikteki Takımların Farklı Kesme Hızlarındaki İşleme Sıcaklıkları (YS8: Dokusuz, CFT: Dokulandırılmış, CFTWS: Dokulandırılmış ve Kaplamalı) [18].....	8
Şekil 1.6 Dokusuz (a) ve Farklı Enerjilerle Dokulandırılmış Takımlarda (AT-1, AT-2, AT-3) Adezyon Yüksekliği (b, c, d) [20].....	10
Şekil 1.7 Serbest Yüzey Aşınmasının Kesme Zamanına Göre Değişimi (a), Takım Ömrünün Kesme Hızına Göre Değişimi (b) [21]	11
Şekil 1.8 Kayma Açısının Doku Derinliği İle Değişimi [14]	12
Şekil 1.9 Talaş Kalınlığının Kesme Hızıyla Değişimi [21]	13
Şekil 1.10 Farklı Kesme Hızlarındaki Ra Değerleri [20]	13
Şekil 2.1 Yüzey Dokulandırma İşleminin Şematik Görüntüleri (a) [16], (b) [37]	19
Şekil 2.2 Ortogonal İşlemede Kuvvet Diyagramı [16]	21
Şekil 2.3 Dokulandırmanın İlerleme ve Kesme Kuvvetlerine Etkileri [10]	22
Şekil 2.4 İş Parçası Yüzey Pürüzlülüğünün (a) Kaplamasız Takım ve (b) TiAlN Kaplı Takımlarla İşlemede Kesme Hızı İle Değişimi (NT: Dokusuz, PE.T: Kesici Kenara Göre Dik, PA.T: Kesici Kenara Göre Paralel, CR.T: Kesici Kenara Göre Açılı) [43]	23
Şekil 2.5 İş Parçasının İşlenmesi Sırasından Kesme Kenarında Oluşan Sıcaklık Değişimi [44].....	24
Şekil 2.6 Femtosaniye (a) [60] Fiber Lazer (b) İle Elde Edilmiş Dokular	26

Şekil 5.1 Ön Deneylerde Kullanılan Geleneksel Geometrilili Takım	51
Şekil 5.2 Deneylerde Kullanılan Wiper Geometrilili Takım	51
Şekil 5.3 Deneyde Kullanılan Kater	52
Şekil 5.4 İş Parçası	53
Şekil 5.5 Deneylere Hazırlanmış Parçanın Tezgaha Bağlanmış Hali.....	53
Şekil 5.6 CNC Torna Tezgahı.....	53
Şekil 5.7 Deney Düzeneği	54
Şekil 5.8 Kesme Kuvvetleri İçin Kullanılan Kontrol Ünitesi Ve Bilgisayar	55
Şekil 5.9 Dinamometrenin Tezgahtaki Bağlantısı	55
Şekil 5.10 İş Parçası Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Cihazı	56
Şekil 5.11 SOIF Model Mikroskop	56
Şekil 5.12 Femtosaniye Lazer (a), Fiber Lazer (b)	57
Şekil 5.13 Dokulandırılmış Kesici Takımların Mikroskop Görüntüleri	58
Şekil 5.14 NT, PT ve PPT Takımlarına Ait Serbest Yüzey Aşınmaları Grafiği	59
Şekil 5.15 NT, PT ve DPT Takımlarına Ait Serbest Yüzey Aşınmaları Grafiği.....	60
Şekil 5.16 Takımların Belirli Zamanlardaki Serbest Yüzey Aşınma Miktarları	61
Şekil 5.17 İş Parçası Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümleri	62
Şekil 5.18 0,3 mm'ye Kadar NT ve DPT Takımlarının Serbest Yüzey Aşınması Grafiği	63
Şekil 5.19 DPT Takımının, 6,15, 37 ve 52,5 dk Sonundaki Takım Aşınmaları.....	64
Şekil 5.20 Deney Düzeneği	67
Şekil 5.21 Yüzey Dokulandırma Uygulanmış Wiper Geometrilili Kesici Takımlar	69
Şekil 5.22 Dokulu Takımların 180 µm'ye Kadar Serbest Yüzey Aşınması	70
Şekil 5.23 Paralel Dokulu Takımların 180 µm'ye Kadar Serbest Yüzey Aşınması	71
Şekil 5.24 Dik Dokulu Takımların 180 µm'ye Kadar Serbest Yüzey Aşınması	71
Şekil 5.25 45° Dokulu Takımların 180 µm'ye Kadar Serbest Yüzey Aşınması	72

Şekil 5.26 Sinyal/gürültü Grafiği	73
Şekil 5.27 No 1, No 10 ve No 11 Takımlarının Serbest Yüzey Aşınması	74
Şekil 5.28 Takımların Serbest Yüzey Aşınmaları Görüntüleri.....	74
Şekil 5.29 Kesme Kuvvetleri Grafiği.....	75
Şekil 5.30 İş Parçası Ra Yüzey Pürüzlülüğü Değerleri	76
Şekil 5.31 İşlemeler Sonucu Oluşan Talaşlar	78

TABLO LİSTESİ

Tablo 5.1 AISI 4140 Malzemesinin Kimyasal Bileşenleri	52
Tablo 5.2 Taguchi L9 (3^3) Ortogonal Deney Tasarımı	67
Tablo 5.3 Kesme Parametreleri	68
Tablo 5.4 Sinyal/gürültü Yanıt Tablosu.....	72

Doku Oluşturulmuş Silicili Kesici Takım İle Tornalamada Doku Özelliklerinin İşleme Performansına Etkilerinin İncelenmesi

Hüseyin Bahri ESKİZARA

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Erhan ALTAN

Talaşlı işlemede, talaş oluşumu sırasında mekanik enerji ısı enerjisine dönüşmektedir. Gelişen teknoloji ile birlikte modern endüstrilerde kullanılan iş parçası malzemeleri de değişim göstermiş, talaşlı işleme açısından yüksek sertlik ve küçük ısı iletkenliği gibi olumsuz özellikleri bulunan malzemelerin kullanımı artmıştır. Bu tür özelliklere sahip malzemelerin işlenmesi sırasında normalden daha fazla ısı açığa çıktığından kesici takım ömürleri azaldığı bilinmektedir.

Kesici takımların verimliliklerini ve sürdürülebilirliklerini arttırma konularında araştırmacılar çeşitli yöntemler denemektedir. Bu yöntemlerden endüstride en yaygın kullanılanı kesme sıvısı ile işlemedir. Kesme sıvısı kullanımıyla hem işleme sırasında oluşan ısı takımdan uzaklaştırılır hem de bu sıvıların yağlayıcı ve soğutucu özellikleri sayesinde takım ömründe artış sağlanır. Kesme sıvılarının bu olumlu özelliklerine karşın atıkların bertaraf maliyetleri, ekolojik açıdan yarattığı sorunlar ve insan sağlığına verdiği zararlar gibi olumsuz etkileri vardır. Sürdürülebilir üretim için takım ömrü, sürtünme, kesme kuvvetleri ve iş parçası yüzey pürüzlülüğü gibi konularda kesici takımların iyileştirilmeleri gerekmektedir.

Kesici takımlarda denenen iyileştirmelerden bazıları, yeni kesici takım malzemelerinin geliştirilmesi, yeni takım kaplamalarının uygulanması ve takım geometrisindeki çeşitli değişikliklerdir. Son zamanlarda çalışılan bir konu ise talaşlı işleme sırasında takım ile iş parçası ve takım ile talaş arasındaki sürtünmeyi azaltarak, takım ömrünü arttırmayı amaçlayan takım yüzeyi dokulandırma işlemidir. Temel olarak bu işlem, takımın yüzey bütünlüğünü lazer, mikro EDM, mekanik taşlama vb. yöntemlerle değiştirerek takım ömrü, kesme kuvvetleri gibi konularda iyileştirmeler sağlamayı hedeflemektedir.

Dokulandırılmış takımların işleme sırasında oluşan kesme kuvvetlerine, takım aşınmalarına, iş parçası yüzey pürüzlülüğüne ve talaş oluşumlarına etkileri konularında literatürdeki çalışmalar kısıtlıdır. Yüzey dokulandırma işlemi uygulanmış takımların talaş kaldırmaya etkilerinin incelenmesi literatüre ve imalat endüstrisine takım verimliliği açısından önemli katkılar sağlayacaktır.

Bu çalışmada öncelikle bu tezin konusu olan yüzey dokulandırma işlemiyle ilgili literatür özeti sunulmuş devamında yüzey dokulandırma, yüzey dokulandırmanın etkisi, silici (wiper) takım geometrisi ve takım aşınmaları konularında kısaca bilgiler verilmiştir. Çalışmanın deneysel kısmında ise, literatürdeki verileri doğrulamak ve asıl deneyler için bilgi toplamak adına, bir dizi ön deneyler yapılmıştır. Bu deneyler için iki farklı lazer işleme yöntemiyle üç adet geleneksel geometrili takım dokulandırılarak, doku oluşturulmamış takım ile karşılaştırılıp doku tipinin ve doku derinliğinin serbest yüzey aşınmasına etkileri incelenmiştir. Ayrıca dokulandırma işleminin iş parçası yüzey pürüzlülüğüne ve talaş oluşumuna etkileri de araştırılan konular arasındadır. Ön deneylerde elde edilen sonuçlara göre literatürdeki sonuçlara paralel olarak kesici takım serbest yüzeyinde doku bulunması takım ile iş parçası arasındaki temas yüzeyini azaltarak takım ömrünü önemli ölçüde arttırmış, dahası doku tipinin ve derinliğinin serbest yüzey aşınmasında önemli etkilerinin olduğu bulunmuştur. Dokulandırılmış takımlar ile talaş kaldırma sonucu iş parçası yüzey pürüzlülükleri doku derinliğine göre değişim göstermiştir. Son olarak talaş formları karşılaştırmasında kesici kenara göre paralel dokulu takımların işlemeye girişte ve çıkışta oluşturduğu talaşlarda talaş kalınlığı incelmış talaşta uzama meydana gelmiştir.

Tezin asıl konusu olan deneylerde ise, doku tipi, dokular arası genişlik ve lazer gücü parametreleriyle Taguchi L9 (3^3) deneysel tasarım yöntemine göre dokuz adet silici geometrili takım dokulandırılarak en uygun doku parametresi belirlenmiştir. Ayrıca tüm dokulandırılmış takımlar için serbest yüzey aşınmaları, iş parçası yüzey pürüzlülük değerleri ve talaş formları incelenmiştir. Son olarak dokusuz referans takım ile doku tiplerine göre en iyi serbest yüzey aşınmalarına sahip takımlarla işleme sırasında oluşan kuvvetler karşılaştırılmıştır. Deney sonuçlarına göre silici geometrili takımların serbest yüzeyinde doku oluşturulmasının uygun parametrelerle takım ömrünü yaklaşık %27'ye kadar arttırdığı fakat iş parçası yüzey pürüzlülüğü açısından olumsuz etkiye sahip olduğu görülmüştür. Oluşan kuvvetlere bakıldığında kesme ve ilerleme kuvvetleri dokulandırma işleminden etkilenmezken, radyal kuvvetlerde artış görülmüştür. Son olarak dokulandırılmış takımlarla malzeme kaldırma sonucu oluşan talaşların benzerlik gösterdiği görülmüş, dokusuz takımın aksine işlemeye girişte ve çıkışta oluşan talaşların talaş kalınlığında incelme ve talaş boyunda uzama meydana gelmiştir.

Anahtar Kelimeler: Doku oluşturulmuş takım, wiper geometrili takım, serbest yüzey aşınması, takım ömrü.

Investigation Of The Effects Of Texture Properties On Machining Performance In Turning With Textured Wiper Cutting Tool

Hüseyin Bahri ESKİZARA

Department of Mechanical Engineering

Master Thesis

Advisor: Prof. Dr. Erhan ALTAN

In machining, mechanical energy transforms into thermal energy. With the advancing technology, the workpiece materials used in modern industries have also changed and the usage of materials with negative properties such as high hardness and low thermal conductivity has increased. During the machining of such materials, tool life decreases because of more heat releasing than normal.

Researchers are trying various methods to increase the productivity and sustainability of cutting tools. Of these methods, the most widely used in the industry is machining with the cutting fluids. With the usage of cutting fluids, both the generated heat during machining decreases and the lubrication effects of these fluids increases the tool life. Despite these positive effects of cutting fluids, they are harmful to ecology and human health and also they have expensive disposal costs. For the sustainable production, cutting tools have to be improved in terms of tool life, cutting forces and workpiece surface roughness values.

Some of the improvements that have been tried on cutting tools are the development of new cutting tool materials, the application of new tool coatings, and various

changes in tool geometry. A recent research topic is the tool surface texturing, which aims to increase tool life depending decrease the friction between tool and workpiece. Basically, this process aims to change the surface integrity of the tool by laser, micro EDM, mechanical grinding etc. methods and to improve the tool life and cutting forces.

Studies in the literature on the effects of textured tools during machining are limited. Investigation of the effects of surface texturing tools in machining will make significant contributions to literature and manufacturing industry.

In this study, firstly the literature summary about the surface texturing process which is the subject of this thesis is presented and then surface texturing, effect of surface texturing, wiper tool geometry and tool wear subjects are explained. In the experimental part of the study, a series of preliminary experiments were conducted to confirm the data in the literature and to gather information for the actual experiments. For these preliminary experiments, three conventional tools were textured by using two different laser processing methods, and the effects of texture type and depth on flank wear were investigated. In additon, the effects of texturing on Ra value of workpiece and chip formations were also investigated. According to the results obtained in the preliminary experiments, in parallel with the results in the literature, the surface texture on the cutting tool flank face decreased the contact area between tool and workpiece and significantly increased the tool life. Moreover, it was found that the texture type and depth had important effects on the flank wear. The surface roughness of the workpiece as a result of machining with textured tools varied according to the texture depth. In addition, it was seen that there was no visible changes on chip forms but during machining on entering and exiting of both parallel textured tools, irrespective of depth, different chip formation occured.

In the actual experiments, which are the main subject of the thesis, nine wiper tools were textured according to Taguchi L9 (3^3) experimental design method and the most appropriate texture parameters were determined with texture type, width and laser power parameters. Moreover, flank wear, workpiece surface roughness values and chip forms were investigated for all textured wiper tools. Finally, the generated forces during machining were compared with the non-textured reference tool and the tools with the best free surface wear according to the texture types. According

to the results of the experiment, it has been seen that the surface texturing on the flank face of wiper tools increased the tool life up to 27% with suitable parameters but it was observed that surface texturing has negative effect on workpiece average surface roughness. In terms of the generated forces during machining with textured wiper tools, the cutting and feed forces were not affected by the texturing process, whereas radial forces increased. Finally, it was observed that the chip forms showed similarity during machining with all cutting tools but during machining on entering and exiting of textured wiper tools, different chip formation occurred.

Keywords: Textured tool, wiper tool, flank wear, tool life.

1.1 Literatür Özeti

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte, yüksek erime noktasına ve küçük ısı iletkenliğine sahip yeni malzemeler, modern endüstrilerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, bu malzemeler işleme sırasında çeşitli zorluklar yaratır. Bu tür malzemelerin küçük ısı iletkenliği, kesme bölgesinde hızlı bir sıcaklık artışına sebep olmakta ve takım aşınmasını arttırmaktadır [1]. Talaşlı işlemede kesme sıvılarının kullanılması talaş ve takım arasındaki sürtünmeyi dolayısıyla açığa çıkan ısıyı azaltır. Ayrıca aşınma sırasında oluşan talaş kalıntılarını işleme bölgesinden uzaklaştırmaya yardımcı olur.

Talaşlı işleme açısından çeşitli faydaları olmasına karşın, kesme sıvısının kullanımı beraberinde ekolojiye ve insan sağlığına olumsuz etkiler getirmektedir. Bu sıvılar makine operatörleri arasında cilt ve akciğer hastalıklarına neden olabilir [2]. Yağlayıcı sıvı, yüzey aktif madde ve aşındırıcı madde karışımlarının kullanılması çeşitli meslek hastalıklarına yol açar [3]. Tüm bu olumsuz etkilerine ek olarak, işletmelere atık yağlayıcıların bertaraf edilmesi ciddi maliyetler çıkartmaktadır. Bu nedenle, hem maddi hem de çevresel sorunlar göz önüne alındığında sürdürülebilir üretime geçmeye güçlü bir ihtiyaç olduğu söylenebilir.

Son yıllarda, endüstrinin geleneksel yağlamadan minimum miktar yağlamaya (MQL) geçmesi için çeşitli araştırmalar yapılmaktadır. Fakat talaşlı işlemede yağlayıcı sıvı kullanımından tamamen kaçınılması anlamına gelen kuru işleme ise, operatörler için sağlık sorunları, atık bertarafı ve çevresel sorunlar gibi birçok konuda kesme sıvısı ile işlemeden daha olumlu sonuçlara sahiptir. Fakat talaşlı işleme sırasında yüksek sürtünme ve dolayısıyla takım ile iş parçası arasında fazlaca aşınma meydana gelmektedir. Bu nedenle kuru işleme sırasında kesme sıvısı ile işlemeye nazaran takım ömründe azalma meydana gelir. Konu ile ilgili yapılan bir

çalışmada, kesme sıvısı maliyetinin toplam işleme maliyetinin yaklaşık %16'sı olduğu bildirilmiştir [4]. Ayrıca, işleme maliyetinin son ürün maliyetinin içindeki payı işletmelerin kar edebilmesi için belirli sınırları geçmemelidir [5]. Bu veriler ışığında, kuru işlemeye bağlı takım ömründe azalmaya bağlı oluşan maliyet, kesme sıvıları ile ilişkili olan çok daha yüksek maliyetlere göre daha ucuzdur. Özetle, yukarıda bahsedilen operatör hastalıkları, maliyetler ve kesme sıvılarının çevre dostu bir şekilde bertaraf edilmesi gibi sorunlar, kuru işlemenin yaygınlaşmasıyla azaltılabilir.

Her ne kadar kuru işlemeyle birlikte kesme sıvısı maliyetleri ortadan kaldırılrsa da takım ömrünün azalmasının talaşlı imalat sektöründe büyük bir sorun olmaya devam ettiği görölmektedir. Bu soruna karşılık kesici takımların olabilecek en üst düzeyde verimli kullanılması büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle takım ömrü, aşınma, sürtünme ve buna bağlı ısı oluşumu gibi konular talaşlı imalat ile ilgilenen araştırmacıların odak noktalarından birkaçıdır.

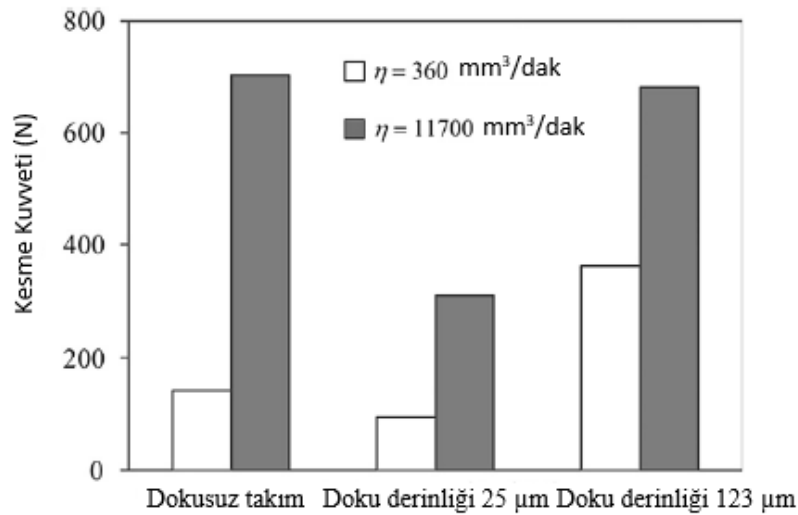
Kuru işlemenin yukarıda bahsedilen olumsuz özelliklerini azaltmak ve daha temiz üretim için, talaşlı imalatla bir çok sürdürülebilir, diğer bir deyişle verim arttırıcı teknikler denenmiştir [6]. Kesici takımların verimliliğini arttırmak adına yeni kesici takım malzemelerinin geliştirilmesi, yeni takım kaplamalarının uygulanması ve takım geometrisindeki değişiklikler takım tabanlı verimlilik arttırıcı yöntemlerden bazılarıdır. Takım yüzeyinin dokulandırılması ise, yüzey bütünlüğünü (topografyasını) değiştirerek çevre ve insan dostu işleme imkânı sağlayan yeni ve sürdürülebilir bir üretim metodolojisi olarak ortaya çıkmaktadır.

Sürtünme ve aşınmanın gelişmiş ölkelerin gayrisafi milli hasılasının % 5'i kadar ekonomik bir maliyete yol ağtığı bildirilmiştir [7]. Araştırmacılar, yüzey dokulandırma ile çeşitli makine elemanlarında yük taşıma kapasitesinin ve daha iyi yağlamanın sağlanabileceğini bulmuşlardır [8]. Örnek olarak, yüzey dokulandırma ile piston segmanlarında, piston pimlerinde ve hidrodinamik rulmanlarda aşınma ve sürtünmeyi azalttığı görölmüştür [9]. Bu yöntem son zamanlarda, kesici takımların yüzeylerinin dokulandırılması için de kullanılmıştır. Kesici takımlar açısından yüzey dokulandırma, takım iş parçası ve takım talaş arasında tribolojik performansı iyileştirmek için yüzeyin bütünlüğündeki değişiklik anlamına gelir.

Araştırmacılar tarafından, takım iş parçası temas bölgesinin erişilemez alanlarında yağlama sağlamak ve takım üzerindeki talaş temas bölgesinin alanını azaltmak için, mikro ve/veya nano dokulu kesici takımların geliştirilmesine odaklanılmıştır.

Kesici takım yüzeyinde doku oluşturmak için mikro elektro erozyon (EDM) [10], mekanik taşlama [11], aşındırıcı su jet ile işleme (AWJM) [12] ve lazer ile işleme [13] gibi çeşitli yöntemler kullanılmıştır. Araştırmacılar, kesici takım yüzeyinin dokulandırılmasıyla takım iş parçası ve takım talaş arasındaki yapışmayı azaltmayı, aşınma direncini arttırmayı, kesme kuvvetlerinde iyileşmeyi, kesme sıcaklığı ve sürtünme katsayısında azalma gibi kazanımlar sağlamayı amaçlamışlardır.

2013 yılında yapılan bir çalışmada, titanyum alaşımı işlerken farklı malzeme giderme miktarları için geleneksel geometrili takıma kıyasla mikro dokulu takımla işleme sırasında kesme kuvvetlerinde %32.7'lik bir azalma olduğu gözlemlenmiştir. (Şekil 1.1). Araştırmacılar, yine aynı şekilde doku derinliği 25 μm olduğunda kuvvetlerde önemli ölçüde düşüşün gözlemlendiğini bildirmişlerdir. Fakat doku derinliğinin artmasının (123 μm), takım talaş yüzeyi ile talaşın arasında daha fazla temas alanına ve dolayısıyla yüksek kesme kuvvetlerine neden olduğu sonucuna varmışlardır [14].

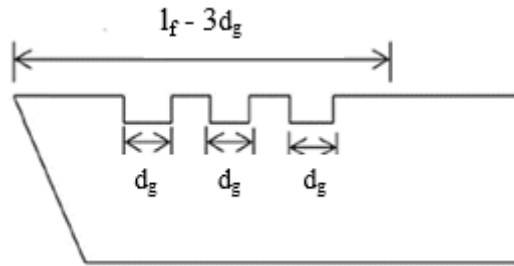


Şekil 1.1 Kesme Kuvvetinin Doku Derinliğine Göre Değişimi [14]

2011 yılında yapılan bir çalışmada araştırmacılar, alüminyum alaşımı A6061-T6'yı işlerken genişliği daha küçük fakat derinliği daha büyük dokunun, yağlama etkinliğini arttığını bulmuşlardır [15]. Bu eğilim, sığ derinliğe sahip olan dokunun

işleme sırasında mikro talaşlar ile kolayca doldurulacağı şeklinde açıklanabilir. Bununla birlikte, eğer dokunun derinliği daha fazla olursa, sadece yağlama maddesi depolama kapasitesi artmaz, aynı zamanda mikro talaşların toplanması için daha fazla alan sağlar. Bu nedenle, doku derinliği sığ olan takımda mikro talaşlar kolayca dokunun içini hemen dolduracak ve takım talaş arayüzü arasında daha fazla sürtünme kuvveti oluşturacaktır. Böylece elde edilen verilere göre, daha fazla derinliğe sahip olan dokuya kıyasla sığ dokunun yüksek kesme kuvvetleri oluşturduğu bulunmuştur.

Çeşitli araştırmacılar, talaşlı işleme sırasında kesme kuvveti ve takım talaş temas boyu ile işleme sırasında oluşan kuvvetleri azaltmak adına çalışmalarda bulunmuşlardır [16–18]. MoS_2 ile doldurulmuş mikro dokular, sertleştirilmiş çeliğin tornalanması sırasında kesme kuvvetlerini azaltmıştır. Bu işlem ile takım talaş yüzeyi ile talaş arasında kayganlaştırıcı bir film elde etmişlerdir. Dahası, mikro dokuların talaş ve takım arasındaki etkili temas alanını azalttığı ve bunun da kesme kuvvetlerinin azalmasını sağladığını bulmuşlardır. Şekil 1.2’de talaş yüzeyi dokusuz takıma göre dokulandırılmış takımın talaş temas boyundaki değişim şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 1.2 Dokulu Takımın, Takım Talaş Yüzeyi Teorik Görüntüsü

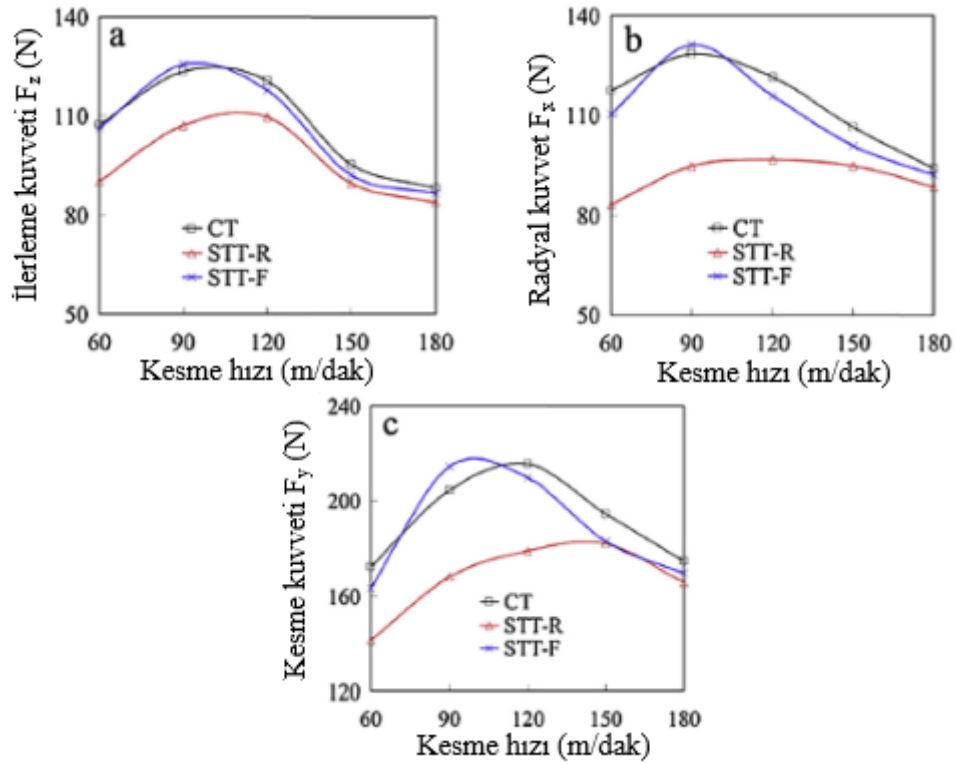
Bir diğer çalışmada, talaş yüzeyi nano dokulu takımın, mikro dokulu takıma göre alüminyum alaşımı malzemeyi işlerken kesme kuvvetlerini azaltmada daha etkili olduğu bulunmuştur. Takım yüzeyine malzeme yapışmasının nano dokularla karşılaştırıldığında mikro dokulu bir yüzeyde daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Kesici kenara göre dikey yönde yönlendirilmiş dokuların paralel dokulardan daha iyi performans gösterdiği bildirilmiştir [19]. Bunun nedeninin, iş malzemesinin paralel dokulardaki plastik deformasyonu, ciddi boyutlarda yapışma ve

dolayısıyla daha yüksek kesme kuvvetlerinin ortaya çıkması olarak belirtilmiştir. Fakat kesici kenara göre dik yönlendirilen dokularla daha sınırlı temas alanı oluşmuş ve bu nedenle sürtünme kuvvetlerinde azalma gözlemlenmiştir.

2014 yılında yapılan çalışmada araştırmacılar, sertleştirilmiş çeliğin işlenmesinde lazerle dokulandırılmış seramik kesici takımların etkilerini incelemişlerdir. Yazarlar, 1, 2 ve 3 mJ değerlerinde farklı atım (pulse) enerjisi ile dokulandırılan seramik takımları incelemişler ve seramik takım ile lazer arasındaki etkileşimin atım (pulse) enerjisinden önemli ölçüde etkilendiği bulmuşlardır. Düşük atım (pulse) enerjisiyle dokulandırma sırasında, yüzeyde küçük çaplı değişimler olmuş fakat yüksek atım (pulse) enerjisi kullanıldığında oluşan şiddetli ablasyon, seramik takımdan bir miktar parçanın kendiliğinden buharlaşmasına neden olmuştur. Yüksek atım (pulse) enerjisi için böyle bir olgunun, doku deseninde öngörülemez bir bozulma ile sonuçlandığını bildirmişlerdir [20].

Çeşitli araştırmacılar farklı yıllarda, serbest yüzeyi dokulandırılmış takımın yüksek kesme hızlarında, etkisiz bir performans gösterdiğini bulmuşlardır [10, 18, 21]. Şekil 1.3'te serbest yüzeyi ve talaş yüzeyi dokulandırılmış takımların kesme kuvvetlerine etkilerinin grafiği verilmiştir [21]. Bu, sertleştirilmiş çeliğin işlenmesi sırasında kesme hızındaki artışla yağlama etkinliğinin azalmasının nedeni olarak gösterilmiştir. Ayrıca talaş yüzeyindeki dokunun araştırmacılar tarafından açıklandığı üzere sertleştirilmiş çeliğin tornalanması sırasında kesme kuvvetlerinin değişkenliğini azalttığı bulunmuştur [10]. Bunun nedeni, dokulu kesici takımın, dokusuz takıma kıyasla daha tutarlı takım talaş temas uzunluğunu sağlaması olarak belirtilmiştir.

Farklı araştırmacılar, sertleştirilmiş çeliğin, katı yağlayıcı kullanılarak işlenmesinde, talaş yüzeyi dokulandırılmış takımın, serbest yüzeyi dokulandırılmış ve dokusuz takıma kıyasla daha etkili olduğunu bildirmişlerdir [2, 21].



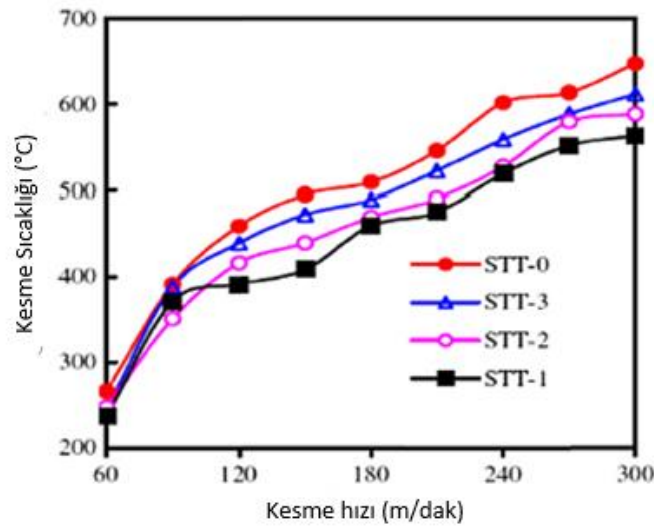
Şekil 1.3 Serbest Yüzeyde (STT-F) ve Talaş Yüzeyinde (STT-R) Dokulandırma İşleminin Kesme Kuvvetlerine Etkileri [21]

Wenlong vd. ise MoS_2 ve CaF_2 'nin mikro EDM ile elde edilen dokulara doldurulduğundaki etkisini karşılaştırmıştır [22]. 100 m/dak'ya kadar olan kesme hızı için MoS_2 'nin sertleştirilmiş çelik işlenirken kuvvet azaltmada üstün olduğu bulunmuştur. Bununla birlikte, 100 m/dak'nın üzerinde CaF_2 'nin daha iyi performans gösterdiği ispatlanmıştır. Bunun nedeninin, 450 °C'nin üzerindeki sıcaklıkta MoS_2 'nin, sürtünmeyi arttıran ve dolayısıyla yüksek kesme kuvvetleri geliştiren MoO_3 oluşturmak üzere oksitlenmeye başlaması olabileceği düşünülmüştür.

Xie vd. 2013 yılında yaptıkları çalışmada mikro dokulu kesici takımın ucunda oluşan sıcaklığın dokusuz takımdan daha düşük olduğunu bulmuşlardır [14]. Yazarlar çalışmalarının devamında, oluşan talaşların takım üzerinden daha az sürtünmeyle atılması ve titanyum temelli alaşımı işlerken sıcaklığın 500 °C'nin üzerine çıkmasını önlemek, aynı zamanda ısının talaş yüzeyinden daha kolay atılmasını sağlamak için kesici takımların talaş yüzeylerine mikro dokular

uygulamışlardır. Bu durum, dokusuz takıma göre daha iyi ısı transferiyle sonuçlanmış ve dokulu kesici takımlarda aerodinamik yağlama sağlamıştır.

Jianxin vd. 2012 yılında, karbon çeliğinin tornalanmasında farklı şekillerde talaş yüzeyine uygulanan dokuların kesme sıcaklığının üzerine etkilerini araştırmışlar, eliptik ve dalgalı doku formlarının, düz ve eğimli doku formlarına göre daha fazla sıcaklık düşüşü sağladığını raporlamışlardır (Şekil 1.4). Bu durumun nedenini, eliptik ve dalgalı doku formlarının ısı dağılımı için daha fazla yüzey alanı oluşturmasıyla doku ceplerinin işleme sıcaklığını düşürmesi olarak açıklamışlardır [16].



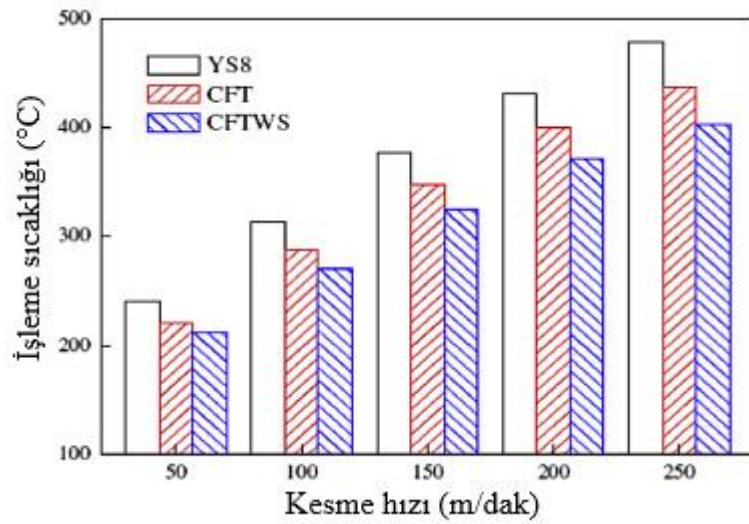
Şekil 1.4 Farklı Doku Tiplerinin Kesme Sıcaklığına Etkileri (STT-0: Düz (Doğru Şeklinde) STT-3: Eğimli (Açılı) STT-2: Dalgalı STT-1: Eliptik) [16]

Xing vd. lazer ile talaş yüzeyinin dokulandırılmasında pulse (atım) enerjisinin, AISI 1045 çeliğini işlerken sıcaklık artışını önemli ölçüde etkileyebileceğini bulmuşlardır [23]. 3 mJ enerji ile dokulandırılmış takımın, sıcaklık kontrolünde 2 mJ, 1 mJ enerji ile dokulandırılan takıma ve dokusuz takıma kıyasla çok daha iyi performans gösterdiği bulunmuştur. Yüksek pulse (atım) enerjisi, talaş yüzeyinde daha derin dokulara neden olacaktır. Bu da takım ve talaş arasındaki temas alanını azaltır ve dolayısıyla ısının yayılması için gerekli alanı arttırır.

Ze vd. Ti6Al4V işlenirken, takımın serbest yüzeyinin dokulandırılması yerine talaş yüzeyinin dokulandırılmasının, işleme sırasında açığa çıkan ısının atılması adına daha verimli olduğunu ispatlamışlardır [21]. Bunun nedeni, talaşlı işleme sırasında

Üretilen ısınn büyük bölümünün talaş yüzeyinden atılması olarak belirtilmiştir. Böylece, talaş yüzeyindeki dokular talaş temas boyunu azaltıp talaştan takıma ısı iletimini azaltmış olacak ve ısınn doğrudan talaşla atılmasını sağlayacaktır.

Lian vd. 2013 yılında yaptıkları çalışmadaki dokulu ve WS₂ yumuşak kaplamalı (CFT-WS), dokulu (CFT) ve dokusuz (YS8) takımların işleme sıcaklıkları karşılaştırılması şekil 1.5'te gösterilmiştir. elik malzeme işlenirken CFT-WS takımının kullanılmasıyla sıcaklıkta %10-20'lik bir azalma gözlenmiştir. Bunun nedeni düşük sürtünme katsayısı ve WS₂ kaplamanın yüksek sıcaklık dayanımı olarak açıklanmıştır [18].



şekil 1.5 Farklı zellikteki Takımların Farklı Kesme Hızlarındaki İşleme Sıcaklıkları (YS8: Dokusuz, CFT: Dokulandırılmış, CFTWS: Dokulandırılmış ve Kaplamalı) [18]

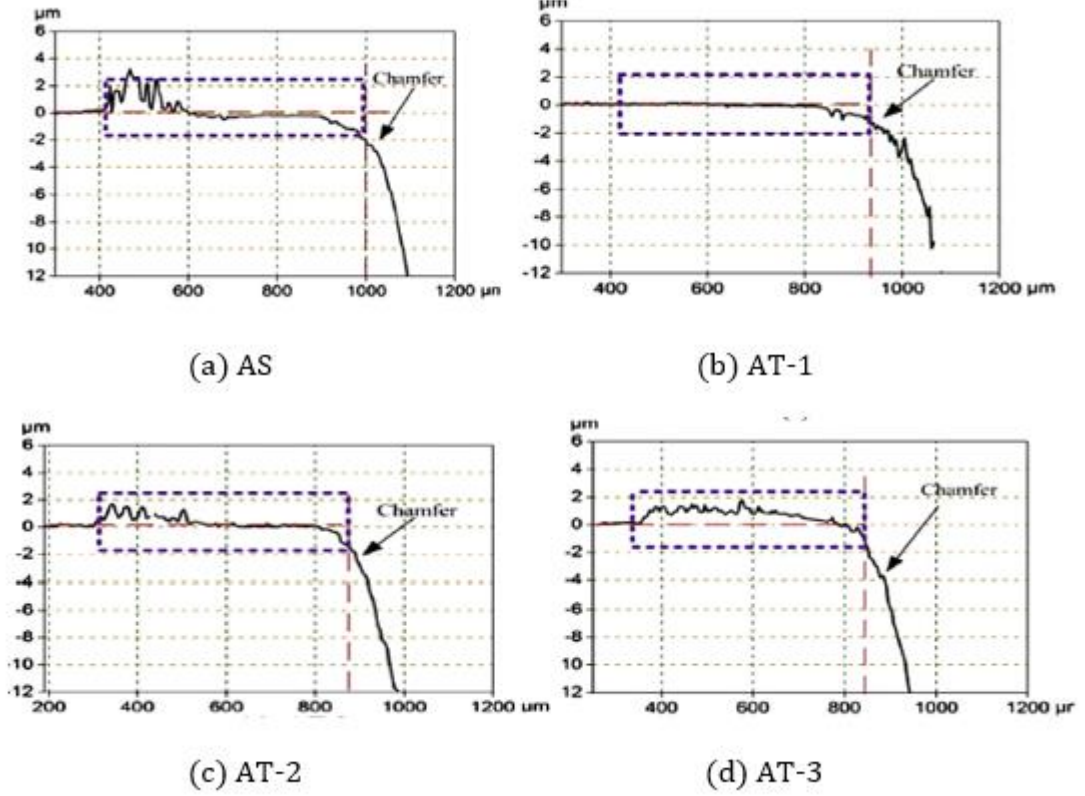
Xie vd. yaptıkları çalışmada titanyum alaşımının tornalanmasında dokulu takımda aşınmanın daha az olduğunu görmüşlerdir. Bu durum dokulu takımda meydana gelen ısınn hızlı giderilmesiyle açıklanmıştır. Bununla birlikte, daha geniş dokuların daha fazla aşınmaya neden olduğu bulunmuştur. Bunun nedeni, daha derin dokuların kuru işlemede (yağlama olmadan), takım talaş yüzeyi ve talaş arasında daha fazla sürtünme yaratması olarak belirtilmiştir [14].

Farklı araştırmacılar, dokulandırma işleminin çeliğin tornalanmasında oluşturduğu yapışma önleyici özelliği incelemişlerdir. Kuru işlemenin daha fazla yapışmaya ve dolayısıyla talaş yüzeyinde büyük miktarda iş malzemesi derişimine neden olduğu bilinmektedir. Dokulandırma ile, yağlama depolaması için dokular tarafından

sağlanan kanallar daha az sıcaklık artışı ve dolayısıyla dokulandırılmış takım için daha az yapışma ile sonuçlanmıştır [24, 25].

Bir dizi araştırmacılar tarafından yapılan farklı çalışmalarda, mikro dokular ile yağlama sağlanan takım ile dokusuz takım karşılaştırıldığında çelik ve titanyum alaşımı işlemelerinde takım talaş temas bölgesinde %28 oranında azalma elde etmişlerdir. Mikro dokular sayesinde, takım talaş temas alanı 1,8 mm²'den 1,3 mm²'ye düşürülmüştür. Böylece işleme sonucu daha az sürtünme kuvveti oluşmuştur. Dahası, işleme sırasında oluşan sıcaklık nedeniyle mikro dokularda depolanan katı yağlama maddesinin ısıl genleşmesi, yağlama maddesinin dokunun içerisinden yukarı doğru yükselmesini sağlamış ve takım talaş ara yüzünde ince bir yağlama tabakası oluşturmuştur. Bu nedenle, takım talaş temas alanı azalması ayrıca yağ filminden kaynaklı daha az sürtünme kuvveti birleşik etkisinden dolayı, dokulu olmayan takıma kıyasla dokulu takımın aşınmanın azaldığı bulunmuştur [26, 27].

Xing vd. 2014 yılında yaptıkları iki çalışmada, lazer atım (pulse) enerjisinin, sertleştirilmiş çeliğin tornalanması sırasında kesici takımın aşınmasının ve işleme sırasında oluşan yapışmaların önlenmesi arasında güçlü bir ilgileşim (korelasyon) olduğunu bildirmişlerdir [17, 20]. Şekil 1.6'da gösterildiği gibi, lazerle serbest yüzeyi dokulandırılmış (AT-1 (1 mJ), AT-2 (2 mJ) ve AT-3 (3 mJ)) takımları için adezyon yapışma yüksekliği dokusuz takımdan (AS) daha yüksektir. Ancak, dokulu takımın aşınma derinliği kuru işlemede dokusuz takımdan daha azdır. Bunun nedeni, dokusuz takımın daha fazla takım talaş temas alanı olmasıyla birlikte talaşı yumuşatan ve dolayısıyla takım yüzeyinde daha az yapışmaya neden olan yüksek ısı üretilmesi olarak açıklanmıştır. Bununla birlikte, lazerle dokulandırılmış takımlarda, daha az takım talaş temas alanı olması, aynı zamanda dokulu talaş yüzeyi ile talaş arasındaki kanallar bulunmasıyla daha az kesme sıcaklığı üretilmiştir. Ayrıca, daha büyük atım (pulse) enerjisi ile dokulandırılmış takım için yüzey daha düzensiz hale gelmiştir. Bu yüzden, işleme sırasında oluşan talaşlardan Fe parçacıklarının bulaşması ve dolayısıyla daha fazla malzeme yapışması meydana gelmiştir.

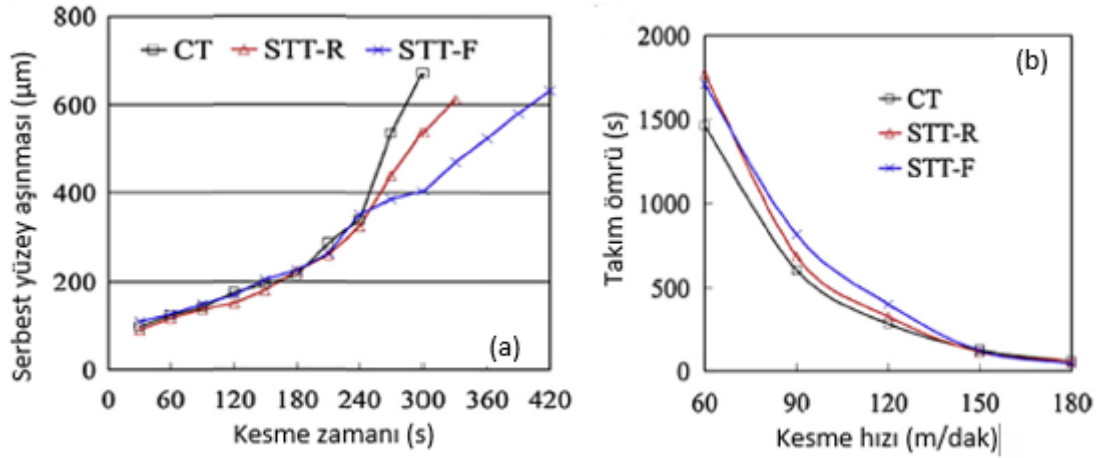


Şekil 1.6 Dokusuz (a) ve Farklı Enerjilerle Dokulandırılmış Takımlarda (AT-1, AT-2, AT-3) Adezyon Yüksekliği (b, c, d) [20]

Farklı araştırmacılar, yaptıkları çalışmalarda sırasıyla titanyum alaşımı ve çelik malzemeleri için tornalama ile talaş kaldırma sırasında takım talaş yüzeyinde doku oryantasyonunun etkilerini incelemişlerdir. Talaş akışı yönünde yönlendirilen dokuların, ısının takım talaş ara yüzünden hızlı bir şekilde çıkarılmasına yardımcı olduğunu ve bu şekilde %6,7 daha az takım aşınması elde ettiklerini bildirmişlerdir [28, 29].

Ze vd. 2012 yılında yaptıkları çalışmada, serbest yüzeyi dokulandırılmış takım (STT-F) talaş yüzeyi dokulandırılmış takım (STT-R) ve dokusuz takıma (CT) göre sırasıyla %10 ila %30 oranında, daha az takım aşınması olduğunu göstermişlerdir (Şekil 1.7a). Şekil 1.7b'de ise takım ömrünün kesme hızı arttıkça azaldığı görülmektedir. Bu, daha yüksek kesme hızlarında, takım talaş arayüzündeki sıcaklık artışıyla iş malzemesi ile takım arasında bölgesel olarak kaynak oluşmasına yol açmasıyla açıklanmıştır. Böylece, dokulu takımın takım ömrünün, 150 m/dak'ya

kadar olan kesme hızlarında geleneksel takım ile karşılaştırılabilir olduğu bulunmuştur [21].

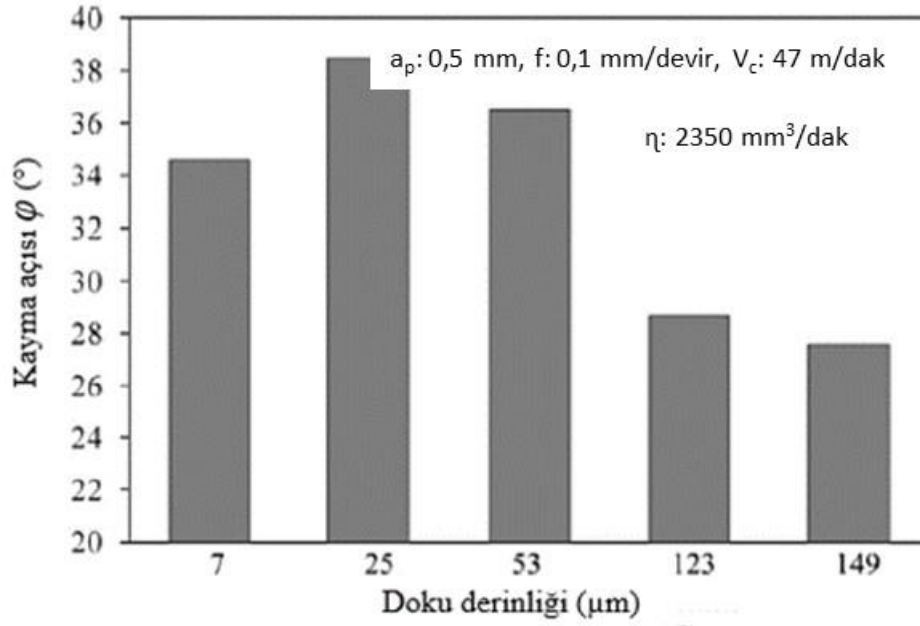


Şekil 1.7 Serbest Yüzey Aşınmasının Kesme Zamanına Göre Değişimi (a), Takım Ömrünün Kesme Hızına Göre Değişimi (b) [21]

Xie vd. Ti6Al4V malzemesinin mikro dokulu takımla işlenmesi sonucu oluşan talaşların SEM görüntülerini analiz etmişlerdir. Kesici takım üzerindeki dokunun, daha ince talaşların oluşumunu sağlamasıyla birlikte kesme kuvvetlerinin ve kesme sıcaklığının azaltılmasına yardımcı olan büyük kayma açısına yol açtığını bulmuşlardır. Bununla birlikte, Ti esaslı alaşımı dokusuz takımla işlerken talaş için böyle bir durumun söz konusu olmadığı tespit edilmiştir. Ayrıca yine aynı malzeme ile işlemelerde doku derinliğinin değişimiyle kayma açısı arasındaki ilişkiyi (1.1)'deki bağıntıyı kullanarak ortaya koymuşlardır [14].

$$\varphi = \tan^{-1} \left(\frac{a_p \cos \gamma_0}{h_c - a_p \sin \gamma_0} \right) \quad (1.1)$$

Burada φ kayma açısı, h_c talaş kalınlığı, a_p kesme derinliği ve γ_0 kesici takımın talaş açısıdır. Şekil 1.8'de görüleceği üzere 25 µm doku derinliğine sahip takımın kayma açısı en yüksektir. Daha büyük bir kayma açısı talaşlı işleme için daha az enerji gereksinimini belirtir ve bu nedenle daha iyi kesme koşulları sağlar.

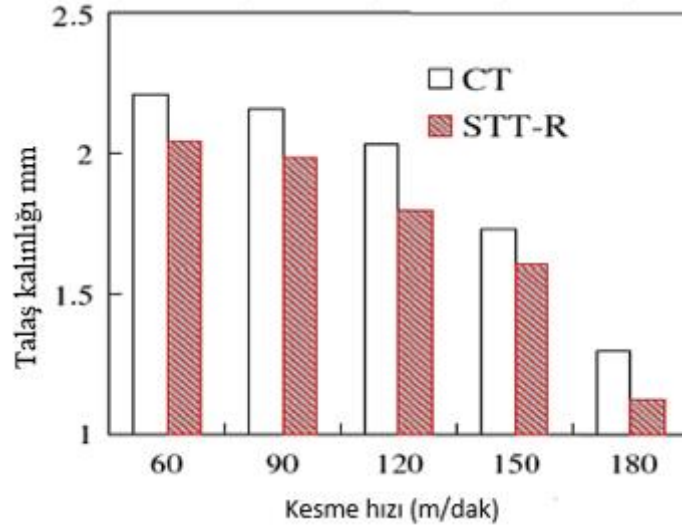


Şekil 1.8 Kayma Açısının Doku Derinliği İle Değişimi [14]

Jianxin vd. çelik ve titanyum bazlı alaşımların tornalanması sırasında geniş bir kesme hızı aralığı için, dokulu takıma (STT-1) göre kayma açısının dokusuz takıma (STT-0) kıyasla arttığını bildirmiştir [16].

Kawasegi vd. 2009 yılında, A5052 alüminyum alaşımını işlerken doku yönünün etkisini incelemişlerdir. Takım talaş yüzeyi üzerine, talaş akışına dik yönde yönlendirilen nano dokuların düzgün talaş akışı sağladığı bulunmuştur. Bununla birlikte, kesici kenara göre paralel dokunun, talaş ve takım arasında bir yapışmaya neden olduğu gözlemlenmiştir. Bu nedenle talaş akış yönünde yani kesici kenarın dikine doku oluşturma işleme sırasında daha iyi performans gösterdiğini bildirmişlerdir [19].

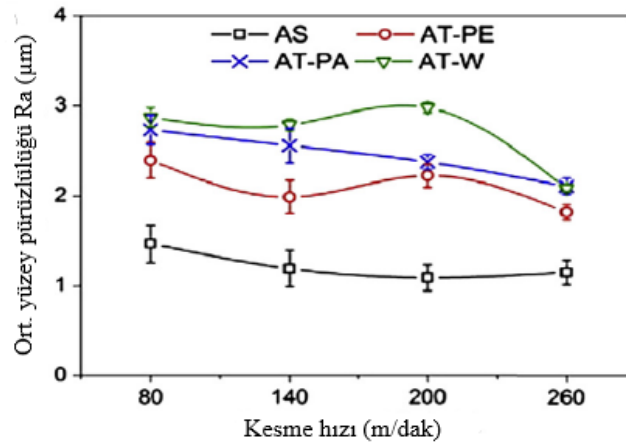
Ze vd. 2012 yılında ve Fatima ve Mativenga 2013 yılında sırasıyla Ti6Al4V alaşımının ve AISI 4140 çeliğinin talaş yüzeyi dokulandırılmış takımlarla işlenmesi sırasında, kesme hızındaki artışla birlikte talaş kalınlığında düşüş eğilimi olduğunu göstermişlerdir (Şekil 1.9). Bu düşüş talaş yüzeyi dokulandırılmış takım (STT-R) kullanılarak işlemede talaş oluşumu sırasında daha az plastik deformasyon olduğunu açığa çıkarmıştır. Bununla birlikte, bu durumun dokusuz takımda ancak 150 m/dak kesme hızından sonra meydana geldiği bulunmuştur [21, 30].



Şekil 1.9 Talaş Kalınlığının Kesme Hızıyla Değişimi [21]

Ze vd. Ti6Al4V malzemesinin tornalanması sırasında kesme hızının artmasıyla sürtünme katsayısının azaldığını bildirmiştir. Bu işlem için talaş yüzeyindeki doku, serbest yüzeydeki dokuya göre daha faydalı bulunmuştur [21]. Bunun nedeni, deneyler boyunca kullanılan MoS₂ yağlayıcısıyla oluşan yağ filmi ile talaşların takım talaş yüzeyinden daha az sürtünmeyle atılması olabilir.

Xing vd. talaş yüzeyi mikro dokulu kesici takımların, çelik parçaların yüzey pürüzlülüğünü arttırdığını ortaya koymuşlardır. Dokusuz (AS), paralel dokulu (AT-PA), dikey dokulu (AT-PE) ve dalgalı dokulu (AT-W) takımlar ile işlemlerin sonuçları Şekil 1.10'da gösterilmiştir [20].



Şekil 1.10 Farklı Kesme Hızlarındaki Ra Değerleri [20]

Bununla birlikte, Xie vd. 2012 yılında yaptıkları çalışmada yüzey pürüzlülüğündeki sapma değerinin (E_R) dokulu kesici uç kullanımında azaldığını belirtmişlerdir [28].

Yukarıda özetlenen literatür çalışmalarında ulaşılan en temel sonuçlar şu şekildedir. Dokulu takımın, kesme sıcaklığını ve takım aşınmasını dokusuz takım ile karşılaştırıldığında azalttığı bulunmuştur. Dokulu takım ile kesme kuvvetlerinde önemli bir azalma sağlanmıştır. Takım talaş yüzeyindeki doku, takım ile talaş temas alanında azalmaya yol açtığı ve bunun da sürtünmede küçülmeye neden olduğu bulunmuştur. MoS_2 gibi katı yağlayıcılarla doldurulmuş doku kanallarının, kesme performansını arttırdığı görülmüştür. Doku oryantasyonunun ve boyutlarının kesici takımın kesme performansını önemli ölçüde etkilediği de çalışmaların sonuçları arasındadır.

Kesici takım dokulandırma konusu ile ilgili çalışmalar göz önüne alındığında, çalışmaların tümü geleneksel geometrili takımlar üzerine olup, çalışmaların büyük bölümü takım talaş yüzeyinin dokulandırılmasının etkileri hakkındadır. Bu çalışmalarda, yüzey dokulandırma işlemi kırıcsız düz talaş yüzeyli takımlar üzerinde uygulanmıştır. Fakat talaşlı imalat endüstrisinde kırıcsız talaş yüzeyine sahip takımların kullanımı çok sınırlıdır. Yine bu çalışmalarda, kesme kuvvetleri ve takım ömürleri sınırlı kesme zamanlarında incelenmiş, dokulandırma işleminin tüm takım ömrü boyunca (ISO 3685 standardına göre) etkileri incelenmemiştir. Bunların dışında, iş parçası yüzey pürüzlülüğü ve talaş oluşumları hakkındaki çalışmalar çok sınırlıdır. Ayrıca henüz ilerleme ve yüzey pürüzlülüğü konularında geleneksel geometrili takımlara göre büyük üstünlükleri bulunan silici (wiper) geometrili takımlar üzerine herhangi bir çalışma da literatürde mevcut değildir.

1.2 Tezin Amacı

İmalat sanayisinde sürekli gelişen ve değişen müşteri beklentilerine karşılık daha az kaynakla daha çok üretim fikri, beraberinde rekabet şartlarının zorlaşmasını getirmekte dolayısıyla birim üretim maliyetinin öneminin günden güne artmasına neden olmaktadır. Bu ihtiyaca karşılık olarak talaşlı imalat sektöründe son ürün maliyetinin belirleyicilerinden biri olan kesici takımların, verimli kullanılması büyük önem arz etmektedir. Kesici takımların verimlilikleri adına kullanım

ömürlerinin arttırılması, maliyeti doğrudan etkileyeceği için araştırmacıların üzerinde durduğu önemli bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır.

Kesici takım ömrünü arttırmak için günümüzde çeşitli yöntemler denenmekte olup, henüz araştırma safhasında olan bir yöntem ise takımlarda yüzey dokulandırma işlemidir. Dokulandırma işlemiyle amaçlanan kesici takım ömrünü ve verimliliğini arttırmak dolayısıyla son ürün içerisindeki takım maliyetini azaltmaktır.

Kesici takımların, talaş yüzeyi ve/veya serbest yüzeyine fiber lazer, femtosaniye lazer, dalma erozyon veya abrasif su jeti gibi yöntemler ile dokulandırma işlemi yapılmasıyla, takım ile iş parçası arasındaki temas alanı azaltılarak takım ömründe artış sağlanmıştır. Dahası dokulandırma işlemi ile elde edilen kanalların soğutucu etkisi sayesinde talaş kaldırma işlemi sırasında oluşan ısının atılması kolaylaştırılmış ve kesme kuvvetlerinde azalma görülmüştür. Önceki çalışmalara bakıldığında, tüm bu dokulandırma işlemleri geleneksel geometrili takımlarda denenmiş, ayrıca çalışmaların büyük bölümü talaş yüzeyi üzerinde yoğunlaşmıştır. Ayrıca, imalat sanayisinde kullanılan takımların büyük çoğunluğunun talaş yüzeyinde talaş kırıcı form bulunmasına karşın, dokulandırma işlemi düz kırıcısız talaş yüzeyli takımlara uygulanmıştır.

Literatürdeki diğer çalışmalardan özgün olarak, bu çalışmada geleneksel geometrili takımlar yerine silici geometrili takımların serbest yüzeylerinin dokulandırılmasıyla doku oluşumunun etkileri; takım ömrü, kesme kuvveti, iş parçası yüzey pürüzlülüğü ve talaş oluşumu yönlerinden incelenmiş ve dokulandırılmış silicili takımların, takım ömürleri göz önüne alınarak en uygun doku parametrelerinin bulunması amaçlanmıştır.

Bu geometriye sahip takımların geleneksel geometrili takımlara göre yüksek ilerleme değerlerinde daha iyi performans göstermesi ve aynı talaş kaldırma şartlarında iş parçası yüzey pürüzlülüğünü iki kata kadar iyileştirmesine karşın geometrisinden kaynaklı olarak serbest yüzey aşınması, dolayısıyla takım ömrü açısından olumsuz özellikleri de mevcuttur. Bu çalışmada geleneksel geometrili takım yerine wiper geometrili takım tercih edilmesinin amacı, wiper geometrili takımların yüzey dokulandırma yöntemiyle işlem ömürlerinin arttırılmasıdır.

1.3 Hipotez

Yapılan tüm literatür araştırmalarına bakıldığında, kesici takım dokulandırma işlemi geleneksel geometrili takımlar üzerinde uygulanmıştır. Bu çalışmada ise geleneksel geometrili takımlar yerine wiper (silicili) geometrili takımların serbest yüzeylerinin dokulandırılmasıyla doku oluşumunun etkileri incelenmiştir.

Önceki çalışmalarda geleneksel geometrili takımlara çeşitli dokulandırma işlemleri uygulanmış, bu dokuların etkinliği takım ömrü, kesme kuvveti, işleme sıcaklığı ve talaş oluşumları gibi ölçütler göz önüne alınarak incelenmiştir. Bu çalışmada tüm bu ölçütler göz önünde tutularak, silici (wiper) geometrili takım kullanılması düşünülmüştür. Bu amaçla öncelikle literatürdeki doku parametreleri incelenerek, belirlenen parametrelere sahip dokularla numuneler elde edilecektir. Deneysel tasarım yöntemiyle takım ömrü açısından en uygun parametreye sahip doku belirlenecek ve doku parametrelerinin talaş kaldırma esnasındaki etkinliği araştırılacaktır.

Tüm bu deneysel çalışmalar ile silici geometrili takımların geleneksel geometrili takımlara göre ilerleme, iş parçası yüzey pürüzlülüğü ve işleme süresi gibi üstünlükleri ortadan kaldırılmadan, uygun doku parametrelerinin belirleneceği ve takım ömründe artış sağlanacağı düşünülmektedir. Literatürde henüz araştırılmamış bir konu olması sebebiyle gelecekteki araştırmalar için bir kaynak olmasına çalışılmıştır.

2.1 Giriş

Sürtünmeyi ve aşınmayı kontrol etmek için yüzey dokulandırma, son yıllarda sayısız araştırmanın odak noktası olmuştur. Bu ilgi, farklı temas ve yağlama koşullarında, yüzey dokusunun etkilerinin altında yatan nedenleri anlamak, olarak özetlenebilir. Günümüze kadar yapılan çalışmalarda nihai yüzey dokularının üretilmesinde ve belirli durumlarda etkilerinin modellenmesinde ilerleme kaydedilmesine rağmen, belirli temas koşulları altında yüzey dokularının etkinliği ile ilgili birçok çelişkili araştırma literatürde mevcuttur. Çalışmanın bu bölümünde yüzey dokulandırmanın tarihi, amacı ve doku kanallarının kesici takım üzerindeki etkileri genel olarak açıklanmaya çalışılmış, ayrıca mevcut dokulandırma teknikleri özetlenmiştir.

2.2 Yüzey Dokulandırma İşleminin Tarihi

Tarih boyunca insanlar çeşitli amaçlarla sürtünmeyi azaltmak veya arttırmak adına yüzey dokulandırma işlemini kullanmıştır. Örneğin, Çin'deki Tang Hanedanlığı döneminde, işçiler kullandıkları ayakkabıların tabanlarının altına kaygan zeminde çalışmalarına yardımcı olmak için sert desenler veya çukurlar işlemişlerdir [31]. Günümüzde ise, otomobillerdeki lastikler, çeşitli yol koşullarında güvenli sürüş için sürtünmeyi kontrol etmek amacıyla karmaşık yüzey dokularına sahiptir [32]. Yine endüstriyel ürünlerin montajında, bileşen parçaların ürün tasarımına ve kullanım alanına uygun olarak montaj yüzeylerinin daha pürüzsüz veya pürüzlü duruma getirilmesine çalışılmaktadır. Sanayi devriminden sonra yüzey dokuları yaygın olarak ilk defa, dizel motorun yüksek yük, yüksek sıcaklık ve yüksek hız koşulları altında yağlama sorununu ortadan kaldırmak için 1940'larda motorun içinde piston segman arayüzünde uygulandı [33]. Ağır çalışma koşullarında, yeterli yağlamanın sağlanamamasıyla oluşan sürtünmelerden dolayı motorda ciddi aşınmalar meydana geldi. Bu sorunu çözmek için, dokulandırma işlemiyle yağ rezervuarları oluşturmak

üzere piston gömleğinde çapraz kanallar üretildi (çapraz tarama açıları 60° - 70° yatay çaprazlama açısı arasında değişir) [34]. Modern dizel motorlar, 40° - 50° arası daha küçük açıları kullanma eğilimindedir [35].

1900'lü yılların ortalarında sıcak haddeleme, ekstrüzyon, plastik şekillendirme ve metallerin damgalaması işlemleri gibi metal işleme tekniklerinde en büyük sorunlar yapışma ve yırtılma hasarları olarak ortaya çıktı. Bu durumlarda, yapışma ve yırtılmayı azaltmak için kanal benzeri dokular ve yuvarlak şekilli gamzeler kullanılmıştır [36].

Özetle yüzey dokulandırma ileri üretim teknikleri ve belirli uygulamalardaki performansı arttırmak için giderek artan bir şekilde mühendislik aracı olarak kullanılmaktadır. Düşük işlem maliyeti, uygulandığı üründe kullanım kolaylığı, daha yüksek hassasiyet sağlama ve verimlilik artırma gibi olumlu özellikleri düşünüldüğünde tüm mühendislik alanlarında geliştirilebilecek yenilikler için kullanılabilme yeteneği yüksek bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır.

Son yıllarda ise yine bu çalışmanın temel konusu olan kesici takım dokulandırma işlemiyle, takım talaş ve takım iş parçası arasındaki temas alanını düşürerek sürtünmeyi azaltma uygulamaları denenmektedir. Bu temel amaca bağlı olarak, talaş kaldırma sırasında takım ömrünü arttırmak, kesme kuvvetlerini azaltmak, iş parçası yüzey pürüzlülüğünü iyileştirmek ve işleme sıcaklıklarını düşürmek gibi konularda da çalışmalar devam etmektedir. Çeşitli dokulandırma yöntemleriyle kesici takım talaş ve serbest yüzeylerinde denenilen bu yöntem ile kesici takım verimliliği ve sürdürülebilir üretim için talaşlı imalat teknolojisine ve bilime katkılar sağlanmaktadır.

2.3 Kesici Takımlarda Yüzey Dokulandırma İşlemi ve Etkileri

Yüzey dokulandırma, kesici takımların serbest veya talaş yüzeylerine çeşitli şekillerde, derinliklerde ve boyutlarda kanalların açılması işlemidir. Bu işlemin şematik görüntüleri Şekil 2.1'de verilmiştir.

2.3.1 Yüzey Dokulandırma İle Performans Artış Mekanizması

Kesici takımların, serbest ve talaş yüzeylerinde çeşitli özellikteki dokuların (kanalların) üretilmesi, sürtünme, aşınma ve yağlama gibi tribolojik özelliklerini

geliştirmek için kullanılan yaklaşımlardan biridir. Talaşlı imalat sırasında takımın performansı ve istenilen kalitedeki ürünün elde edilebilmesi bu tribolojik özelliklerden büyük ölçüde etkilenmektedir. Literatürdeki çalışmalarda ortak olarak, takım yüzeyinde dokulandırma ile takım ile talaş arasındaki sürtünmenin azaldığı, kesici takım aşınmasının azalmasına bağlı olarak takım ömrünün arttığı ve yağlama etkinliğinin arttığı sonuçları elde edilmiştir. Kesici takım ile iş parçası ve kesici takım ile talaş arasındaki sürtünme, aşınma ve yağlama özelliklerinin geliştirilmesinde, bir diğer deyişle takım performans artışında rol oynayan temelde iki adet oluşum yapılan çalışmalarda ortak olarak belirtilmiştir.

2.3.1.1 Dokulandırma İle Takım Yüzeyinde Kanal Oluşumu

Dokulandırma işlemi üç temel aşınma mekanizmasının etkilerini azaltmak için kullanılmaktadır. Kesme işlemi sırasında, iş parçasındaki sert tanecikler nedeniyle takım ile iş parçası teması sırasında kesici takımda abrazif aşınma meydana gelir [77]. Talaş yüzeyindeki küçük parçacıklar, işleme sırasında yüksek sıcaklık ve basınç etkisiyle takım üzerinde kaynak oluşumuna sebep olur böylece adezyon aşınmasına yol açar [80]. Son olarak, yine yüksek basınç ve ısı etkisi altında kesici takım malzemesinin çözülmesiyle, işleme sırasında oluşan talaşa kesici takım atomlarının geçişiyle de difüzyon aşınması oluşur [77]. Takım üzerinde oluşturulan bu yüzey dokularının ana işlevi, yukarıda belirtilen aşınma mekanizmaları nedeniyle oluşan aşınma kalıntılarını hapsedip işleme sırasında etkilerinin azaltmaktır. Enomoto vd. alaşımsız çeliğin işlenmesinde kesici takımların talaş yüzeylerine dört farklı tipte dokulandırma yapmıştır [38]. Araştırma sonuçlarına göre alın frezeleme işleminde, mikro dokulu takımların aşınma mekanizmaları nedeniyle oluşan parçacıkları hapsetmesiyle, dokusuz takımlara göre aşınma dayanımının büyük ölçüde arttığı görülmüştür.



Şekil 2.1 Yüzey Dokulandırma İşleminin Şematik Görüntüleri (a) [16], (b) [37]

2.3.1.2 Dokulandırma İle Yağlayıcılığın Arttırılması

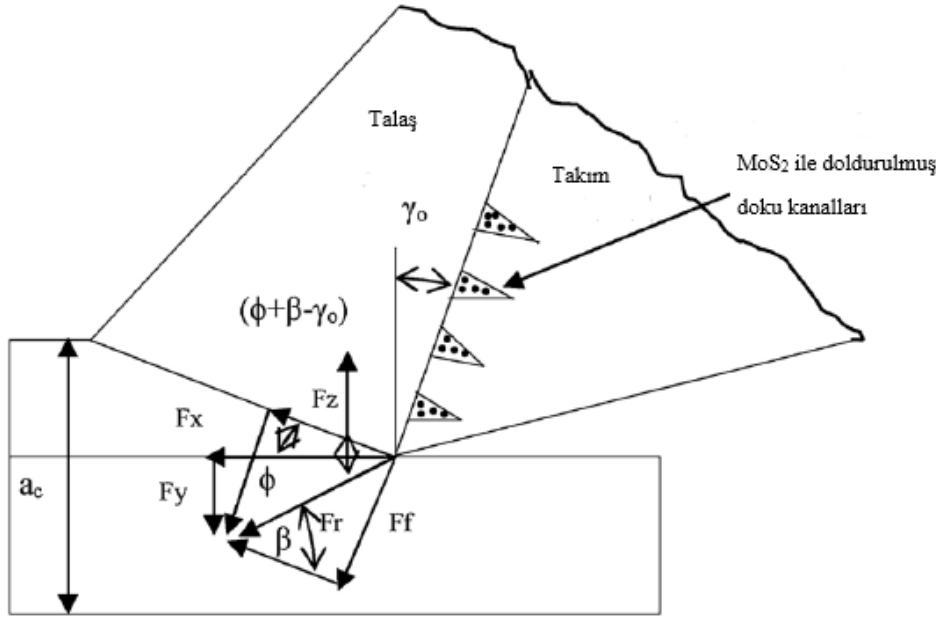
Yüzey dokulandırmayla oluşturulan kanalların bir diğer önemli işlevi de bu kanallarda biriken yağlayıcının (kuru işleme sırasında hava da örnek verilebilir) işleme sırasında ince bir film tabakası oluşturarak sürtünmeyi azaltmasıdır [39]. Bu ince yağlayıcı film tabakasının oluşumu nedeniyle, takım ve talaş ara yüzleri arasında sürtünme azalacağı gibi buna bağlı olarak kesme kuvvetleri ve ısı oluşumu da azalacaktır. Lei vd. tornalama takımının talaş yüzeyinde kesici kenara yakın bölgede delik şeklinde dokulandırma yapmış ve bu kanallar ile yağlama etkisini araştırmışlardır [26]. Kuru işlemeye kıyasla mikro dokular ile yağlama yöntemi kullanılarak takım talaş temas alanında toplamda %28'lik bir azalma olduğunu gözlemlemişlerdir. Bu azalma ve dokular ile yağlama sağlanmasıyla takım ömrünü büyük oranda arttırmışlardır.

2.3.2 Yüzey Dokulandırma İşleminin Talaşlı İşleme Karakteristiğine Etkileri

2.3.2.1 Yüzey Dokulandırma İşleminin Kesme Kuvvetlerine Etkileri

Talaşlı işleme sürecinde, kesme kuvvetlerini doğrudan etkileyen üç temel parametre bulunmaktadır. Bunlar, takım kaynaklı parametreler (takım malzemesi, takım geometrisi vb.), iş parçası malzemesi kaynaklı parametreler (sertlik, malzeme yapısı vb.) ve işleme parametreleri (kesme derinliği, ilerleme, kesme hızı vb.) olarak sıralanabilir.

Kesici takım üzerinde yüzey dokulandırma ile kanallar açılması, takım ömrünün artmasına ve kesme kuvvetlerinin azalmasına neden olmaktadır. Jianxin vd. karbür takımının talaş yüzeyinde çeşitli geometrik dokular oluşturmuşlar ve dokuları MoS₂ katı yağlayıcısı ile doldurmuşlardır [16]. Çeliğin tornalanması sırasında katı yağlayıcı, ortamda oluşan ısı ile dokulardan yukarı doğru çıkmış ve talaş ile takım ara yüzünde ince bir yağlama filmi oluşturmuştur. Bu ince yağ filmi sayesinde deneyler kesme kuvvetlerinin azalmasıyla sonuçlanmıştır.



Şekil 2.2 Ortogonal İşlemede Kuvvet Diyagramı [16]

Bu durum aşağıdaki denklemler takip edilerek daha iyi anlaşılabilir. Dokulandırılmış takımda, takımın talaş yüzeyindeki sürtünme kuvveti (F_f), literatürde belirtilen denklemler kullanılarak hesaplanabilir [40].

$$F_f = a_p l_f \tau_c \quad (2.1)$$

Burada a_p kesme derinliği, l_f talaş ile takım temas uzunluğu ve τ_c ise kayma direnci dir. Şekil 2.2 ortogonal işlemede doku kanalları katı yağlayıcı ile doldurulmuş takım için kuvvet diyagramını göstermektedir. Kuvvet diyagramına göre:

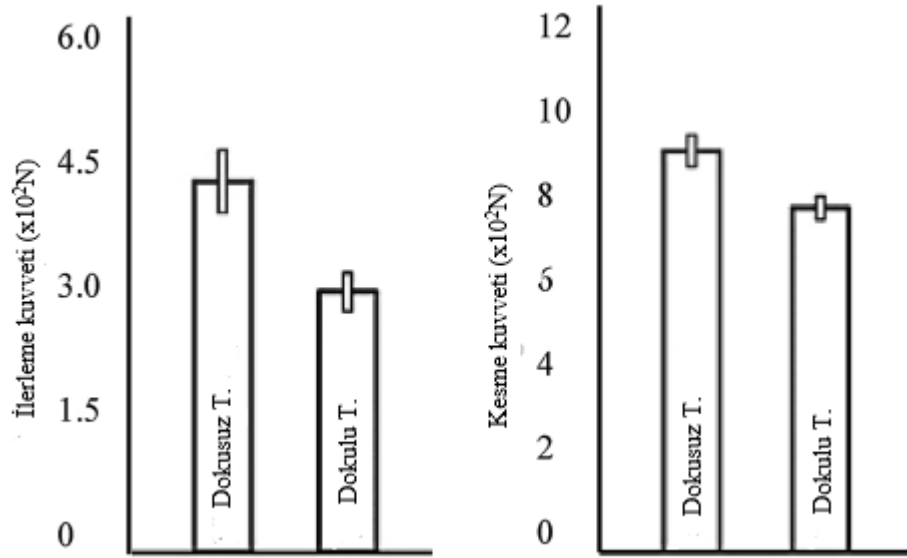
$$F_r = \frac{F_f}{\sin \beta} = \frac{a_p l_f \tau_c}{\sin \beta} \quad (2.2)$$

$$F_y = F_r \cos(\beta - \gamma_0) = \frac{a_p l_f \tau_c \cos(\beta - \gamma_0)}{\sin \beta} \quad (2.3)$$

$$F_z = F_r \sin(\beta - \gamma_0) = \frac{a_p l_f \tau_c \sin(\beta - \gamma_0)}{\sin \beta} \quad (2.4)$$

F_r bileşke kuvvet, F_z ilerleme kuvveti, F_y kesme kuvveti, γ_0 talaş açısı ve β sürtünme açısıdır. Yukarıdaki denklemler, kesme kuvvetleri doğrudan kayma direnci ve takım ile talaş temas boyuna bağlı olduğunu göstermektedir [40].

Koshy vd. kesici takım üzerindeki dokunun performansını kesme ve ilerleme kuvvetleri açısından değerlendirmişlerdir [10]. Deneylerde, ortalama kesme ve ilerle kuvvetlerinde sırasıyla %13 ve %30'luk bir azalma gözlemlenmiştir. Deneylerin devamında sürtünmenin azalmasıyla kayma açısında bir artış gözlenmiş ve bu da daha ince talaşların oluşmasına neden olmuştur. Kesme kuvvetlerinin azaltılmasına ek olarak, dokulandırma sayesinde Şekil 2.3'te gösterildiği gibi kesme kuvvetlerindeki değişkenlik de azalmıştır.



Şekil 2.3 Dokulandırmanın İlerleme ve Kesme Kuvvetlerine Etkileri [10]

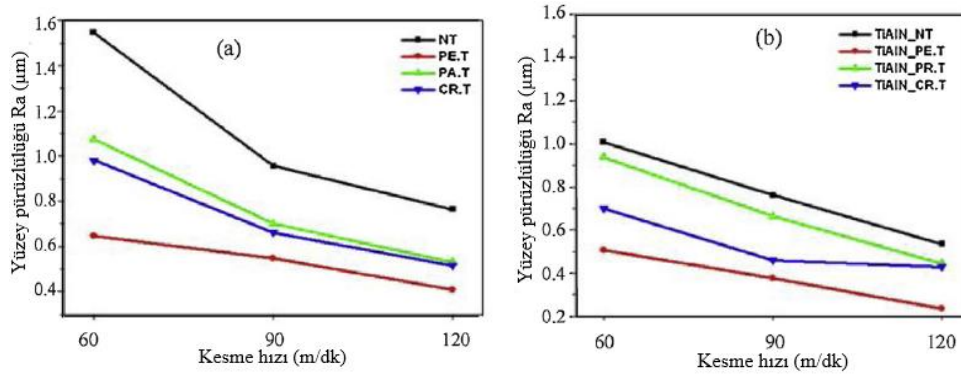
Fatima vd. AISI 4140 çelik malzemesi üzerinde yaptıkları çalışmada, kaplamasız sementit karbür takımın talaş yüzeyinde dokulandırma ile mikro kanallar oluşturmuşlardır. Bu kanallar sayesinde takım talaş ara yüzleri arasındaki temas alanındaki küçülme nedeniyle kesme kuvvetinde ve ilerleme kuvvetinde sırasıyla %10 ve %23'lük bir azalma elde etmişlerdir [41].

2.3.2.2 Yüzey Dokulandırma İşleminin İş Parçası Yüzey Pürüzlülüğüne Etkileri

Modern malzemelerin gelişmesiyle, bu malzemelerin işlenmesi sırasında karşılaşılan en büyük sorun, bu malzemelerin küçük ısı iletkenliğidir. Küçük ısı iletkenlik, kesme bölgesindeki sıcaklığın daha fazla artmasına ve daha yüksek takım aşınması dolayısıyla yüksek iş parçası yüzey pürüzlülüğüne neden olur. Araştırmacılar, kesici takım yüzey dokulandırma işlemiyle yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişkiyi anlamak için çeşitli çalışmalar yapmışlardır.

Liu vd. doku kanallarının, işlenmiş malzemenin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini incelemek için karbür takımın serbest yüzeyinde çeşitli dokulandırmalar denemiş ve dokulu takımın seramik malzemelerin yüzey pürüzlülüğünü iyileştirmede çok az etkiye sahip olduğunu gözlemlemişlerdir [42].

Arulkirubakaran vd. Ti6Al4V alaşımının işlenmesi sırasında kaplamalı ve kaplamasız kesici takımlar üzerinde çeşitli doku kanalları oluşturmuş ve bu takımlarla iş parçası yüzey pürüzlülüğü ölçümleri yapmışlardır. Sonuçlara göre, Şekil 2.4'te görüldüğü gibi, kaplamalı dokulu takımlar, kaplamasız dokulu takımlara göre yüzey pürüzlülüğü açısından daha iyi performans göstermişlerdir. Ayrıca kesme hızındaki artışla kaplamadaki ısıl yumuşama sayesinde yüzey pürüzlülüğünün azaldığı da bulgular arasındadır [43].



Şekil 2.4 İş Parçası Yüzey Pürüzlülüğünün (a) Kaplamasız Takım ve (b) TiAlN Kaplı Takımlarla İşlemede Kesme Hızı İle Değişimi (NT: Dokusuz, PE.T: Kesici Kenara Göre Dik, PA.T: Kesici Kenara Göre Paralel, CR.T: Kesici Kenara Göre Açılı) [43]

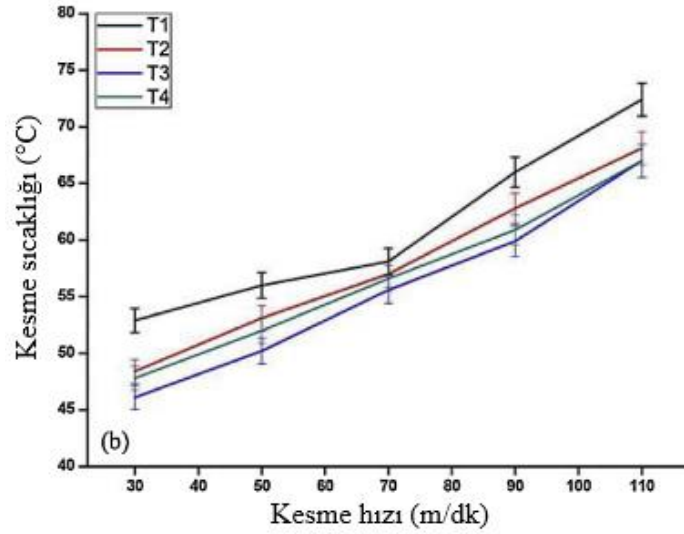
Thomas vd. yaptıkları çalışmada dokulandırılmış takımlar kullanılarak çelik ve alüminyum işlenirken yüzey pürüzlülüğünde bir iyileşme olduğunu bildirmişlerdir [44]. Yüzey pürüzlülüğündeki azalma, talaş ve takım arasındaki yüzey alanının azalmasından kaynaklanmıştır. Farklı dokulu takımlar kullanılarak çelik ve alüminyum alaşımlarının işlenmesi sırasında yüzey pürüzlülüğünde yaklaşık %16 ve %23 oranında bir iyileşme gözlemlemişlerdir.

2.3.2.3 Yüzey Dokulandırma İşleminin Talaşlı İşleme Sıcaklığına Etkileri

Talaşlı işleme sırasında oluşan ısı, herhangi bir metal kesme işleminin performansını etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Kesici takımın ısısındaki aşırı artış, takım ömrünü ve iş parçası yüzey pürüzlülüğünü olumsuz etkileyecektir.

İşleme sırasında oluşan ısıнын kontrol altına alınması amacıyla, yağlama ve soğutma etkileri nedeniyle kesme sıvıları kullanılmış ancak kesme sıvılarının kullanımı ekoloji ve insan sağlığı üzerinde olumsuz etkilere sahip olduğundan bu yönetime alternatif çözümler geliştirilmeye çalışılmıştır. Çeşitli yöntemlerle birlikte, yüzey dokulandırma da işleme sırasında oluşan ısıyı azaltmak için araştırmacılar tarafından kullanılmaktadır.

Araştırmacılar işleme sırasında sıcaklık ölçümü için kızılötesi dijital bir ölçüm aleti kullanmışlar, kesme hızını zamanla artırırken, Şekil 2.5'te gösterildiği gibi kesme sıcaklığında artış gözlemlemişlerdir [44]. Yazarlar, takımlar üzerinde T2 (gamzeli doku), T3 (kare şekilli doku) ve T4 (kesici kenara paralel) gibi farklı şekillerde dokular oluşturmuşlardır. Dokulu takımın işlem sıcaklığı konvansiyonel takım (T1) karşılaştırıldığında azalma gözlemlemişler, değer olarak çelik malzemenin işlenmesinde dokulu takım kullanılarak kesme sıcaklığında yaklaşık %13 azalma elde etmişlerdir. Doku kanalları sayesinde oluşan hava ceplerinin bu etkiyi sağladığı yazarların sonuçlardan çıkarımları arasındadır.



Şekil 2.5 İş Parçasının İşlenmesi Sırasından Kesme Kenarında Oluşan Sıcaklık Değişimi [44]

Ze vd. talaş yüzeyindeki dokunun, işleme sırasında oluşan ısıya etkilerini incelemişlerdir. Dokusuz takım ile karşılaştırıldığında talaş yüzeyi dokulandırılmış takımda işleme sırasında açığa çıkan ısıda fark edilir bir azalma olduğunu bildirmişlerdir. Yazarlar, işleme sıcaklığındaki azalmanın arkasındaki

mekanizmanın, ısının doku kanalları sayesinde yayılma alanındaki artıştan kaynaklandığını belirtmişlerdir [21].

2.3.2.4 Yüzey Dokulandırma İşleminin Takım Aşınmasına Etkileri

Talaşlı imalat sektöründe üretim oranını etkileyen başlıca parametrelerden bir tanesi de kesici takım ömrüdür. Herhangi bir talaşlı işleme sırasında, takım ile iş malzemesi arasındaki temasla birlikte kesici takımlar üzerinde aşınmalar meydana gelecektir. Talaşlı işlemeyle birlikte kesici takımın talaş ve serbest yüzeyinde çeşitli aşınma mekanizmalarının oluşumu gerçekleşir, bu da son ürünün ölçüsel tekrarlanabilirliğini ve kesici takımın ömrünü etkileyecektir. Aşınmanın geciktirilmesi ve son ürün maliyetindeki kesici takım faktörünün azaltılması için yüzey dokulandırma işlemi araştırmacılar tarafından denenmekte olan bir yöntemdir.

Fatima vd. araştırmalarında kullandıkları kesici takımın serbest yüzeyini, zig-zag şeklinde dokulandırmışlardır. Yazarlar konvansiyonel takıma oranla dokulu takımın serbest yüzey aşınmasında daha büyük bir azalma gözlemlemiş, nedenini ise uygulanan dokunun yağlayıcılar için daha iyi kanal görevi gördüğü olarak açıklamışlardır [41].

Liu vd. karbür takımın serbest yüzeyinde kesici kenara göre üç çeşit doku tipiyle dokulandırma uygulamışlardır. Bunlar 45°'lik bir açıyla eğimli, paralel ve dik dokulardır. Dokuların kesici takımın aşınma direnci üzerindeki etkisini incelemek için, farklı seramik malzemeler üzerinde kuru tornalama testi yapmışlardır. Yazarlar, kesici takımın talaş yüzeyinde dokusuz takıma göre daha az aşınma gözlemlerken, serbest yüzeyde ciddi bir aşınma meydana geldiğini raporlamışlardır [42].

Ling vd. titanyum malzemedan plakanın işlenmesi için, pikosaniye lazer aracılığıyla dikdörtgen şeklinde yüzey dokuları oluşturmuşlardır. Yazarlar bu çalışmalarında, doku kanalları sayesinde mikro talaşların takım üzerine yapışmasında azalma ve takım ömründe artış sağlamışlardır [45].

Sugihara vd. orta karbonlu çeliğin frezelenmesi sırasında karbür takımın serbest ve talaş yüzeyi üzerinde dokulandırma ile mikro kanallar elde etmişlerdir. Mikro

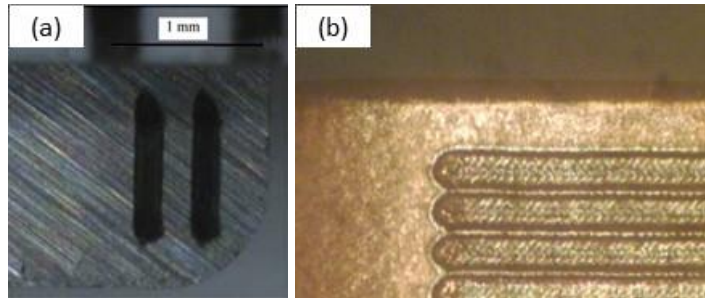
kanalların hem takım talaş yüzeyinin hem de serbest yüzeyinin aşınmasını azaltmada yardımcı olduğunu gözlemlemişlerdir [29].

2.4 Kesici Takımlara Uygulanan Dokulandırma Yöntemleri

Kesici takım yüzeyinin dokulandırılmasında araştırmacılar çeşitli yöntemler ve uygulamalar denemişlerdir. Çalışmanın bu bölümünde son zamanlarda uygulanan kesici takım dokulandırma yöntemleri anlatılacaktır.

2.4.1 Lazer İle Dokulandırma

Yüksek atım (pulse) enerjisi uygulanarak, malzemenin ablasyon ile çıkarılması, yani lazer uygulanan bölgede oluşan hızlı erime ve buharlaşma lazer ile işleme olarak adlandırılabilir [46]. Lazer ile dokulandırma, literatürdeki diğer dokulandırma yöntemleri düşünüldüğünde, az hasarlı yüzey topografyası sağlama ve işlemin gerçekleştiği bölgenin altında daha az yapısal bozulmaya neden olma konularında avantajlara sahiptir [47]. Bu nedenle, çeşitli araştırmacılar yüzey dokulandırma yöntemiyle aşınma ve sürtünmeyi azaltmak amacıyla kesici takımın serbest ve talaş yüzeylerinde doku oluşturma işlemlerinde lazer ile dokulandırma tekniklerini kullanmışlardır. Literatürdeki araştırmalara bakıldığında, kullanılan lazer teknikleri arasında; nanosaniye, pikosaniye, femtosaniye ve fiber lazer uygulamaları gösterilebilir. Şekil 2.6 (a) femtosaniye ve Şekil 2.6 (b) fiber lazer ile elde edilmiş doku fotoğrafları gösterilmiştir.



Şekil 2.6 Femtosaniye (a) [60] Fiber Lazer (b) İle Elde Edilmiş Dokular

2.4.2 Sertlik Ölçüm Cihazlarıyla Dokulandırma

Sertlik ölçüm cihazları iş malzemesinin sertliğini ölçmek için kullanılmakta ve ölçüm sırasında iş parçası yüzeyinde izler oluşturmaktadır. Oluşan izin şekli, kullanılan ölçüm iğnesinin tipine bağlıdır, konik veya kare şeklinde olabilir. Araştırmacılar bu

çentik oluşumu tekniğini kesici takımlarda mikro dokular oluşturmak için kullanmıştır. Bu yöntem, EDM ile işleme, elektrokimyasal işleme, lazer ile dokulandırma, vb. diğer yöntemlere kıyaslandığında proses için bazı avantajlar sağlamaktadır. Çünkü diğer yöntemler, yüzey dokuları oluştururken takım malzemesi yüzeyinde işlem sırasında oluşturulan ısı nedeniyle çeşitli deformasyonlara sebep olmaktadır. Ayrıca bu dokuların fabrikasyon üretimi düşünüldüğünde ısı oluşan işlemler, proses tekrarlanabilirliğini garanti edemez. Mekanik teknikler kullanarak doku üretimi ise kolay ve tekrarlanabilir bir yöntemdir.

2.4.3 Abrazif Kumlama İle Dokulandırma

Mikro aşındırıcılar ile kumlama, kesici takım yüzeyinde mikro boyutlarda dokular oluşturmak için kullanılan ilk tekniklerden birisidir. İşlem tümüyle fiziksel bir süreçtir ve bu nedenle, kimyasal etkileşimine bakılmaksızın farklı türdeki malzemelere uygulanabilir [48]. Doku kanallarının boyutları ve şekli işlem boyunca kullanılan mikro aşındırıcı tozların taneciklerinin boyutuna, havanın basıncına ve nozül ile dokulandırma yapılan yüzey arasındaki mesafeye bağlıdır. EDM, lazer, mikro taşlama vb. gibi diğer tekniklerle karşılaştırıldığında, daha geniş bir yüzey alanında mikro seviye dokular oluşturmak için etkili ve daha ekonomik bir teknik olarak karşımıza çıkmaktadır [49].

2.4.4 Abrazif Su Jeti İle Dokulandırma

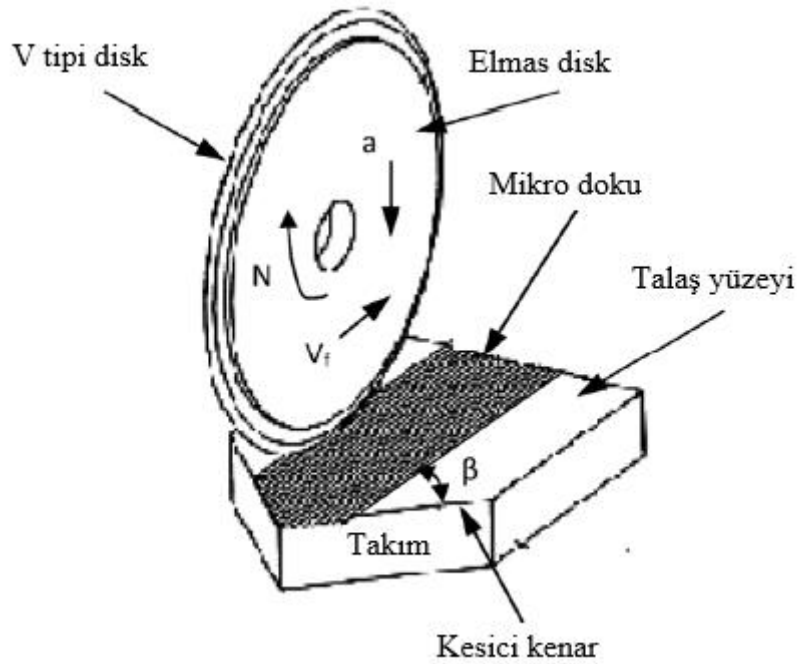
Aşındırıcı su jeti ile işleme, geleneksel olmayan işleme tekniklerinden birisi olup, aşındırıcı parçacıklar ile yüksek basınçlı suyun karıştırılarak malzeme üzerine bir nozül aracılığıyla gönderilmesi prensibine dayanan bir yöntemdir. Bu yöntem ile plastik vb. yumuşak malzemelerden metaller gibi sert malzemelere kadar iş parçaları işlenebilmektedir. Günümüzde, araştırmacılar aşındırıcı su jeti ile işleme tekniğini kullanarak çeşitli malzemeler üzerine doku kanalları üretmektedir ve kesici takımlar üzerinde de bu dokuları elde etmeye çalışılan araştırmalar mevcuttur. Bu yöntem kullanılan çalışmalar arttıkça, kesici takım yüzey dokulandırılması konusunda mevcut yöntemlere alternatif olabileceği düşünülmektedir.

2.4.5 Magnetorheological Sıvı İle Dokulandırma

Magnetorheological sıvı tabanlı nano dokulandırma tekniği, kesici takımın işleme özelliklerini geliştirmek için takım yüzeyinde nano boyutlarda doku kanalları oluşturmak için kullanılan henüz üzerinde çalışılan yöntemlerden birisidir [50].

2.4.6 Mikro Taşlama İle Dokulandırma

Mikro elmas disk ile taşlama, mikro boyutlarda malzemedan talaş kaldırmak için kullanılan bir işleme yöntemidir. Literatürde belirtildiği gibi diğer mekanik mikro işleme yöntemleriyle karşılaştırıldığında daha az talaş oluşumu yönünden üstünlüğü bulunmaktadır [51]. Mikro taşlama ile doku kanallarının oluşturulmasının amacı, yüksek enerji gereksinimi olan ve kimyasal işlemlerin yerini almaktır. Bu işlemlerde mikro dokuların boyutsal hassasiyetini kontrol altında tutmak mikro taşlamaya göre daha zordur [28]. Şekil 2.7’de, kesici takımının talaş yüzeyinde mikro doku kanalları oluşturmak için deneysel bir mikro taşlama düzeneği verilmiştir.



Şekil 2.7 Mikro Taşlama İle Dokulandırma Şematik Resmi [28]

2.4.7 Odaklanmış İyon Işını İle Dokulandırma

Günümüzde odaklanmış iyon ışını ile işleme, literatürde belirtildiği üzere yüksek hassasiyetli mikro doku kanallarının oluşturulmasında popüler bir yöntem haline gelmiştir [52]. Bu işleme yönteminde, nano ve mikro doku kanalları üretimi için önceden belirlenmiş çap ve yoğunluktaki iyon demeti iş parçası malzemesine gönderilerek talaş kaldırılır [46]. Ancak bu işlemin diğer dokulandırma yöntemlerine göre dezavantajı çok yavaş işleme hızı ve işleme maliyetinin yüksek olmasıdır.

2.4.8 Vibro Mekanik İşleme İle Dokulandırma

Vibro mekanik işleme ile dokulandırma, en yeni mikro doku kanalları oluşturma yöntemlerinden birisidir. Mikro tornalama işleminden farkı, aynaya bağlanmış iş parçasının dönüşü sırasında bir servo motora bağlanmış kesici takımın sürekli işleme yerine belirlenen zaman aralıklarında noktasal işleme yapmasıdır [53]. Vibro mekanik işleme ile dokulandırma, diğer bazı yöntemlere göre düşük maliyetli olması ve yüksek hassasiyetli işleme yapabilmesi nedeniyle gelecekte doku kanalları oluşturmak için tercih edilebilecek bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır.

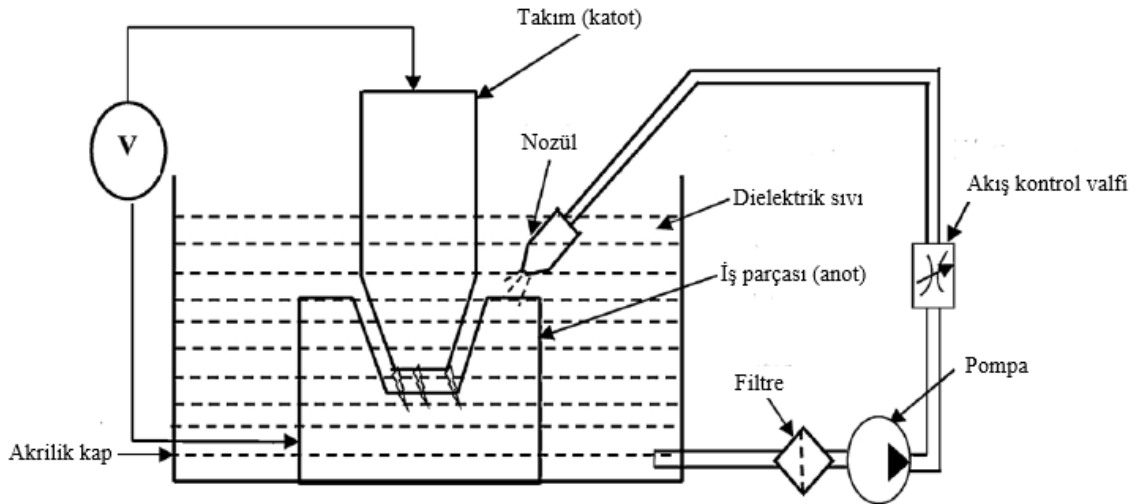
2.4.9 Mikro Döküm İle Dokulandırma

Mikro döküm, takım üzerindeki mikro yapıların döküm yoluyla üretilmesi yöntemidir. Bu işlem diğer yöntemlere kıyasla hızlı bir işlem olması, ayrıca düşük miktarda sarf malzeme gerektirmesiyle ön plana çıkmaktadır. Fakat bu üstünlüklerine rağmen, gerekli kalıp sıcaklığı ve basıncı gibi parametrelere bağlı olmasından dolayı işlemin uygulanması maliyetlidir [54,55]. Yine de yüzey dokulandırma ile doku kanalları üretmek için gelecekte kullanılabilecek yöntemlerden bir tanesi olabileceği düşünülmektedir.

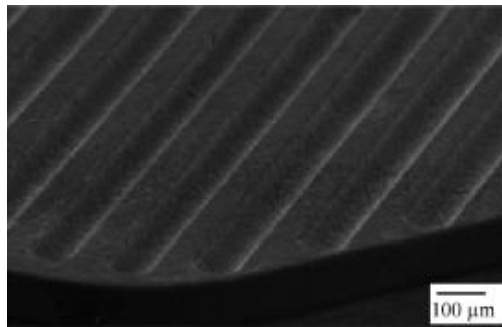
2.4.10 Mikro EDM İle Dokulandırma

Elektro erozyon geleneksel olmayan bir imalat yöntemi olup, belli bir mesafe ile birbirinden uzaklaştırılmış bir iş parçası ile elektrotun arasında ark oluşturmak suretiyle malzeme aşındırılmasına olanak sağlayan mekanik olmayan ısıl işleme mekanizmasıdır. Yüksek frekanstaki kıvılcımlar hem iş parçasının hem de elektrotun yüzeyindeki malzemenin erimesine ve buharlaşmasına sebep olur.

Malzeme aşındırmasını arttırmak için, edm, dielektrik sıvı adı verilen elektrik iletken olmayan bir sıvının içinde çalışır [56]. Mikro EDM yöntemi de, EDM ile aynı prensipte çalışır. Sistem, literatürde ayrıntılı olarak belirtildiği gibi $\pm 0,5\mu\text{m}$ pozisyon hassasiyetine sahip bir servo mekanizması içermektedir [57]. Mikro edm'nin ana avantajı, hem yarı iletken hem de iletken malzemeler üzerinde mikro boyutlarda ve malzeme gerilmelerine sebep olmadan işleme yapmasıdır. Aynı zamanda, iş parçası malzemesinden talaş kaldırmak için düşük enerji gerektirir [58]. Bununla birlikte, bu işlemin çalışma prensibinden dolayı düşük malzeme kaldırma oranı dezavantajına sahiptir. Ayrıca işleme sırasında malzeme kaldırılan bölgede şekil ve boyutları kontrol etmek takım iş parçasıyla doğrudan temas halinde olmadığı için zordur [59]. Şekil 2.8'de edm yönteminin şematik gösterimi, Şekil 2.9'da ise bu yöntemle CBN takım üzerinde elde edilmiş doku kanallarının görüntüsü bulunmaktadır.



Şekil 2.8 Mikro Edm Yönteminin Şematik Resmi [56]



Şekil 2.9 Mikro Edm İle Dokulandırılmış Takım [61]

2.4.11 Elektrokimyasal İşleme İle Dokulandırma

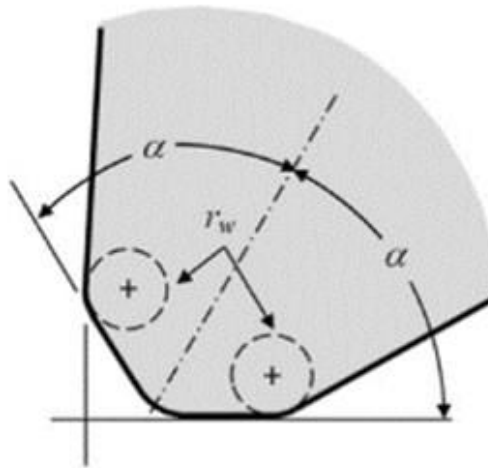
Geleneksel olmayan işleme yöntemlerinden elektrokimyasal işleme, anodik kutuplanmış parçanın yüzeyinden metal atomlarının katodik kutuptaki takım üzerinden geçen doğru akım yardımıyla koparılarak iyonlaşması ve bu iyonların elektrolit sıvı yardımıyla metal iyonu olarak işlenen bölgeden uzaklaştırılmasıdır. Mikro elektrokimyasal işleme diğer işlemlere kıyasla malzemeye herhangi bir termal veya mekanik hasar vermez, çapak veya döküntü oluşturmaz. Ancak bu işlemin dezavantajı, metal iyonlarının iş parçasından uzaklaştırılması için gerekli sürenin çok fazla olması ve işlem maliyetidir[46].

Silici Geometrilili Kesici Takımlar

3.1 Silici Takım Geometrisi

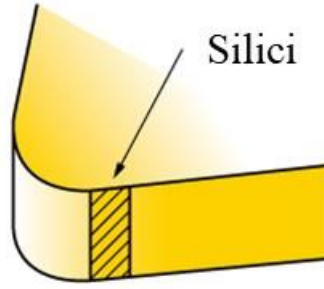
Talaşlı imalat endüstrisinde işlenmiş parçaların yüzey kalitelerinin, parçanın tasarımıdaki işlevine ve çalışacağı bölgeye göre, uygun bir değerde olması beklenir. Bu nedenle, kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği gibi işleme parametreleri, istenen yüzey kalitesi ve yüksek malzeme kaldırma oranı gibi proses beklentilerini karşılayacak şekilde seçilmelidir. Bu parametrelerin seçiminde işlenecek iş parçasının işlenebilirliği ayrıca kesici takımın malzeme özellikleri büyük rol oynar. Bunlara ek olarak, kesici takımın geometrisi de proses beklentilerine ve işleme şartlarına uygun seçilmelidir [62].

Seçilecek parametreler arasında iş parçası yüzey kalitesini etkileyen başlıca iki parametre, ilerleme ve kesici takımın köşe yarıçapıdır [62]. Takımın geometrisinin yeni yaklaşımlar kullanılarak, optimize edilmesi için kullanılan uygulamalardan bir tanesi de silici uç geometrisidir. Silici kesici ucun ana özelliği, kesici takım köşe yarıçapını geleneksel takıma göre farklı olmasıdır (Şekil 3.1).

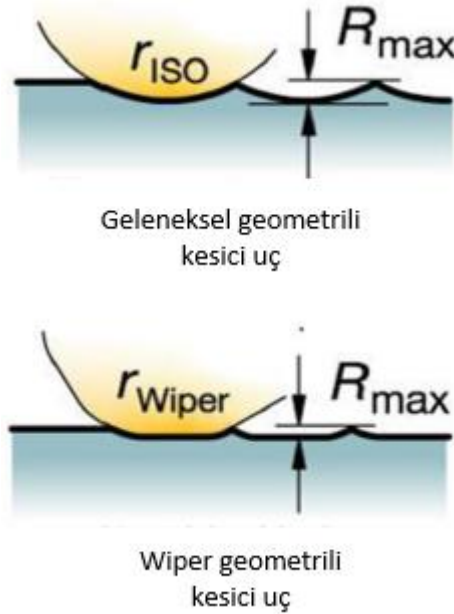


Şekil 3.1 Silici Takım Tasarımı (r_w : Silici Köşe Yarıçapı) [63]

Silici uçların geleneksel uçlardan farklı geometrileri, yüzey kalitesi ve ilerleme oranları arasındaki dengeyi değiştirerek kaliteli yüzey işlemlerinde yüksek verimlilikte çalışma olanağı sağlar. Temelde, wiper geometrili uçlar, özel r_w köşe yarıçaplarıyla üretilip yüksek performans ve verimlilikte çalışmak için üretilmişlerdir [63]. Uç yarıçapındaki bu özel bölge (Şekil 3.2), işleme sırasında oluşan yüzey pürüzlülüklerini olabildiğince azaltmaya yarar.



Şekil 3.2 Kesici Takımda Silici Geometriye Sahip Bölge



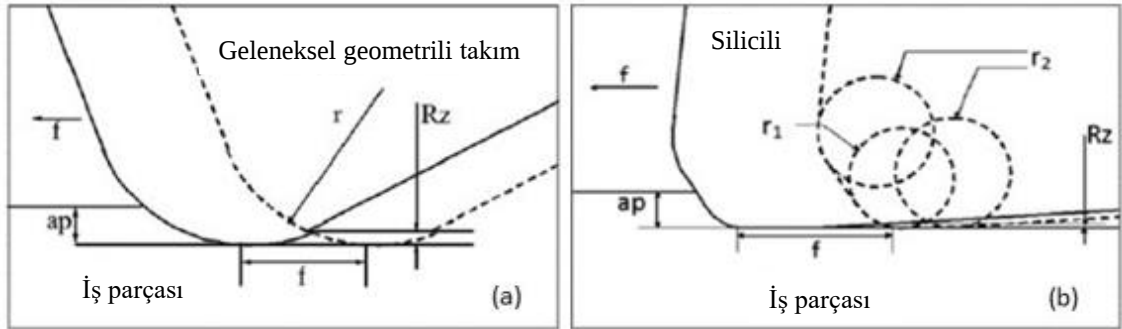
Şekil 3.3 Silici Geometrili Takımların İşlemedeki Farkı [64]

Geleneksel bir kesici uç, işlenmiş yüzeyde tepe noktaları ve oyuklar bırakır. Bununla birlikte, silici uç, geometrisinde fazladan bulunan yarıçaptan faydalanarak, yüzey pürüzlülüğünü oluşturan bu tepeleri ezerek temizler. Şekil 3.3'te, geleneksel geometrili takım ile silici geometrili takımın arasındaki bu fark şematik olarak gösterilmiştir [65].

(3.1) numaralı denklemden anlaşılağı üzere istenen yüzey pürüzlülüğü değerininde elde edilebilmesi için parametreler, ilerleme ve kesici takım ucu yarıçapı değlerleridir. Literatürde bu denklem ile teorik yüzey pürüzlülüğü değerininde elde edilebileceğı genel bir yaklaşım olarak belirlenmiştir. Fakat yüzey pürüzlülüğü değerininde rijit olmayan takım tezgahı yapısı, iş parçası ve kesici takım bağlama sistemlerinin koşulları, hatalı kesme hızı ve kesme derinliğı seçimi gibi uygunsuzluklardan etkileneceğı bilinmelidir [66].

$$R_t = \frac{f^2}{8r} \quad (3.1)$$

Bir adet uç yarıçapına sahip geleneksel kesici uç, istenen yüzey pürüzlülüğü elde etmek için işleme sırasında geometrisinden dolayı silici takıma göre düşük kalitede yüzey üretir. Silici geometriye sahip takım ile gelen fazladan silici yarıçaplar iş parçası üzerinde süpürme etkisi yaparak geleneksel geometrili takımın bu sorununun üstesinden gelebilir [67]. Şekil 3.4'te tipik bir silici geometri tasarımını ve geleneksel takıma göre farkı şematik olarak göstermektedir.



Şekil 3.4 Geleneksel (a) Silici (b) Geometrili Takım Karşılaştırması [67]

Silici geometrisi, yüzey kalitesini iyileştirmek için kullanılabilmesine rağmen, işlemeden kaynaklı bazı sınırlamaları vardır. Silici geometrili takımlar çok ince paso kaldırmak için uygulanan işlemlere uygun değildir, çünkü değıştırilen geometrideki uç yarıçaplarının doğru çalışması için geleneksel takıma görece yüksek kesme derinliklerine ihtiyaç duyar. Ayrıca, silici geometrisinden tam olarak yararlanmak için daha yüksek ilerlemelerde çalıştırılması tavsiye edilmektedir. Son olarak takım tezgahının statik ve dinamik rijitliğı bu geometrinin kullanımıyla ilişkili oluşan yüksek titreşimi ve kuvvetleri önleyecek kadar yüksek olmalıdır [66].

Silici geometrili takımlarla işlemede yüksek kalitede iş parçası yüzey pürüzlülüğü beklenmesi doğaldır. Bunun yanında, ürün maliyetini doğrudan etkileyen işleme süreleri ve talaş kaldırma hacmi gibi konular düşünüldüğünde kendine özgü geometrisinden kaynaklı yüksek ilerleme değerlerine çıkabilen silici takım, geleneksel takıma göre bu açıdan da üstündür. İşletmeler, ilerlemeyi iki katına çıkarabilir ve geleneksel bir uç kullanarak elde ettikleri yüzey kalitesini koruyabilirler [66].

Özetle, literatürdeki bu konuyla ilgili araştırmalar ışığında, silici geometrili takımların geleneksel geometrili takımlardan üstünlükleri aşağıdaki gibi sıralanabilir.

Diğer işleme parametrelerinin sabit olması koşuluna bağlı olarak, geleneksel geometrili takımla aynı yüzey pürüzlülüğünü iki kat ilerlemeyle elde edebilir. Ayrıca ilerleme değeri daha yüksek seçildiğinde verimlilik artacaktır. Elde edilen iş parçası yüzey pürüzlülüğü değeri, aynı işleme koşulları altında geleneksel geometrili takımlara göre daha iyidir. Yapılan çalışmalarda silici geometrili takımlarla işlemenin, elde edilen yüzey pürüzlülüğü değeri düşünüldüğünde taşlama işleminin yerine geçebileceği görülmüştür. Böylece son operasyona gerek kalmadan bitmiş parça elde edilebilir. Dahası takım maliyeti ve ek işlem maliyeti karşılaştırıldığında büyük getiri sağlayabilir. Sonuç olarak, bu geometriye sahip takımlar kullanılarak parça üretim süresi kısaltılabileceği literatürdeki ve endüstrideki çalışmalarda ispatlanmıştır [65].

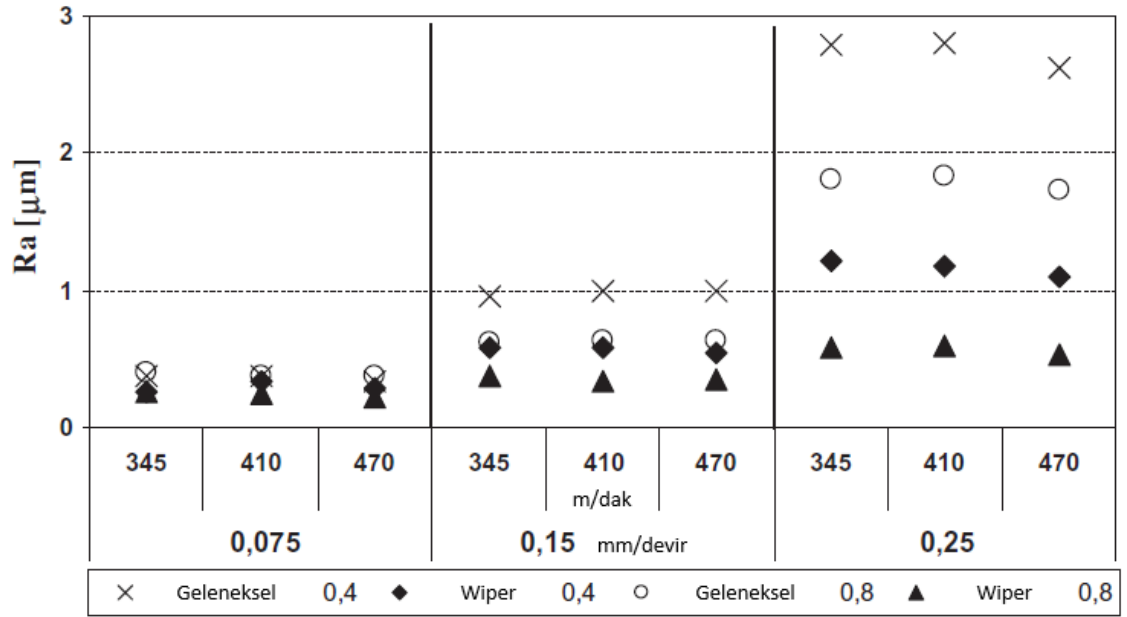
Tüm bu özellikleri göz önüne alındığında silici geometrili takımların kullanımı, talaşlı işleme sanayisi açısından önemli bir noktadadır. Fakat geleneksel geometrili takımlara göre daha pahalıya mal edilmeleri ve işleme sırasında yüksek titreşim ve yüksek kesme kuvvetleri oluşturmaları bu takımların kullanımını sınırlamaktadır. Yüksek kesme kuvvetleri ve titreşim takım ömrünü azaltmakta dolayısıyla takım sarfiyatı artmaktadır.

3.2 Silici Geometrilik Takımlarla Yapılan Bazı Çalışmalar

Talaşlı işlemede, işlenmiş parça kaba ve son işleme olmak üzere iki aşamada bitirilir. Kullanılan yüksek kesme derinliği, dolayısıyla yüksek malzeme kaldırma oranı kaba işleme için uygundur. Ancak parça tasarımındaki nihai ölçülere kaba işlem ile ulaşamaz. İstenen geometrik toleranslara ve parça boyutlarına ulaşılabilmesi için son işleme gereklidir. Bu işlemede, kaba işlemenin aksine düşük kesme derinliği, düşük ilerleme ve yüksek kesme hızı tercih edilir. Bunların yanı sıra son işleme için takım geometrisi seçimi de büyük önem taşır. Fakat düşük ilerleme değeri seçimi işleme süresini arttıracak, dolayısıyla süreç verimliliği düşecektir. Geleneksel geometrilik takımlar yerine silici geometrilik takımlar kullanılarak yüksek ilerleme değerlerine çıkılarak verimsizliğin önlenebileceği literatürdeki çalışmalarda kanıtlanmıştır. Bu bölümde, literatürde görülen, silici geometrilik takımlar üzerine yapılan çalışmalardan bazıları özetlenmiştir.

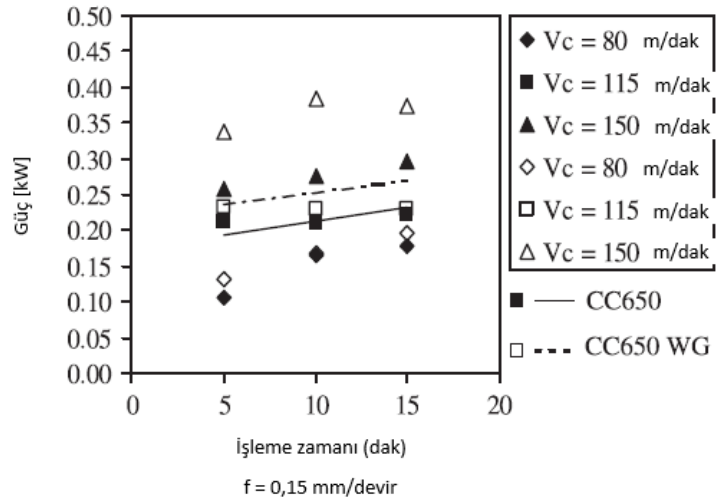
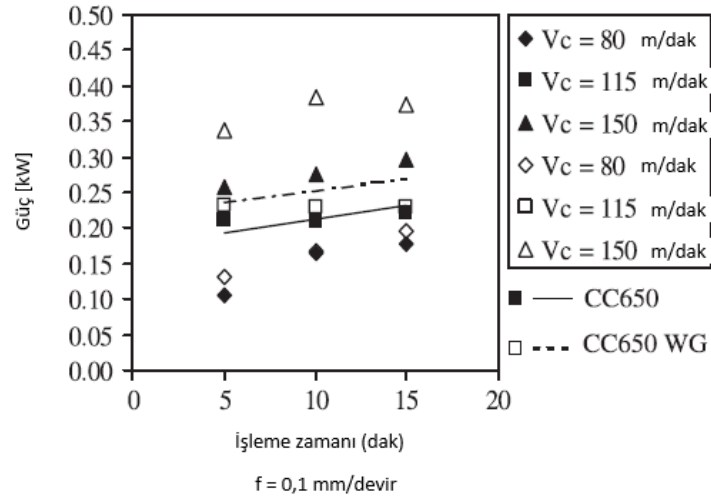
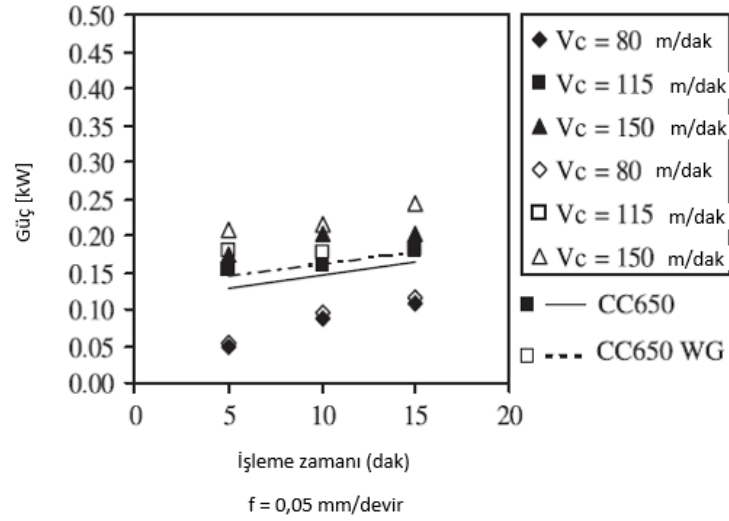
Konu ile ilgili araştırmacılar, silici geometrilik kesici uç kullanarak sert tornalama işleminde yüzey pürüzlülüğü analizi yapmışlardır. Araştırmada sunulan analiz, esas olarak yüzey pürüzlülüğü için silici ve geleneksel kesici uçların karşılaştırılmasına odaklanmıştır. Silici uç, geleneksel kesici uçlara kıyasla daha iyi yüzey kalitesi sağlamış ve dahası taşlama işlemi ile karşılaştırılabilir yüzey kalitesi sağlayabileceği araştırmacılar tarafından belirtilmiştir. Araştırmanın diğer çıktıları arasında ilerlemenin yüzey pürüzlülüğü için en önemli parametre olduğu görülmektedir. İlerlemeden sonra, kesme derinliği ve kesici uç geometrisinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye sahip olduğu da görülmüştür [68].

Bir başka araştırmada, AISI 1045 çeliğinin tornalanması sonucu elde edilen sonuçlara göre silici geometrilik takımlarla tornalamanın taşlama ile talaş kaldırmaya alternatif olabileceği görülmüştür [69]. Son (ince paso) işleme şartlarında yani düşük kesme derinliği ve ilerleme değerlerinde geleneksel takım ile silici geometrilik takım arasında iş parçası yüzey pürüzlülüğü hakkında bir fark gözlemlenmemiş, ancak silici geometrinin ilerleme değeri arttıkça daha iyi sonuç verdiği bildirilmiştir. Yine bu çalışmada farklı kesme hızlarında ve farklı ilerlemelerde, 0,4 ve 0,8 mm uç yarıçapına sahip silici ve geleneksel geometrilik takımlarla işlemler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 3.5'te verilmiştir.



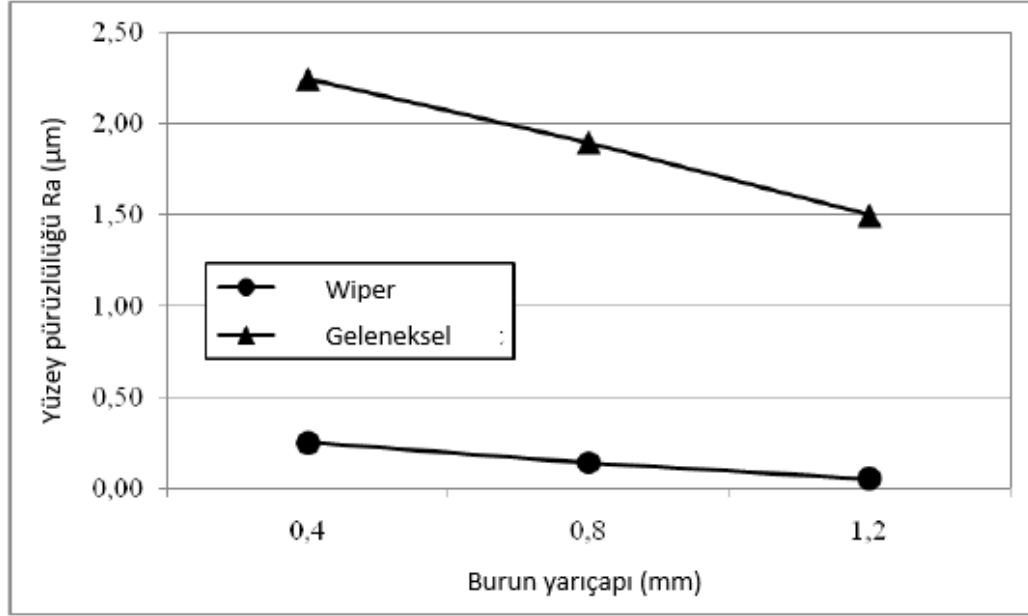
Şekil 3.5 Farklı Uç Yarıçapı (0,4 ve 0,8 mm) ve Kesici Uç Tipi (Geleneksel ve Silici) İçin Kesme Parametrelerinin (İlerleme ve Kesme Hızı) Ra Değerine Etkileri [69]

Bir diğer araştırmacılar yaptıkları çalışmada, AISI D2 çeliğinin sert tornalanması sırasında silici ve geleneksel geometrili seramik takımların arasındaki farkı incelemişlerdir [70]. Öncelikle iş parçası yüzey pürüzlülüğü ve verimlilik konularında silici seramik takımların çok daha avantajlı olduğu görülmüştür. Bu çalışmada, literatürdeki çalışmalardan farklı olarak, üç adet ilerleme değerinde ve çeşitli kesme hızlarında silici ve geleneksel geometrili takımlar, işleme için gerekli olan güç (kW) gereksinimi açısından karşılaştırılmıştır. Sonuçlar Şekil 3.6'da verilmiştir. Sonuçlara göre silici geometrili takımlarla işlemede gereken güç daha büyüktür ve bu sonuç işlemede oluşan kesme kuvvetlerinin daha yüksek olduğunu göstermektedir.



Şekil 3.6 Çeşitli Kesme Hızlarında Silici ve Geleneksel Geometrilı Takımlarda İşleme İçin Gerekli Olan Güç (kW) Gereksinimi [70]

AISI 52100 malzemesinin tornalanmasında PCBN silici geometrili uç kullanılarak iş parçası yüzey pürüzlülüğünü incelemek için başka bir deneysel çalışma da Guddat vd. tarafından yapılmıştır [71]. Yüksek ilerleme değerlerinde yüksek kalitede yüzey pürüzlülüğü değeri elde edilebileceğini kanıtlamışlardır. Deneysel çalışmalarının sonucu Şekil 3.7’de verilmiştir.



Şekil 3.7 Silici ve Geleneksel Takımlarda Burun Yarıçapı Yüzey Pürüzlülüğü İlişkisi [71]

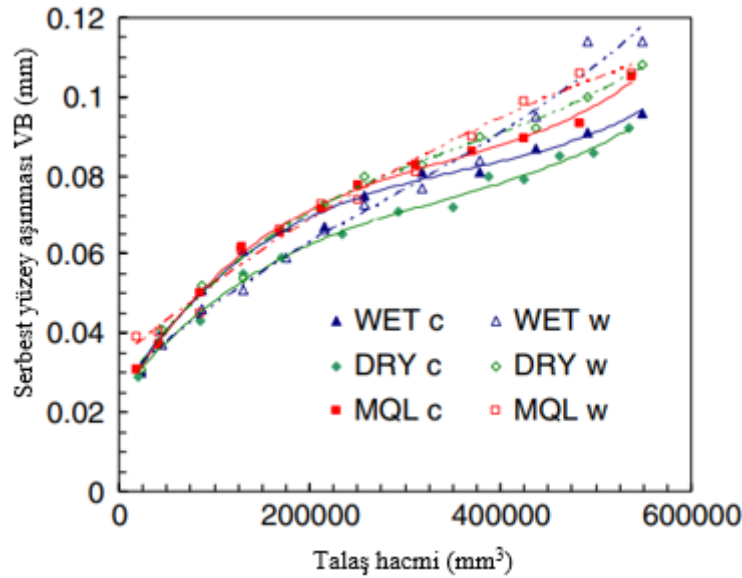
Grzesik ve Wanat, sertleştirilmiş çeliğin sert tornalanmasında silici geometrili kesici ucu geleneksel geometrili kesici uçla karşılaştırmışlardır. Deneysel çalışma, geleneksel tipteki kesici uçlara göre silici ucun kullanıldığında yüzey kalitesinin iyileştiğini ortaya koymuştur [72].

Bir diğer çalışmada araştırmacılar, silici ve geleneksel kesici uçlar ile metal matriks kompozit iş parçasını tornalamışlar ve elde ettikleri sonuçlara göre silici uçların kullanılması ile kesme kuvvetlerinin geleneksel tipteki uçlara kıyasla düştüğünü fark etmişlerdir. Bu sonucu, takımın kesici kenarı ve iş parçası arasında daha büyük temas uzunluğu olması ve dolayısıyla daha yüksek termal yumuşama ile ilişkili olduğu şeklinde yorumlamışlardır [73].

Stachurski vd. yaptıkları çalışmada, C45 çeliğinin tornalanması sonucunda oluşan iş parçası yüzey kalitesini incelemişlerdir [74]. Silici uçların kullanılması, geleneksel

geometrilik uç ile elde edilen değerlere bakıldığında üç kat daha iyi sonuç getirmiştir. Ayrıca bu çalışmayla, silici takımında köşe yarıçapının artmasıyla kesme kuvvetinin azaldığını raporlamışlardır.

Bruni vd. yaptıkları çalışmada martenzitik paslanmaz çeliğin tornalanmasında kullanılan silici ve geleneksel geometrilik iki kesici uç tipini incelemiştir. Silici geometrilik takımında geleneksel takıma göre biraz daha yüksek serbest yüzey aşınması olduğunu bildirmişlerdir. Buna karşın iş parçası yüzey pürüzlülüğünde literatürdeki diğer çalışmalara paralel olarak silici geometrilik takımın daha avantajlı olduğunu belirtmişlerdir [75]. Şekil 3.8’de kuru, düşük miktarda yağlama ve normal yağlama şartlarında geleneksel ve silici geometrilik takımların, deneylerde elde edilen serbest yüzey aşınması talaş hacmi grafiğı verilmiştir.

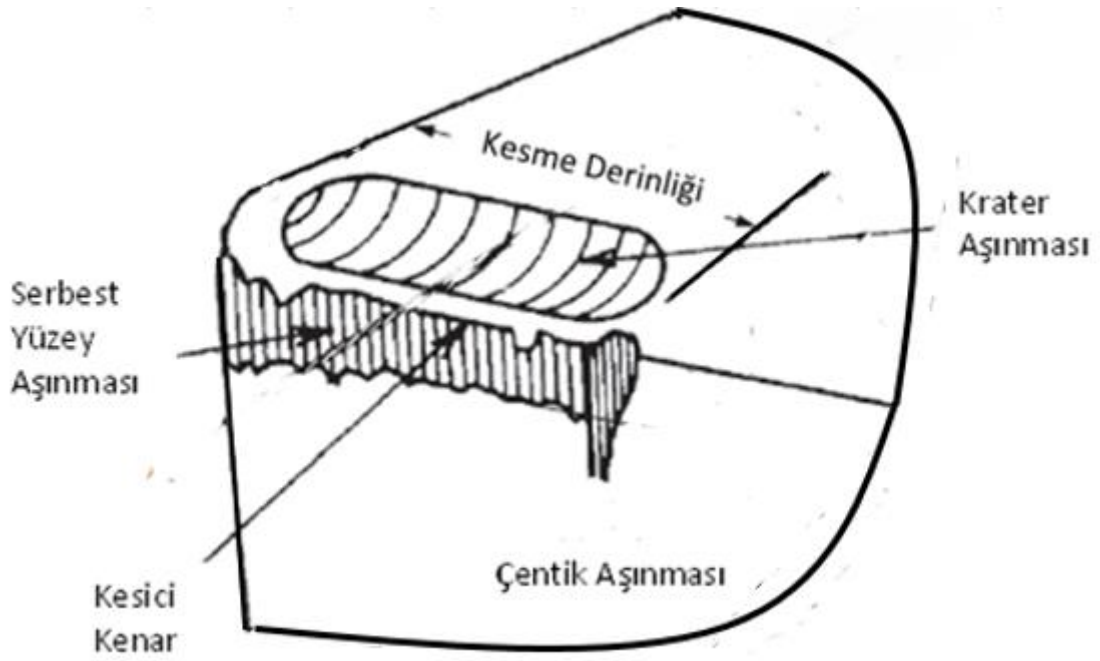


Şekil 3.8 Serbest Yüzey Aşınması – Talaş Hacmi Grafiğı (Geleneksel (c) ve Silici Kesici Uçlar (w) Normal Yağlama (WET), Kuru (DRY) ve Düşük Miktarda Yağlama Koşullarında (MQL)) [75]

Kesici Takımlarda Aşınmalar

4.1 Kesici Takımlarda Aşınma

Kesici takımlar, yalnızca işlem süresince belirli yüzey kalitesi ve boyut toleransı olan parçalar işleyebildikleri sürece kullanılabilir. Kesici takımın kalitesi aşınma veya kırılma nedeniyle bozulduğunda (Şekil 4.1), takım kullanım ömrünü tamamlamış demektir ve yenisi ile değiştirilmesi gerekir. Takım aşınması, iş parçası malzemesinde ve takım temas bölgelerinde kademeli olarak takım malzemesi kaybı olarak tanımlanmaktadır [76].

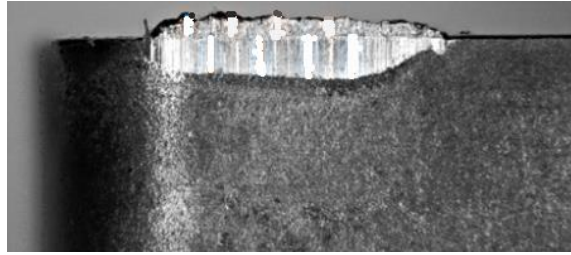


Şekil 4.1 Bazı Aşınma Türlerinin Şematik Gösterimi

Takım aşınması sırasında hangi aşınmanın takım ömrünü ne kadar etkilediğini saptamak çok zordur [77]. Kesici takımlarda aşınma, iş parçası malzemesinin özelliklerine, kesme parametrelerine (ilerleme, kesme hızı, kesme derinliği), kesme sıvısına ve işleme sırasında kesici kenarda oluşan sıcaklığa bağlıdır.

mekanizması takım talaş yüzeyinde meydana gelir ve krater aşınmasının oluşumuna neden olur [80].

Yapışan malzeme kararsızdır. Kesme işlemi esnasında kesici takımdan ayrılır ve ayrılma sırasında takım malzemesinde hasara yol açar. Metal işlemede aşınma tiplerinden biri olan yığma ağız oluşumu (genellikle düşük hızlarda yumuşak malzemelerin işlenmesinde görülür Şekil 4.3) etkin talaş açısının değişmesine yol açar, böylece kesme kuvvetleri değişkenlik gösterir ve kesici takımda aşınmaya neden olur [77].



Şekil 4.3 Yığma Ağız [24]

4.2.3 Difüzyon Aşınması

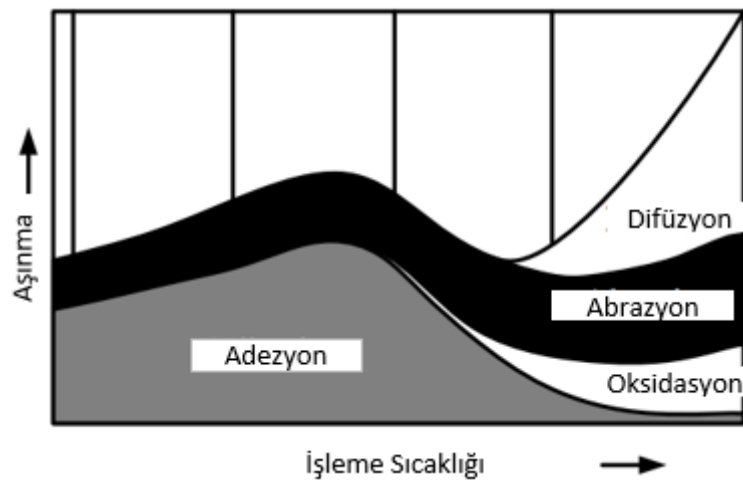
Takım ile iş parçasının temas bölgelerinde sıcaklık giderek arttığında, iki malzemedeki atomlar serbest kalır ve bu atomlar yoğunluğun fazla olduğu taraftan yoğunluğun az olduğu diğer malzemeye taşınır. Örnek olarak, karbürün (C) sertliği sağladığı tungsten karbür (WC) gibi bir takım malzemesinde, kobalt (Co) WC taneciklerini bağlar. Yüksek sıcaklıklarda karbon atomları, aynı atomların daha az yoğunluğa sahip olduğu iş parçası malzemesinin talaşına taşınır. Sonuç olarak, takım malzemesinin atomlarının talaş içerisine aşamalı olarak dağılması, kesici kenarı giderek zayıflatacak ve nihayetinde takımın aşınmasına, bir süre sonra ise kırılmasına neden olacaktır [77].

Difüzyon aşınmasının hızı, takım malzemesinin iş parçası içinde çözülme kabiliyetine ve yüksek sıcaklıkta takım ile talaş arasındaki temas süresine bağlıdır [81]. Difüzyon aşınması, takım malzemesinin daha az çözülme eğilimine sahip bir malzemeye değiştirilmesiyle azaltılabilir.

4.2.4 Oksidasyon Aşınması

Kesici takım atomlarının atmosferdeki oksijenle tepkimeye girmesiyle oksidasyon aşınması meydana gelir. Bu aşınma mekanizması, işleme sırasında sıcaklığın yüksek olduğu takım talaş temas bölgesinde atmosferle temas eden yüzeylerde oluşmaktadır [81]. Kesici takımdaki tungsten ve kobalt, çalışma yüzeyinde kesici kenar yakınında oksitlenir ve bu da kesici takım üzerinde çentik aşınmasına neden olur [77].

Talaşlı işleme sırasında etkili aşınma mekanizmalarının işleme sıcaklığındaki değişimle aşınma üzerindeki etkilerinin değişimi Şekil 4.4'te verilmiştir.



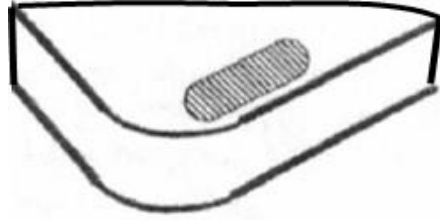
Şekil 4.4 Aşınma Mekanizmalarının Aşınma Oluşumuna Etkileri [79]

4.3 Kesici Takımlarda Aşınma Türleri

4.3.1 Krater Aşınması

Krater aşınması, takımın aşırı yükler ve yüksek sıcaklıklar altında talaşın sürtünme kuvvetine maruz kaldığı, takım talaş temas alanında meydana gelir. İşleme sırasında karbür takımın talaş yüzeyindeki sıcaklık 1000 °C'nin üzerine çıkabilmektedir [79]. Bu yüksek sıcaklıklarda, takımdaki atomlar sürekli olarak talaşın içine yayılır (difüze olur). Sıcaklık, yoğun difüzyon nedeniyle en yüksek miktarda krater aşınmasının meydana geldiği takım talaş temas bölgesinin orta noktasına yakındır. Krater aşınması kesici kenara yaklaştığında, kama bölgesi zayıflar ve takımın kırılmasına neden olur. Şekil 4.5'te krater aşınması şematik olarak gösterilmiştir. İş parçası malzemesine difüzyon açısından en az etkileşime sahip olan bir takım

malzemesi seçilerek krater aşınması en aza indirilebilir. Yağlama maddelerinin kullanımı da aşınmayı azaltacaktır. Yağlayıcı talaş ile takım arasına girerek, sürtünme kuvvetini ve dolayısıyla sıcaklığı azaltır. İş parçası malzemesi (çoğunlukla Fe esaslı malzeme) ve takım malzemesi (çoğunlukla WC) arasındaki kimyasal etkileşim, takımlara uygulanan Al_2O_3 , TiN ve TiC kaplamaları kullanılarak azaltılabilir. Kaplama malzemeleri düşük sürtünme katsayısına ve yüksek sıcaklıklarda güçlü kimyasal direnç sahiptir. Aynı zamanda, takımın kesici kenarındaki geometriden kaynaklı o bölgede yeteri kadar kaplama kalınlığı oluşmayabilir ve ağır kesme koşullarında bu bölgedeki kaplama çatlayabilir. Kaplamalı takımların kullanımı, yüksek hızlarda takım aşınmasını azaltarak verimliliği önemli ölçüde artırabilir [77].



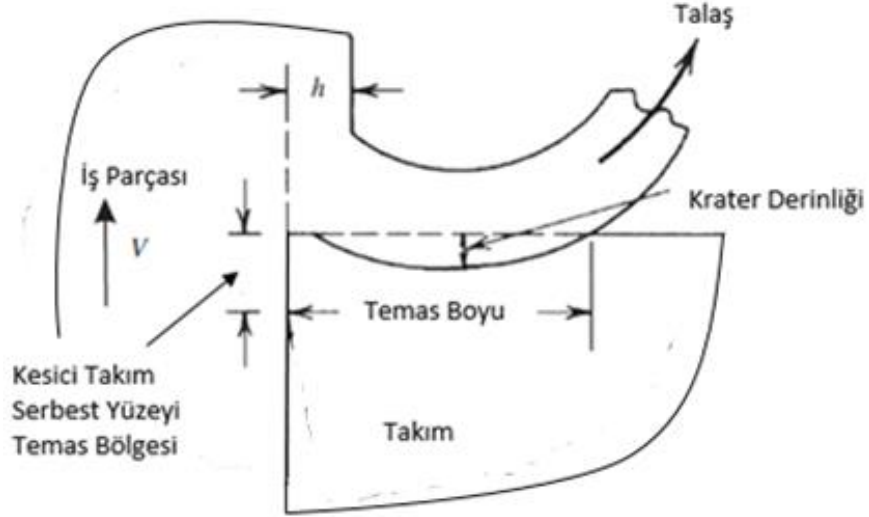
Şekil 4.5 Krater Aşınması

4.3.2 Serbest Yüzey Aşınması

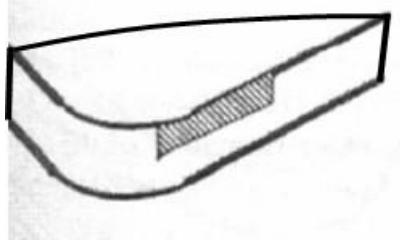
Talaşlı işleme sırasında kesici kenar, iş parçasının o pasodaki son yüzeyini oluşturur, bu sırada takımın serbest yüzeyi, iş parçası malzemesiyle olan temasından dolayı sürtünmektedir. Bu aşınma bölgesinin işlenmiş yüzeyle sürtünmesiyle talaş kaldırılan parça yüzeyinde hasar meydana gelir. Bu nedenle serbest yüzey aşınması arttıkça aynı takımla işlenen parçaların boyutsal doğruluklarında giderek azalma olur. Serbest yüzey aşınmasına yol açan bu durum Şekil 4.6'da, Şekil 4.7'de ise serbest yüzey aşınması şematik olarak gösterilmiştir.

Takım ve iş parçası malzemelerinin arasındaki adezyon nedeniyle işleme sırasında daha yüksek sıcaklıklara çıkılmakta ve aşınma artmaktadır. Abrasif aşınmadan dolayı ise, iş parçası malzemesinin sert tanecikleri veya takım ile iş parçası arasına giren parçacıklar takım serbest yüzeyini ve iş parçası yüzeyini işleme boyunca çizerek aşındırmaktadır. Bu iki adeziv ve abrasif aşınma mekanizmaları serbest

yüzey aşınmasında baskın rol oynarken, difüzyon aşınması da bu aşınma türünü etkileyen bir mekanizmadır.

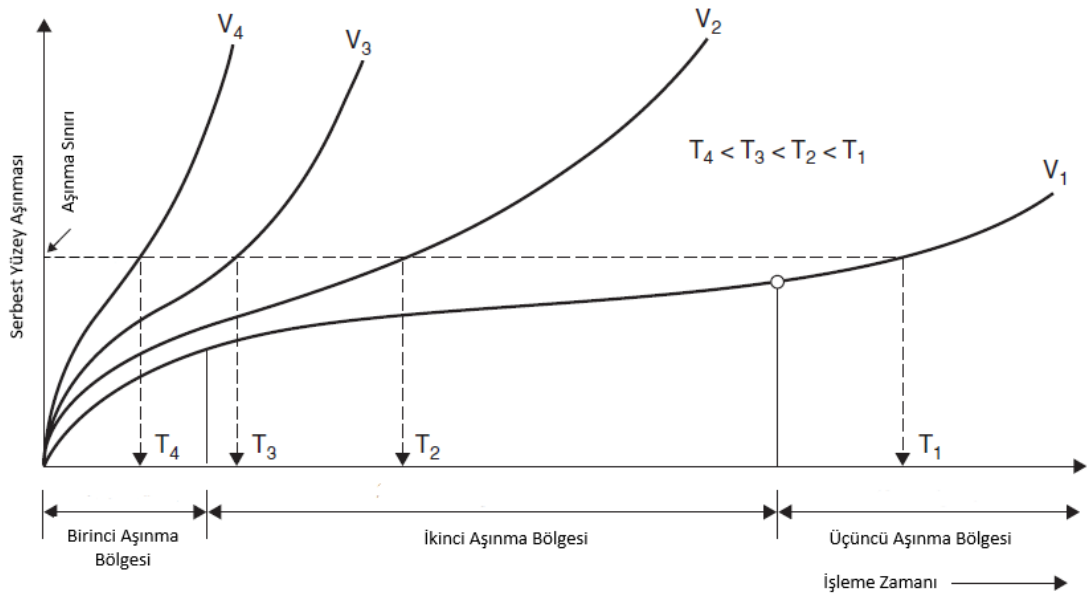


Şekil 4.6 Serbest Yüzey Temas Bölgesi



Şekil 4.7 Serbest Yüzey Aşınması

Bir kesici takımın serbest yüzey aşınması değeri, Şekil 4.1’de gösterilen VB’nin boyu kadardır. Tipik bir takım ömrü eğrisi, Şekil 4.8’de gösterilmiştir. Talaş kaldırma süresiyle birlikte serbest yüzey aşınması üç bölgeye ayrılmaktadır. Talaş kaldırma başladıktan hemen sonra takımın kesici kenarı hızlı bir şekilde aşınır. Bunu, artan işleme zamanı ile beraber, yaklaşık olarak lineer bir takım aşınması gelişimi izler. Aşınma alanı VB kritik bir sınıra ulaştığında, serbest yüzey aşınması katlanarak artar. Takım kırılmalarını önlemek için belirlenen VB_{limit} değerinde takımın değiştirilmesi gerekmektedir [77].



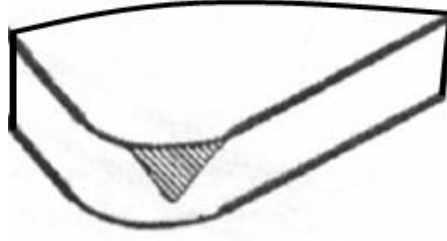
Şekil 4.8 Farklı Kesme Hızlarında Takım Ömrü Eğrileri [77]

4.3.3 Yığma Ağız Oluşumu

Genellikle, yumuşak malzemelerin düşük kesme hızlarında işlenmesiyle oluşan aşınma türüdür. Yığma ağız oluşumu işlenen malzemenin kesici kenara yapışmasından, malzemenin bu bölgede birikmesinden oluşur ve malzeme bu bölgede çıkıntı formunu alır (Şekil 4.3). Yığma ağız oluşumu işlem sırasında etkin talaş açısında ve kesme derinliğinde kararsız değişikliklere sebep olduğundan, kesme kuvvetlerini ve iş parçası yüzey pürüzlülüğünü olumsuz etkileyecektir. Kesme hızının arttırılması, yağlayıcılık özelliği güçlendirilmiş kesme sıvısı kullanımı ve pozitif talaş açılı takımların kullanımı bu türdeki aşınmayı önleyici tedbirler olarak sıralanabilir [77].

4.3.4 Burun Yarıçapı Aşınması

Bu aşınma, takımın burun yarıçapında, serbest yüzeyinin sonuna yakın bölgede meydana gelir. Burun yarıçapındaki aşınma, abrazyon ve oksidasyon aşınma mekanizmalarından kaynaklı oluşmaktadır. Şekil 4.9'da şematik olarak gösterilen bu aşınma türü iş parçası yüzey kalitesini olumsuz etkilemektedir.



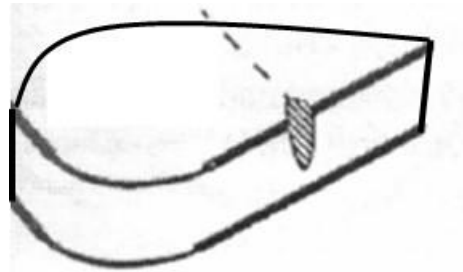
Şekil 4.9 Burun Yarıçapı Aşınması

4.3.5 Isıl ve Mekanik Çatlamalar

Bu çatlaklar, takımın değişken yüklerle yüklenmesi veya işleme boyunca oluşan yüksek işleme sıcaklıklarından meydana gelmektedir. Çatlak oluşumu, kesici takımın çok çabuk bir şekilde hasara uğramasına ve iş parçasının boyutsal hassasiyetinin kaybolmasına neden olur [81].

4.3.6 Çentik Aşınması

Çentik aşınması, parçanın işlenmemiş yüzeyi ile takım kesme derinliğinden sonra gelen kesme kenarı arasındaki temas noktasında oluşur. Şematik görüntüsü Şekil 4.10'da verilmiştir. Çentik aşınmasının nedeni, genellikle abrazyonun ve özellikle işlenmekte olan parçaların genel olarak yüksek sertlikte olmasından dolayı oluşan abrazif talaşın (genellikle paslanmaz çelik işlemede görülür) bir sonucudur. Takımın atmosferdeki gazlar ile kimyasal tepkimesi sonucu veya korozyon nedeniyle oluşan oksidasyon da bu aşınmada etkilidir. Kesme derinliğinin optimize edilmesi veya takım malzemesinin ısıl sertlik ve deformasyon direncinin artırılmasıyla bu türdeki aşınma azaltılabilir [80].



Şekil 4.10 Çentik Aşınması

4.3.7 Plastik Deformasyona Bağlı Aşınma

Takım ile talaş temas alanı üzerinde, talaş kaldırma sırasında oluşan yüksek basınçlar takım malzemesi tarafından karşılanamaz ise takım üzerinde plastik deformasyon oluşur. Bu aşınma türü, takımın kaldırabileceğinden yüksek ilerleme hızlarında veya takım malzemesinin yüksek kesme hızlarıyla birlikte sıcaklığının artıp sertliğini kaybetmesiyle oluşmaktadır. Bu aşınmanın sonucunda aşırı serbest yüzey aşınması oluşur ve iş parçası yüzey kalitesi olumsuz etkilenir [80].

4.3.8 Talaş Vurması İle Takım Aşınması

Bu aşınma genel olarak abrazif talaş meydana getiren paslanmaz çelik gibi malzemelerin yüksek sertlikteki seramik takımlarla işlenmesi sırasında meydana gelmektedir. Bu aşınma türü, talaşın kıvrılmasından sonra takımın yüzeyine çarpmasıyla takımın talaş yüzeyinde çukurlar oluşturmakta ve devamında takımı kullanılamaz hale getirmektedir. İlerleme, takım uç yarıçapı, kesme derinliği gibi parametreler işleme şartlarına göre optimize edilerek bu aşınma ortadan kaldırılabilmektedir [81].

4.3.9 Kenar Çentiklenmesi

Kenar çentiklenmesi, seramik gibi yüksek sertlikteki takımlarla yapılan talaş kaldırma işlemlerinde veya abrazif parçacıklar içeren metal matrisli kompozit malzemelerin işlenmesi durumunda karşılaşılan bir aşınma türüdür. Kesme parametrelerinin optimizasyonu ve takım malzemesinin dayanımının artırılması bu aşınma türü için uygulanabilecek önlemler arasındadır [80].

4.4 Takım Kırılması

Takım kırılması, takımın tüm kesme kabiliyetini sona erdiren, takımın önemli büyüklükte bir parçasının kaybı olarak tanımlanır. Yukarıda belirtilen aşınma türlerinin oluşumuyla küçük parçacıkların takımın kesici kenarından kopması istenmeyen bir durumdur, ancak işlemeyi tamamen durdurmamaktadır. Ancak, takımın talaş ve serbest yüzeyindeki sürtünmenin artması ve yukarıda sıralanan diğer sebeplerle oluşan aşınmaların gözlemlenememesi durumunda takım kırılır ve tümüyle kullanılamaz hale gelir [77].

5.1 Giriş

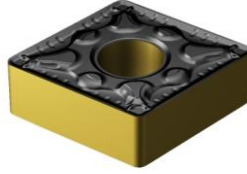
Tezin bu bölümünde, ön deney ve deneylerde gerçekleştirilen tüm çalışmalar ve sonuçları anlatılacaktır. Kesici takım dokulandırma işlemi ile ilgili literatürde yapılan çalışmalara bakıldığında, bütün araştırmalar konvansiyonel (geleneksel) geometrili takımlar üzerine olup, çalışmaların büyük bölümünde dokulandırma işlemi kesici takım talaş yüzeyine uygulanmaktadır. Bu çalışmada, geleneksel geometrili takımlar yerine silici geometrili takımların serbest yüzeylerinin dokulandırılmasıyla doku oluşumunun etkileri; takım ömürleri, kesme kuvvetleri, iş parçası yüzey pürüzlülükleri ve talaş oluşumları açılarından incelenmiştir. Ayrıca, dokulandırılmış silici takımların takım ömürleri göz önüne alınarak en uygun doku parametrelerinin bulunması amaçlanmıştır. Çalışmalar iki bölümde yapılmış olup, ilk bölümdeki ön deneylerde iki çeşit dokulandırma yöntemi kullanılarak geleneksel geometrili takımlar üzerinde doku parametreleri denenmiş ve elde edilen veriler, literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılarak nihai deneyler için doku parametreleri seçiminde referans veriler olarak kullanılmıştır. İkinci bölümde ise ön deneylerdeki veriler ışığında “Taguchi” deneysel tasarım yöntemi kullanılarak oluşturulan parametrelerle dokuz adet silici geometrili takım dokulandırılıp en uygun doku parametreleri araştırılmış, ayrıca bir adet dokulandırılmamış wiper geometrili takım ile da numuneler karşılaştırılıp işlemin etkileri incelenmiştir. Tüm talaşlı işlemler Yıldız Teknik Üniversitesi Talaşlı İmalat Laboratuvarında Goodway GA-230 CNC torna tezgahında yapılmıştır. Deneylerde iş parçası yüzey pürüzlülükleri yüzey pürüzlülük ölçüm cihazıyla, kesme kuvvetleri dinamometre ile ve takım serbest yüzey aşınması optik mikroskop ile ölçülmüştür. Kesme parametreleri ise ön deneyler ve nihai deneyler için farklı kendi içlerinde sabit olarak seçilmiş olup, çalışmanın talaş kaldırma şartları bölümünde ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

5.2 Deneylerde Kullanılan Kesici Takımlar, Kater ve İş Parçası Malzemesi

5.2.1 Deneylerde Kullanılan Takım Uçları ve Kater

Ön deneyler ve nihai deneyler için ISO standartlarına göre CNMG 12 04 08 tipinde kesici uçlar kullanılmıştır.

Ön deneylerde kullanılan takım ucu geleneksel geometrili, CVD kaplamalı karbür, Sandvik CNMG 12 04 08 PM 4315 takımdır. 0° boşluk açısına, 95° yaklaşma açısına ve 4,763mm genişliğe sahip uç Şekil 5.1’de gösterilmiştir. Bu tipteki takımlar talaşlı imalat sanayisinde çelik işlemlerde çokça kullanılmakta olup, takım temini kolayca yapılabilmektedir.



Şekil 5.1 Ön Deneylerde Kullanılan Geleneksel Geometrili Takım

Asıl deneyler için kullanılan takımlar ise wiper (silicili) geometrili, CVD kaplamalı CNMG 12 04 08 NF WPP20S takımlardır. 0° boşluk açısına, 95° yaklaşma açısına ve 4,763mm genişliğe sahip olan uç Şekil 5.2’de gösterilmiştir. Bu tipteki takımlar sanayide çelik işlemede, taşlama yerine son paso işlemlerde kullanılmakta ve tornalama sonucu yüksek kalitede yüzey pürüzlülüğü elde etmek için tercih edilmektedir.



Şekil 5.2 Deneylerde Kullanılan Wiper Geometrili Takım

Tüm işlemler boyunca kullanılan takımlara uygun ACLNL 25 25 M12 kater kullanılmış ve Şekil 5.3’te gösterilmiştir.



Şekil 5.3 Deneyde Kullanılan Kater

5.2.2 İş Parçası

Deneyssel çalışma boyunca, tüm deneylerde tek bir malzeme kullanılmıştır. Bu iş parçası, imalat sanayisinde çokça kullanılan, temini kolay ve literatürde üzerine çokça çalışılmış bir malzeme olan AISI 4140 (42CrMo4) ıslah çeliğidir. Malzeme kimyasal bileşimi Tablo 5.1’de verilmiştir.

Tablo 5.1 AISI 4140 Malzemesinin Kimyasal Bileşenleri

C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Mo
0,38-0,43	0,75-1	0,035	0,04	0,15-0,35	-	0,8-1,10	0,15-0,25

Tezgah boyutları göz önünde tutularak, iş parçasının çapı 70 mm ve uzunluğu 250 mm olarak seçilmiştir. Kullanılan malzeme ısıtma tabi tutulmuş ve çekirdeğe kadar 32 HRC sertliğine getirilmiştir. Parçaların temini sırasında punta delikleri açtırılmış ve işlemler ayna-punta bağlamasıyla yapılmıştır. Çalışmanın başında, iş parçalarının deneylere hazırlanması için üzerlerinden bir miktar talaş kaldırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca kuvvet ölçümleri sırasında dinamometre bağlantısını mümkün kılabilmek için bir uçtan silindirik tornalama yapılarak ölçüm yapılmayacak bölge 24mm çapa düşürülmüştür. Şekil 5.4’te iş parçası, Şekil 5.5’te ise deneylere hazır, bağlaması yapılmış parça gösterilmektedir.



Şekil 5.4 İş Parçası



Şekil 5.5 Deneylere Hazırlanmış Parçanın Tezgaha Bağlanmış Hali

5.3 Deneylerde Kullanılan Tezgah ve Yardımcı Aygıtlar

Tüm deneyler Goodway GA-230 CNC torna tezgahında gerçekleştirilmiştir. CNC torna tezgahı Şekil 5.6'da deney düzeneği ise Şekil 5.7'de gösterilmiştir.



Şekil 5.6 CNC Torna Tezgahı



Şekil 5.7 Deney Düzeneği

Deneyisel çalışmalar sırasında serbest yüzey aşınması, iş parçası yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvvetleri ve oluşan talaşlar incelenmiştir.

Kesme kuvvetleri ölçümü için Kistler marka 9257BA, 3 eksen ölçüm yapabilen kuvvet dinamometresi, Kistler 5233A amplifikatör modülü ve Kistler DynaWare yazılımından yararlanılmıştır. Dinamometrede strain gagelerden gelen sinyalleri gerekli olan kuvvet değerine dönüştürmek ve kaydetmek için sistemlerde amplifikatör (yükselteç), analog/dijital (A/D) dönüştürücü kart, veri okuma kartı, bilginin işleneceği bir bilgisayar programı ve bir güç kaynağı kullanıldı. Yük hücresinin analog girdisi kuvvet olup analog çıktısı da gerilim cinsindendir. Alınan bu kesme kuvveti sinyalleri veri okuma kartları aracılığıyla ana bilgisayara gönderilmiştir. Gönderilen veriler DynoWare programı vasıtası ile bilgisayara kayıt edilmiş ve kuvvet grafikleri oluşturulmuştur. Bu sayede kesme kuvveti, radyal kuvvet ve ilerleme kuvvetleri ölçülmüştür. Şekil 5.8’de kontrol ünitesi ve verilerin toplandığı bilgisayar, Şekil 5.9’da ise dinamometrenin tezgahdaki bağlantısı gösterilmiştir.



Şekil 5.8 Kesme Kuvvetleri İçin Kullanılan Kontrol Ünitesi Ve Bilgisayar



Şekil 5.9 Dinamometrenin Tezgahtaki Bağlantısı

Ön ve asıl deneylerdeki tüm takımlar belirlenen aşınma değerine geldiklerinde, iş parçası yüzey pürüzlülüklerini ölçmek için her bir takım ile 50 mm boyunca talaş kaldırılmış ve bu bölgede üçer adet ölçüm gerçekleştirilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü değerleri Mitutoyo SJ-210 marka portatif yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı ile ölçülerek alınan veriler bilgisayar ortamına aktarılmış ve grafikler haline

getirilmiştir. Ölçümler için kullanılan pürüzlülük cihazı Şekil 5.10'da gösterilmektedir.



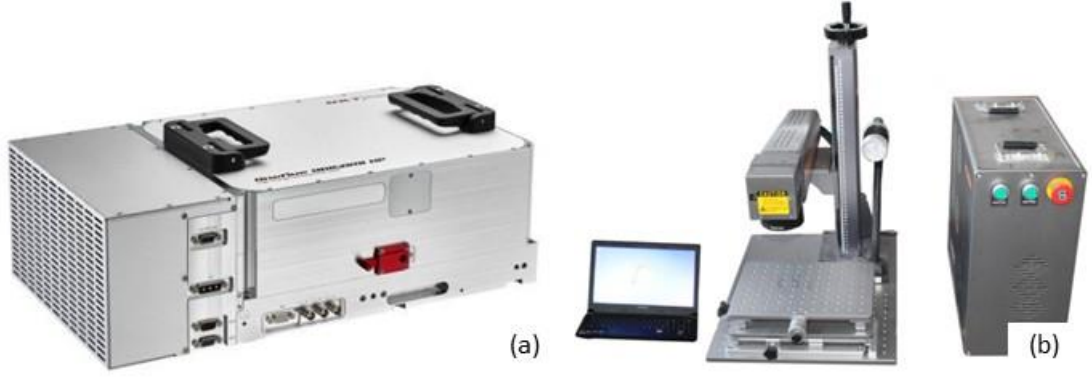
Şekil 5.10 İş Parçası Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Cihazı

Serbest yüzey aşınması ölçümü için her bir takım, belirlenen işleme mesafesinde talaş kaldırdıktan sonra SOIF model 1.0 μm hassasiyette OSM optik mikroskop (Şekil 5.11) kullanılarak aşınma ölçümüne tabi tutuldu. Elde edilen tüm veriler Excel programı vasıtası ile bilgisayar ortamına aktarıldı ve serbest yüzey aşınma grafikleri oluşturuldu.



Şekil 5.11 SOIF Model Mikroskop

Takımların yüzeylerini dokulandırmak için ise ön deneylerde farklı derinliklerdeki takımları oluşturmak için femtosaniye lazer ve fiber lazer, asıl deneylerde ise tüm takımlar için fiber lazer kullanıldı. Şekil 5.12a'da femtosaniye lazer ve Şekil 5.12b'de fiber lazerin görüntüleri verilmiştir.



Şekil 5.12 Femtosaniye Lazer (a), Fiber Lazer (b)

Femtosekniye lazer, lazer ışınının ancak femtosekniye büyüklüğündeki süreler boyunca etkili olduğu, bu kısa süreli atımlar sayesinde uygulandığı noktada oluşan ısınn komşu moleküllele geçişi olmayan bir lazer teknolojisidir. Fiber lazer ise, özel tasarlanan cam fiberlerle ışının taşındığı, pompa diyotları aracılığıyla çekirdek lazerde üretilen enerjinin malzeme üzerine uygulandığı lazer türüdür.

5.4 Ön Deneyler

5.4.1 Amaç

Literatürdeki çalışmalara paralel olarak, geleneksel geometrili takımlar ile doku formu ve derinliğinin serbest yüzey aşınmasına etkilerini incelemek ve elde edilecek veriler ışığında asıl deneyleri tasarlamak için, ilk olarak ön deneyler yapılmıştır.

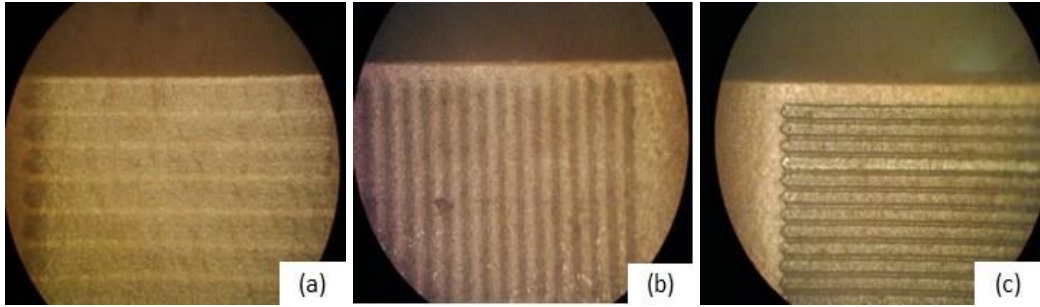
5.4.2 Deney Şartları ve Uygulanması

Kesici takım serbest yüzeyinde doku oluşturulması ile yüzey doku formlarının ve derinliklerinin takım serbest yüzey aşınması üzerindeki etkilerini belirleyebilmek için bir dizi ön deneyler gerçekleştirilmiştir. Ön deneylerde kesici takım serbest yüzeyini farklı derinliklerde dokulandırmak ve en uygun dokulandırma işlemini seçmek adına femtosekniye lazer ve fiber lazer olmak üzere iki farklı uygulama ile 3 adet dokulandırılmış takım hazırlanmıştır. Dokulandırma işleminin serbest yüzey aşınmasına etkisini gözlemlemek adına kesici takım serbest yüzeyinde doku oluşturulmayan bir adet takım (NT) da referans olarak diğer takımlarla aynı deneylere tabi tutulmuştur. Doku tipinin serbest yüzey aşınmasına etkilerini incelemek için, doku tipi kesici kenara göre paralel (PT) ve dik (PPT) olmak üzere iki adet takım ve dokusuz takım karşılaştırılmıştır. Deneylerin devamında doku

derinliğinin serbest yüzey aşınmasına etkisini ölçmek için dokusuz takıma göre serbest yüzey aşınması en düşük olan PT ile yine kesici kenara göre paralel fakat fiber lazerle elde edilen daha derin dokulu takımın (DPT) serbest yüzey aşınmaları karşılaştırılmıştır. Son olarak dokulandırma işleminin tüm aşınma bölgelerindeki etkinliğini incelemek adına, ISO 3685 standardına göre takım ömrü ölçütü olan 0,3 mm değerine kadar DPT ve NT takımları ile talaş kaldırılmış ve serbest yüzey aşınma grafikleri çıkartılmıştır.

5.4.3 Yüzey Dokulandırma ve Numuneler

Femtosaniye lazer parametreleri; lazer işleme hızı 1000 $\mu\text{m/s}$, atlama hızı 125mm/s ve tekrarlama hızı 1000 mm/s ayrıca lazer dalga boyu 800 nm, ışın atım süresi 120 fs ve lazer gücü 50 mW olarak, diğer yandan doku derinliğini arttırmak için kullanılan fiber lazer parametreleri; işlem süresi 5 sn, dalga boyu 532 nm, tekrarlama hızı 1000 mm/sn, lazer işleme hızı 1000 $\mu\text{m/s}$ ve lazer gücü 12,5 W olarak seçilmiştir. Kesici takımlarda oluşturulan dokuların mikroskop görüntüleri Şekil 5.13'te verilmiştir. (a) femtosaniye lazer ile dokulandırılmış kesici kenara paralel (PT) takım, (b) femtosaniye lazer ile kesici kenara dik (PPT) takım ve fiber lazer ile dokulandırılmış kesici kenara paralel (DPT) takım mikroskop görüntüleridir.



Şekil 5.13 Dokulandırılmış Kesici Takımların Mikroskop Görüntüleri

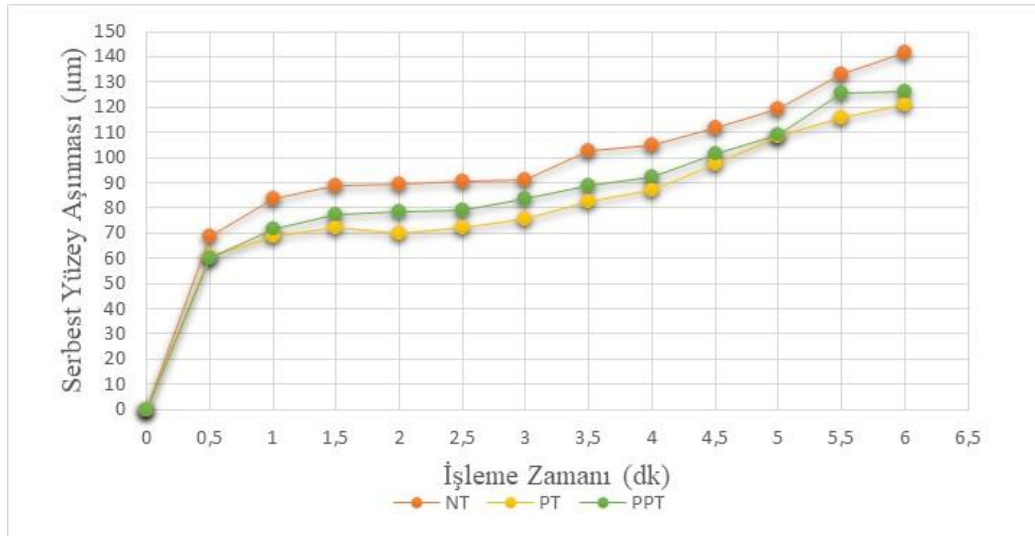
5.4.4 Talaş Kaldırma Şartları

Talaş kaldırma şartları tüm ön deneylerde sabit olarak, kesme hızı (V_c) 180 m/dk, ilerleme (f) 0,2 mm/devir ve kesme derinliği (a_p) 1,5 mm seçilmiştir ve kuru kesme işlemlerinde kullanılmıştır.

5.4.5 Ön Deney Çıktıları

5.4.5.1 Doku Tipinin Kesici Takım Serbest Yüzey Aşınmasına Etkileri

Ön deneylerin ilk aşamasında, femtosaniye lazer ile kesici kenara paralel (PT) ve dik (PPT) olarak dokulandırılmış takımlar ve dokulandırılmamış takımın serbest yüzey aşınmaları eşit işleme zamanlarında karşılaştırılmıştır. Deney boyunca belirlenen işleme zamanı aralıklarında her bir takımın serbest yüzey aşınması ölçülerek grafik oluşturulmuştur. Literatürdeki diğer çalışmalara paralel olarak, dokulandırılan kesici takımların serbest yüzey aşınmasında azalma görülmüştür. Deneylerin sonucunda, eşit doku derinliklerine sahip PT ve PPT dokulu takımlarla talaş kaldırıldığında, dokulandırılmamış NT takımına göre serbest yüzey aşınması farkları elde edilmiş, Şekil 5.14'te gösterilmiştir. PT'nin aynı işleme zamanında diğer takımlara göre serbest yüzey aşınması en düşük çıkmıştır. Dokulandırma işleminin tornalama sırasında takım ile malzeme arasındaki sürtünmeyi azaltmasından [30] dolayı, kesme kuvvetlerinin ve işleme sıcaklığının azaldığı ve bu durumun serbest yüzey aşınmasını azalttığı düşünülmektedir.

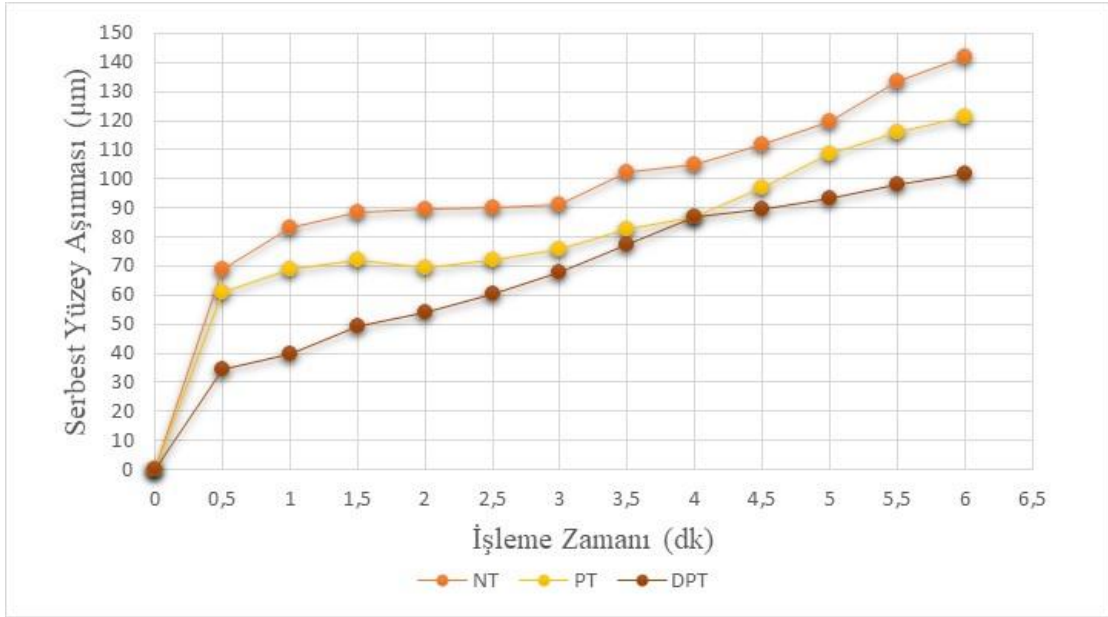


Şekil 5.14 NT, PT ve PPT Takımlarına Ait Serbest Yüzey Aşınmaları Grafiği

5.4.5.2 Doku Derinliğinin Kesici Takım Serbest Yüzey Aşınmasına Etkileri

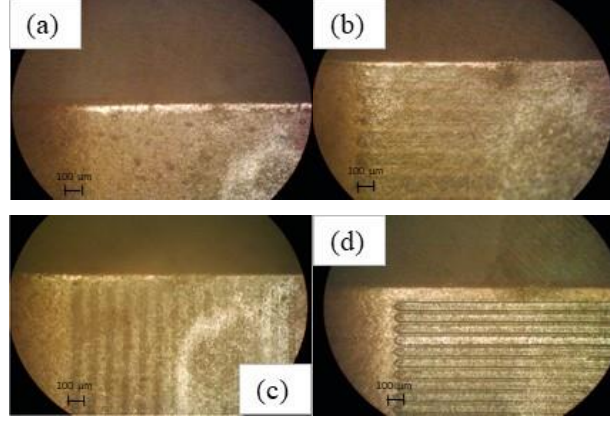
Doku derinliğinin serbest yüzey aşınmasına olan etkilerini incelemek için, dokulandırılmamış takıma göre serbest yüzey aşınması en düşük olan PT takım ile yine kesici kenara paralel fakat daha derin dokulu DPT takım, aynı kesme

şartlarında ve aynı ölçüm sıklığında serbest yüzey aşınmaları açısından karşılaştırılmıştır. Elde edilen aşınma eğrileri Şekil 5.15'te verilmiştir.

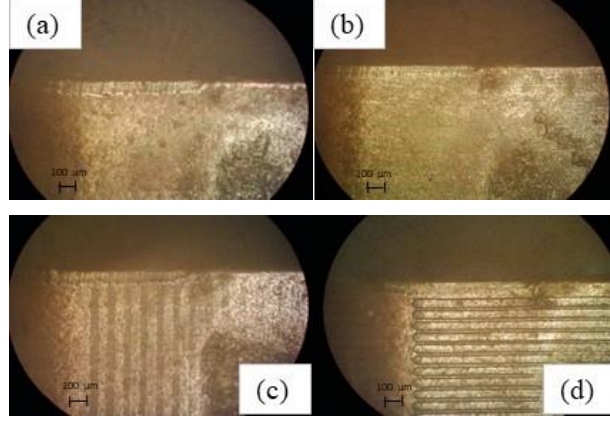


Şekil 5.15 NT, PT ve DPT Takımlarına Ait Serbest Yüzey Aşınmaları Grafiği

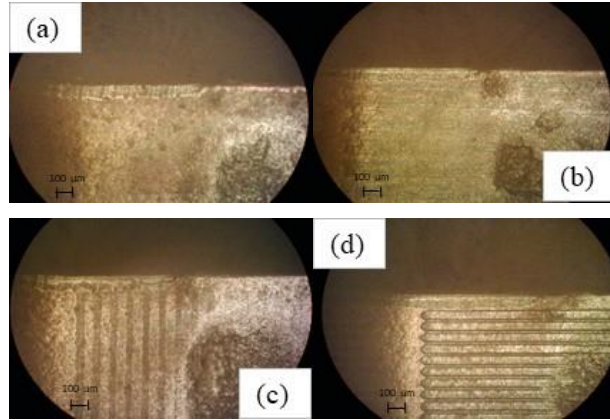
Elde edilen grafiğe göre, serbest yüzey aşınması açısından, DPT takımın dokulandırılmamış takıma göre önemli ölçüde ve derinliği az olan PT dokulu takımına göre avantajlı olduğu gözlemlenmiştir. PPT ve PT takımlarına göre derin dokulandırma ile daha önceden sayılan tüm getirilere ek olarak, serbest yüzeyde oluşan mikro kanalların işleme sırasında aerodinamik soğutucu etki sağlaması, ayrıca işlem sırasında sürtünme bölgesinin daha da azalmasından dolayı serbest yüzey aşınmasının DPT takımda en aza indiği sonucuna varılmıştır. Takımların belirli işleme zamanlarındaki serbest yüzey aşınması görüntüleri Şekil 5.16 (16.a-16.b-16.c)'da gösterilmiştir.



Şekil 5.16a 23 sn Sonunda Takım Aşınması, (a) NT=59,34 µm, (b) PT=60,2 µm,
(c) PPT=56,98 µm, (d) DPT=31,82 µm



Şekil 5.16b 273 sn Sonunda Takım Aşınması, (a) NT=111,8 µm, (b) PT=97,18 µm,
(c) PPT=101,48 µm, (d) DPT=89,4 µm



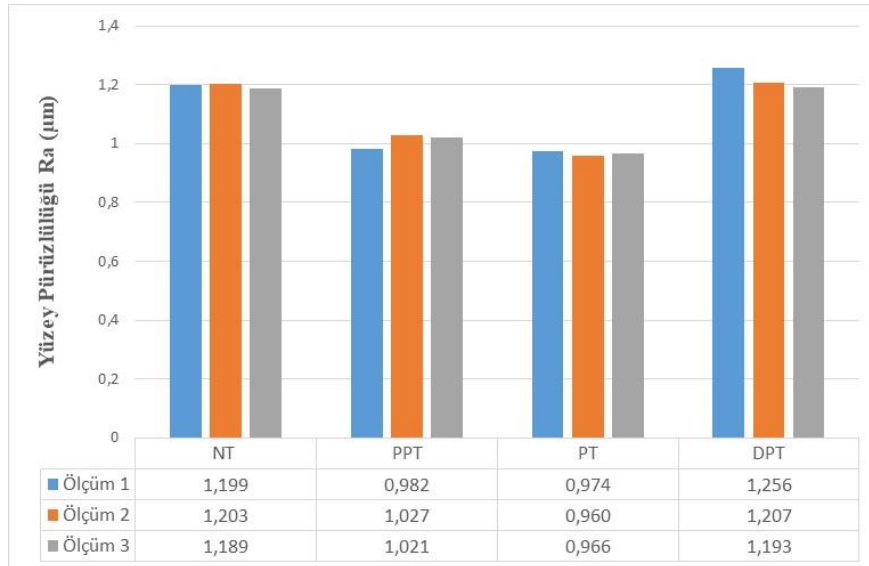
Şekil 5.16c 349 sn Sonunda Takım Aşınması, (a) NT=137,6 µm, (b) PT=121,26 µm,
(c) PPT=126,42 µm, (d) DPT=100,2 µm

Şekil 5.16 Takımların Belirli Zamanlardaki Serbest Yüzey Aşınma Miktarları

5.4.5.3 Dokulandırma İşleminin İş Parçası Yüzey Pürüzlülüğüne Etkileri

Şekil 5.17’de dokusuz ve farklı doku tiplerine sahip takımlarla işlenmiş parçalardaki aritmetik ortalama yüzey pürüzlülüğü ölçümleri gösterilmiştir. Tüm takımlarla işlemlerden sonra üçer adet ölçüm alınmış olup, dokusuz takımda ortalama 1,197 μm , PPT takımında ortalama 1,01 μm , PT takımında ortalama 0,967 μm ve DPT takımında ortalama 1,219 μm Ra değerleri ölçülmüştür. Femtosaniye lazer ile dokulandırılmış PPT ve PT takımları ile işlemede elde edilen Ra yüzey pürüzlülük değerleri, dokusuz takım ile işlemeye göre önemli ölçüde iyileşmiştir. Fakat doku tipinin kesici kenara göre paralel veya dik olması arasında önemli bir fark görülememiştir.

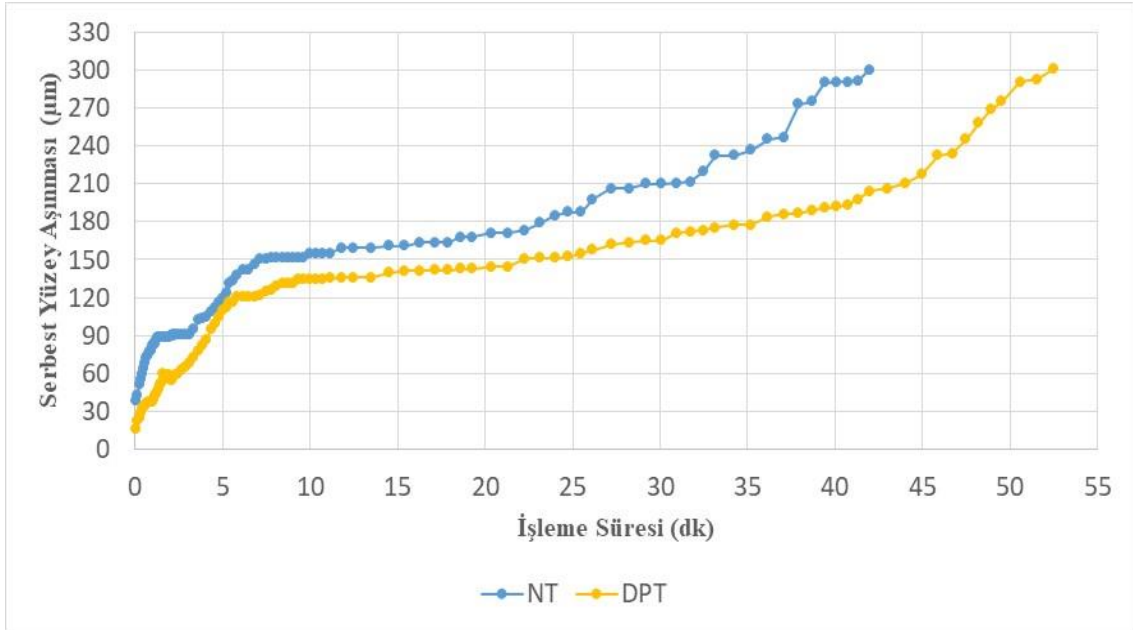
Fiber lazer ile dokulandırılmış DPT takımıyla yapılan talaş kaldırma işlemi sonucunda ise Ra değeri dokusuz takım ile yakın değerlerde çıkmıştır. Takım üzerinde oluşturulan doku sayesinde elde edilen daha düşük takım iş parçası temas alanı ile oluşan daha az sürtünmeden kaynaklı Ra değerinde düşüş beklenen bir sonuçtur. Fakat DPT takımının diğer takımlara göre daha derin dokulandırılması sırasında, lazerin takımın serbest yüzeyinde deformasyona neden olduğu ve işleme sırasında bu deformasyona uğramış yüzeyin iş parçası malzemesinin yüzey pürüzlülüğünü arttırdığı düşünülmektedir. Bu nedenle DPT takımı diğer dokulu takımlara göre daha kötü bir yüzey pürüzlülüğü performansı göstermiş çıkarımı yapılabilir.



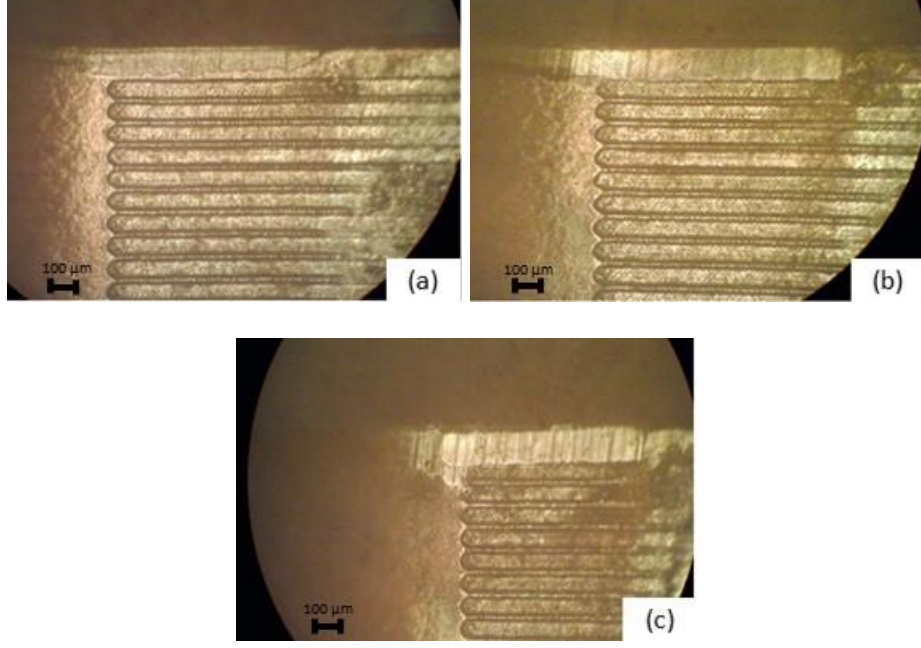
Şekil 5.17 İş Parçası Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümleri

5.4.5.4 Dokulandırma İşleminin Tüm Serbest Yüzey Aşınması Boyunca Etkileri

Dokulandırma işleminin, ISO 3685 standardına göre belirlenen takım ömrü ölçütü değeri 0,3 mm'ye kadar etkilerini incelemek üzere tüm dokulandırılan takımlar arasında en iyi aşınma performansını gösteren takım ile dokusuz takım karşılaştırılmış ve aşınma grafiği Şekil 5.18'de verilmiştir. Bu grafiğe göre, kesici takım serbest yüzeyinde doku bulunması, henüz aşınma boyunun doku olan bölgeye gelmemesine rağmen serbest yüzey aşınması üzerinde etkinliğini göstermekte ve aşınmanın azalmasını sağlamaktadır. Dokulandırma işlemi ile oluşan kanalların soğutma etkisi sağladığı ve mikro talaşların bu kanallar aracılığıyla iş parçası yüzeyinden uzaklaştırıldığı için bu etkinin gözlemlendiği düşünülmektedir. Aşınmanın devam ettiği süreçte, doku kanallarının etkinliği artmakta, dolayısıyla takım ile iş parçası temas yüzeyi giderek düştüğünden aşınma hızı azalmaktadır. Böylece kesici takım serbest yüzeyindeki aşınma dokusuz takıma göre gecikmekte ve takım ömrü artmaktadır. DPT takımının serbest yüzey aşınması boyunca belirli işleme zamanlarındaki görüntüleri Şekil 5.19'da gösterilmiştir.



Şekil 5.18 0,3 mm'ye Kadar NT ve DPT Takımlarının Serbest Yüzey Aşınması Grafiği



Şekil 5.19 DPT Takımının, 6,15, 37 ve 52,5 dk Sonundaki Takım Aşınmaları

5.4.6 Ön Deney Sonuçları

Ön deneylerde, serbest yüzeyi dokulandırılmış takımın aşınmasını azaltmak ayrıca doku tipinin ve derinliğinin etkilerini incelemek için farklı geometriler ve derinliklerde dokulara sahip takımlar hazırlanarak AISI 4140 (32HRC) malzemesi kuru tornalanmıştır. Çalışma sonuçlarına göre;

Kesici takım serbest yüzeyinde doku bulunması kesici takım serbest yüzey aşınmasını azaltmış ve takım ömrünü önemli ölçüde arttırmıştır.

Literatürdeki çalışmalara paralel olarak takım serbest yüzeyinde doku bulunması ve bunun sonucu takım iş parçası arasındaki temas yüzeyinin azalmasından dolayı aşınma azalmakta, takım ömrü artmaktadır.

Yapılan deneylerde elde edilen verilere göre doku tipi açısından serbest yüzey aşınmasını en çok azaltan serbest yüzey dokusunun, takım kesici kenarına göre paralel doku olduğu görülmüştür.

Deneylerin devamındaki sonuçlara göre doku derinliğinin etkisi serbest yüzey aşınmasına önemli derecede etki etmektedir. İki farklı derinlikteki takımların (PT ve DPT) serbest yüzey aşınmaları karşılaştırıldığında, bu etki net görülmekte olup, doku derinliğinin artması ile daha az serbest yüzey aşınması oluşmaktadır.

Derin olmayan doku talaş kaldırma sırasında serbest yüzey aşınması devam ettiği süreç içinde etkinliğini yitirmekte, fakat derin olan doku ise serbest yüzey aşınması süresince etkisini sürdürmektedir.

Kesici takım da doku bulunmasının, takım ile iş parçası arasındaki temas yüzeyinin küçülmesi nedeniyle, kesme kuvvetleri ve kesme sıcaklığını azaltıp böylece takım ömrünü arttırdığı, hatta dokulandırma işlemiyle oluşan kanalların aerodinamik soğutma etkisi de yaptığı düşünülmektedir.

Serbest yüzey dokulandırma işleminin, iş parçası aritmetik ortalama yüzey pürüzlülüğünü azalttığı elde edilen sonuçlar arasındadır. Fakat derin dokulu takım, fiber lazer ile dokulandırma işlemi sırasında serbest yüzeyde oluşan deformasyonlardan dolayı diğer dokulu takımlara göre daha kötü performans göstermiştir. Bu sonuçlara göre dokulandırma işlemi sonrasında uygulanacak bir ara operasyonun, deformasyona uğrayan bölgedeki, mikro yapıların takımın serbest yüzeyinden uzaklaştırılmasıyla iş parçası yüzey pürüzlülüğünün azaltacağı öngörülmektedir.

5.5 Deneyler

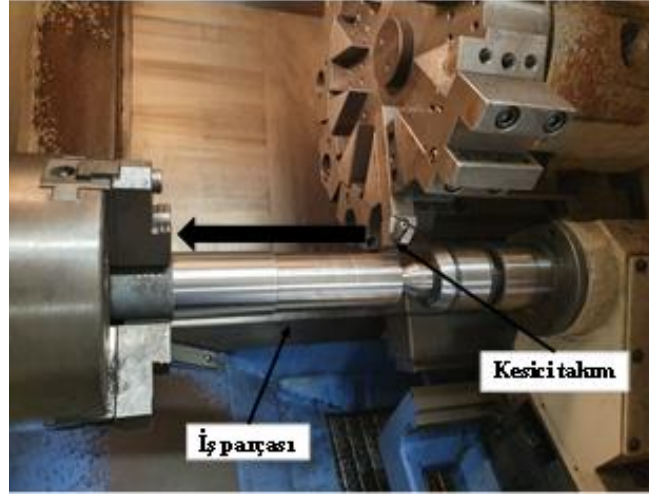
5.5.1 Amaç

Literatürde kesici takım dokulandırılmasıyla ilgili çalışmalara bakıldığında henüz silici geometriye sahip takımlar üzerinde araştırma bulunmamaktadır. Geleneksel geometrili takımlara göre aynı ilerleme değerinde daha iyi iş parçası yüzey pürüzlülüğü elde edilebilmesi, ayrıca geleneksel takımlara göre yüksek ilerleme değerlerinde daha iyi performans göstermesi silici geometrili takımların geleneksel takımlara göre en büyük üstünlüklerindendir. Yüksek ilerleme değerlerine çıkabilmesiyle işletmelerde imalat süreleri açısından kazanım sağlamakta, ayrıca tornalama işleminde, silici geometrili uç kullanılması durumunda, taşlama işleminde elde edilen yüzey kalitesine yakın değerlerin sağlanabildiği, literatür çalışmalarında görülmektedir. Dokulandırma işleminin, silici geometrili takımlar üzerindeki etkilerini incelemek adına, deneylerde elde edilen verilerden yararlanılarak “Taguchi” L9 (3^3) ortogonal deneysel tasarımı ile doku parametreleri belirlenen dokuz adet silici geometrili takım dokulandırılmıştır.

Takım ömrü temel alınarak en uygun doku parametrelerinin saptanması ve kesici takım dokulandırma işleminin takım ömrü, kesme kuvvetleri, iş parçası yüzey pürüzlülüğü ve talaş oluşumu açılarından wiper geometrili takımlar üzerindeki etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Tüm bu incelemelere referans olması için bir adet dokulandırılmamış silici geometrili takım da aynı deneylere tabi tutulmuş ve dokulu takımlarla karşılaştırmaları yapılmıştır.

5.5.2 Deney Şartları ve Uygulanması

Doku parametreleri belirlenen takımlar fiber lazer ile dokulandırılmış ve tüm takımlar için sabit talaş kaldırma şartlarında talaşlı işlemler yapılmıştır. Oluşturulan deney düzeneği Şekil 5.20’de gösterilmiştir. İlk olarak asıl deneylerde, dokuz adet kesici takım 180 µm serbest yüzey aşınması değerine ulaşınca kadar işlenilmiş ve Taguchi metodu kullanılarak takım ömrü açısından en uygun doku parametresi bulunmuştur. Elde edilen Taguchi sonuçlarına göre en iyi sonucu verecek takım, numuneler içinde olmadığından bir adet takım daha belirlenen parametreler ile dokulandırılıp (No11), aynı deneyler bu takım için de tekrarlanmıştır. Tüm takımlar 180µm takım aşınmasına ulaştıklarında iş parçası yüzey pürüzlülükleri değerleri ve her bir doku tipi için en iyi sonuçları veren takımların kesme kuvvetleri ölçümleri bilgisayar ortamına aktarılıp grafikler oluşturulmuştur. Ayrıca işleme sırasında oluşan talaşlar incelemeler ve değerlendirmeler için toplanmıştır. Deneysel çalışmanın son aşamasında ilk belirlenen numuneler arasında en iyi sonucu veren takım, Taguchi metoduyla belirlenen takım ve son olarak dokusuz referans takım 300µm serbest yüzey aşınması değerine ulaşana kadar talaş kaldırılmış ve bu üç takımın tüm serbest yüzey aşınması eğrileri karşılaştırılmıştır.



Şekil 5.20 Deney Düzeneği

Taguchi L9 (3^3) ortogonal deney tasarımı için üç adet parametre, literatürdeki diğer çalışmalar ve ön deneyler göz önünde bulundurularak aşağıdaki gibi seçilmiş ve deney tasarımı Tablo 5.2’de gösterilmiştir.

- Her bir doku (kanal) arası genişlik: 150 μm (1), 200 μm (2), 250 μm (3)
- Lazer gücü: 12,5 Watt (1), 15 Watt (2), 17,5 Watt (3)
- Kesici kenara göre doku tipi: paralel (1), dikey (2), 45° (3)

Tablo 5.2 Taguchi L9 (3^3) Ortogonal Deney Tasarımı

Taguchi, $P = 3, L = 3$				
Sıra #	Genişlik	Güç	Tip	Numune No
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	4
5	2	2	3	5
6	2	3	1	6
7	3	1	3	7
8	3	2	1	8
9	3	3	2	9

Tüm deneyler kesme sıvısı kullanılmadan yapılmış ve kullanılan sabit kesme parametreleri Tablo 5.3’te verilmiştir.

Tablo 5.3 Kesme Parametreleri

Kesme hızı (m/dak)	200
Kesme derinliği (mm)	1,2
İlerleme (mm/devir)	0,2

İş parçasının çapına göre CNC torna tezgahında devir sayısı aşağıdaki formülle hesaplanmıştır:

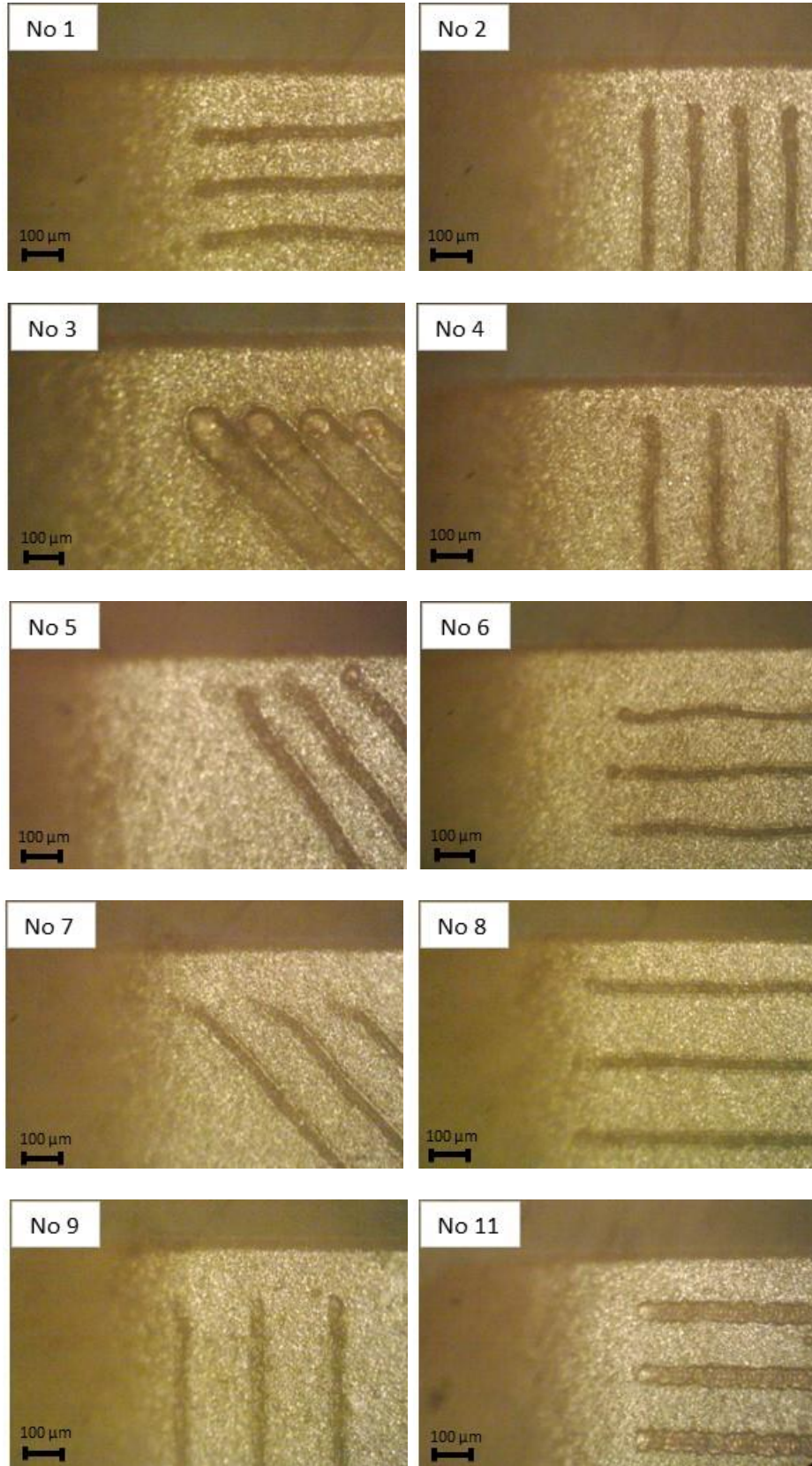
$$V_c = \frac{\pi \times D \times n}{1000} \quad (5.1)$$

Burada, n devir sayısını; V_c kesme hızını, D parça çapını göstermektedir.

CNC torna tezgahında tüm deneyler için tek bir program yazılmıştır. İş parçası işlendikçe çap düştüğünden her defasında yeni devir hesaplaması yapılarak program güncellenmiştir.

5.5.3 Yüzey Dokulandırma ve Numuneler

Kullanılan fiber lazer parametreleri; işlem süresi 5 sn, dalga boyu 532 nm, tekrarlama hızı 1000 mm/sn, lazer işleme hızı 1000 $\mu\text{m/s}$ ve deneysel tasarım yöntemi ile belirlenmiş parametreler olarak seçilmiştir. Kesici takımlarda oluşturulan dokuların mikroskop görüntüleri Şekil 5.21’de gösterilmiştir.



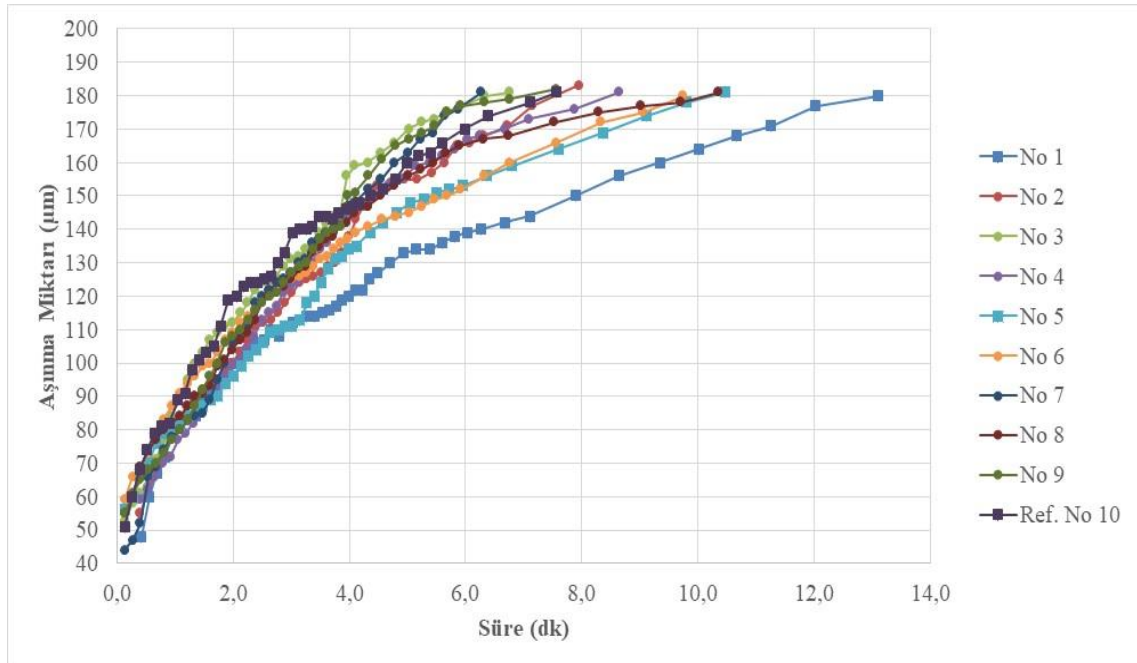
Şekil 5.21 Yüzey Dokulandırma Uygulanmış Wiper Geometrilili Kesici Takımlar

5.5.4 Deney Çıktıları

Deney sonuçları beş ayrı başlık altında incelenmiştir.

5.5.4.1 180 µm Serbest Yüzey Aşınmasına Kadar Takım Ömürleri Karşılaştırması

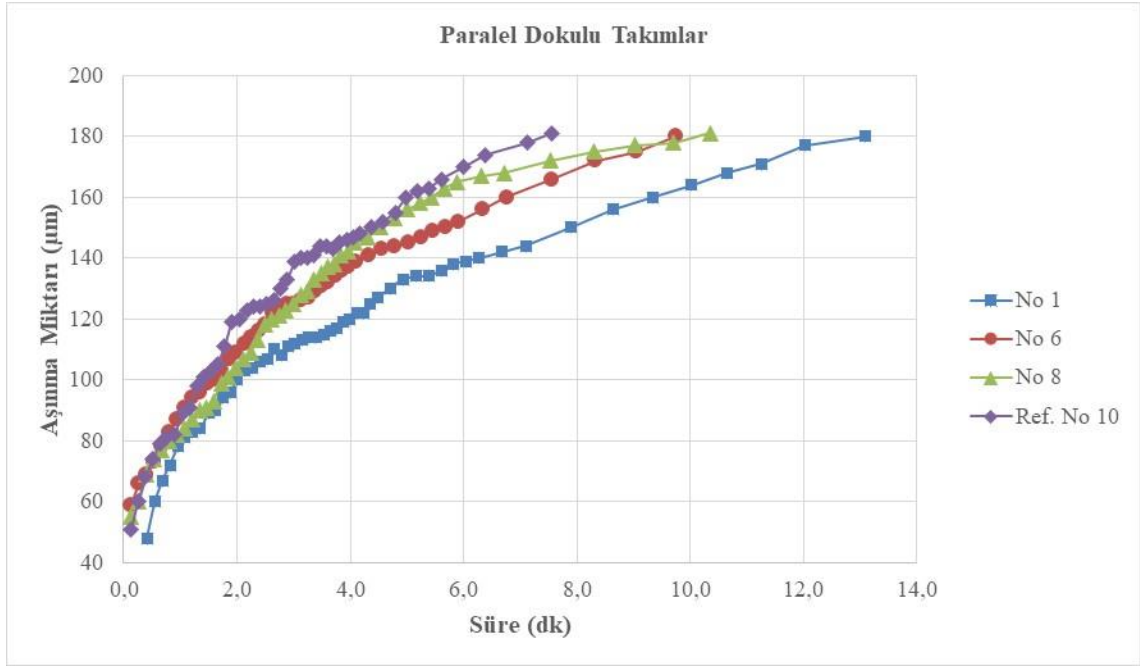
Taguchi L9 (3³) ortogonal deneysel tasarımı ile doku parametreleri belirlenen dokuz adet wiper geometrili takım 180 µm'ye kadar aşındırılmıştır. Takımların belirlenen her bir talaş kaldırma süresi sonundaki aşınma değerleri grafiği çizilirse, Şekil 5.22'de gösterildiği gibi bir grafik elde edilmektedir. Çıkan sonuçlara göre, takım ömrü açısından en verimli numune 1 numaralı takımdır. Ayrıca aynı doku tipine sahip takımların kendi aralarındaki 180 µm'ye kadar serbest yüzey aşınma grafikleri Şekil 5.23, Şekil 5.24 ve Şekil 5.25'te gösterilmiştir.



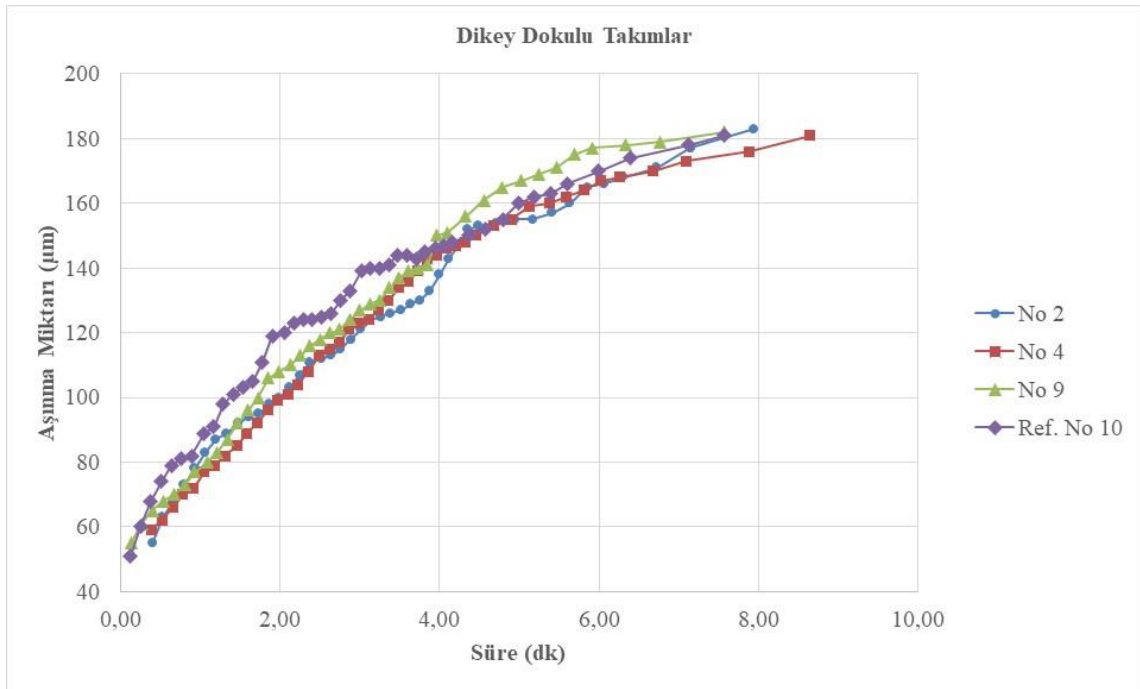
Şekil 5.22 Dokulu Takımların 180 µm'ye Kadar Serbest Yüzey Aşınması

180 µm serbest yüzey aşınmasına, dokusuz referans takım 7.5 dk'da, kesici ağıza göre paralel dokulandırılan 1, 6 ve 8 numaralı takımlarda serbest yüzey aşınması açısından en iyi sonucu veren 1 numaralı takım 13 dk'da (Şekil 5.23) ulaşmıştır. Kesici ağıza göre dik dokulandırılan 2, 4 ve 9 numaralı takımlarda serbest yüzey aşınması açısından en iyi sonucu veren 4 numaralı takım yaklaşık 8.5 dk'da (Şekil 5.24) ve kesici ağıza göre 45° açılı dokulandırılan 3, 5 ve 7 numaralı takımlarda

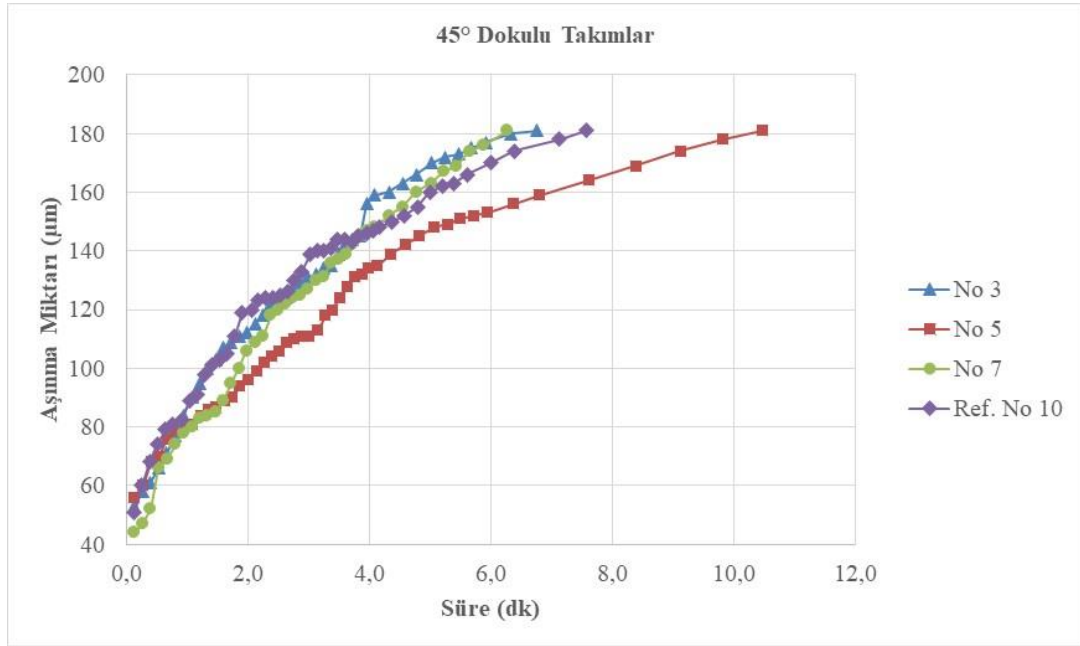
serbest yüzey aşınması açısından en iyi sonucu veren 5 numaralı takım yaklaşık 10.4 dk'da (Şekil 5.25) 180 μm serbest yüzey aşınmasına ulaşmıştır.



Şekil 5.23 Paralel Dokulu Takımların 180 μm 'ye Kadar Serbest Yüzey Aşınması



Şekil 5.24 Dik Dokulu Takımların 180 μm 'ye Kadar Serbest Yüzey Aşınması



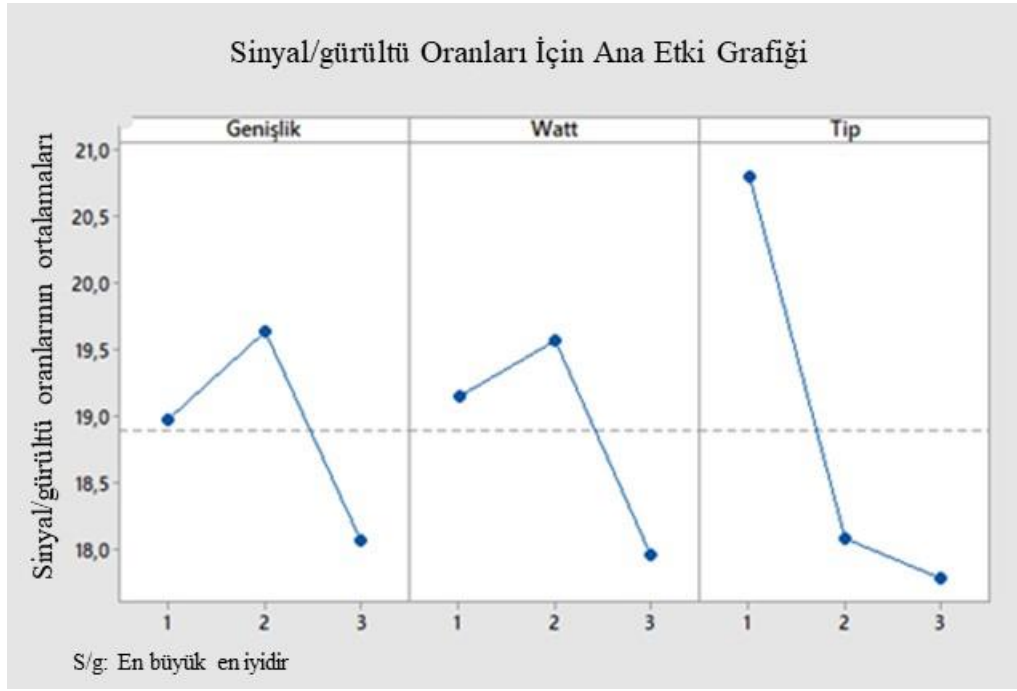
Şekil 5.25 45° Dokulu Takımların 180 µm’ye Kadar Serbest Yüzey Aşınması

5.5.4.2 Takım Ömürlerine Göre Taguchi Sonuçları

Taguchi L9 (3³) ortogonal deney tasarımı kullanılarak Tablo 5.2’deki gibi oluşturulan numuneler ile yeterli miktarda talaş kaldırılmış ve her bir takımın serbest yüzey aşınmaları 180 ± 2 µm’ye getirilmiştir. Bu aşamada, her bir takımın ne kadar işleme süresinde bu aşınma değerine geldiği temel alınarak, Taguchi yönteminde “en uzun işleme süresi en iyidir” ilkesi ile analizler yapılmıştır. Yapılan analiz sonucu elde edilen sinyal/gürültü yanıt tablosu Tablo 5.4, sinyal/gürültü grafikleri ise Şekil 5.26’da gösterilmiştir. Bu analizin sonucunda doku parametrelerinin etkinlik dereceleri de belirlenmiştir. En etkili parametre doku tipi, ikinci en etkili parametre genişlik ve üçüncü parametre lazer gücü yani watt olmuştur.

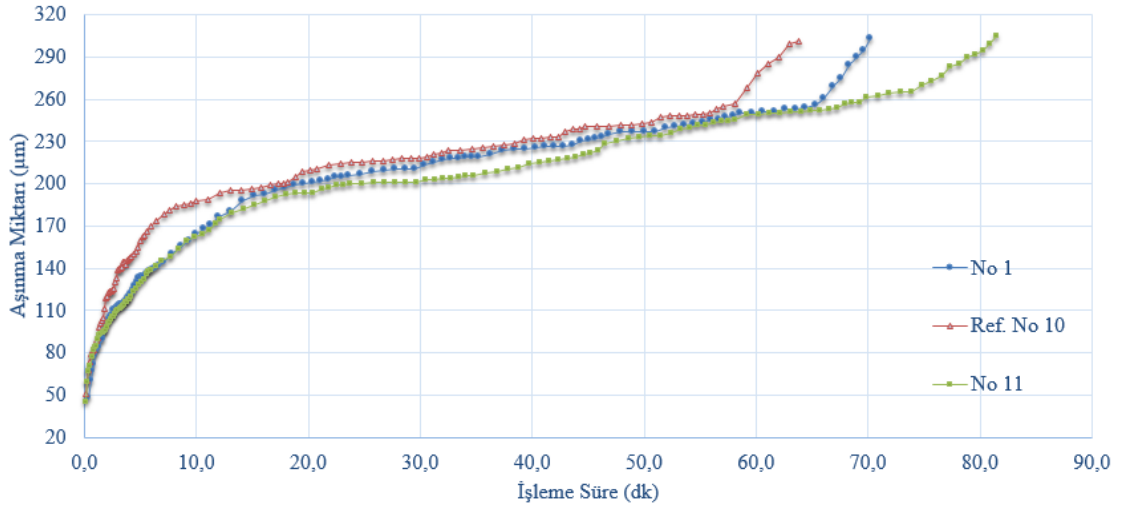
Tablo 5.4 Sinyal/gürültü Yanıt Tablosu

En büyük en iyidir			
Level	Genişlik	Watt	Tip
1	18,98	19,01	20,81
2	19,63	19,57	18,1
3	17,94	17,98	17,64
Delta	1,7	1,59	3,17
Rank	2	3	1

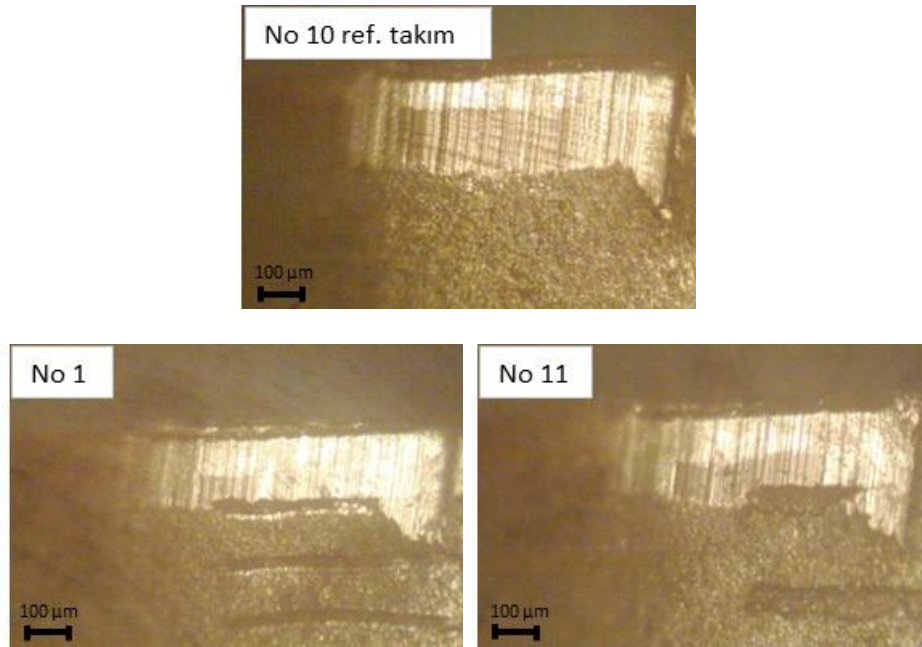


Şekil 5.26 Sinyal/gürültü Grafiği

Sinyal/gürültü yanıt grafiğine göre, en iyi takım ömrünü verecek olan doku tipi 2, 2, 1 yani dokular arası genişlik 200 μm , lazer gücü 15 Watt ve doku tipi kesici kenara göre paraleldir. İlk başta belirlenen numuneler arasında bu parametrelere sahip takım bulunmadığından, sonuçları doğrulamak adına bu doku parametreleri ile yeni bir takım daha diğer takımlara uygulanan talaşlı işleme şartları ile aynı olan deneylere tabi tutulmuştur. İlk belirlenen numuneler arasında en iyi sonucu veren (Takım No 1), Taguchi metoduyla belirlenen takım (Takım No 11) ve son olarak dokusuz referans takımın (Takım No 10) serbest yüzey aşınmaları, ISO 3685 standardına göre belirlenen takım ömrü ölçütü değeri olan, 0,3 mm aşınma olana kadar talaşlı işleme uygulanmış ve aşınma grafiği Şekil 5.27’de verilmiştir. Şekil 5.28’de ise kesici takımların 0,3 mm serbest yüzey aşınmasına ulaştıklarındaki mikroskop görüntüleri bulunmaktadır. Şekle göre 11 numaralı takımın ömrü, referans takıma göre ve 1 numaralı takıma göre sırasıyla 16 dk ve 9 dk artmıştır. Bir diğer deyişle, 11 numaralı takımın ömrü dokusuz takıma göre %27, 1 numaralı takıma göre %16 artmıştır. Böylece elde edilen serbest yüzey aşınma grafiği, deneysel tasarım sonuçlarını doğrulamaktadır.



Şekil 5.27 No 1, No 10 ve No 11 Takımlarının Serbest Yüzey Aşınması



Şekil 5.28 Takımların Serbest Yüzey Aşınmaları Görüntüleri

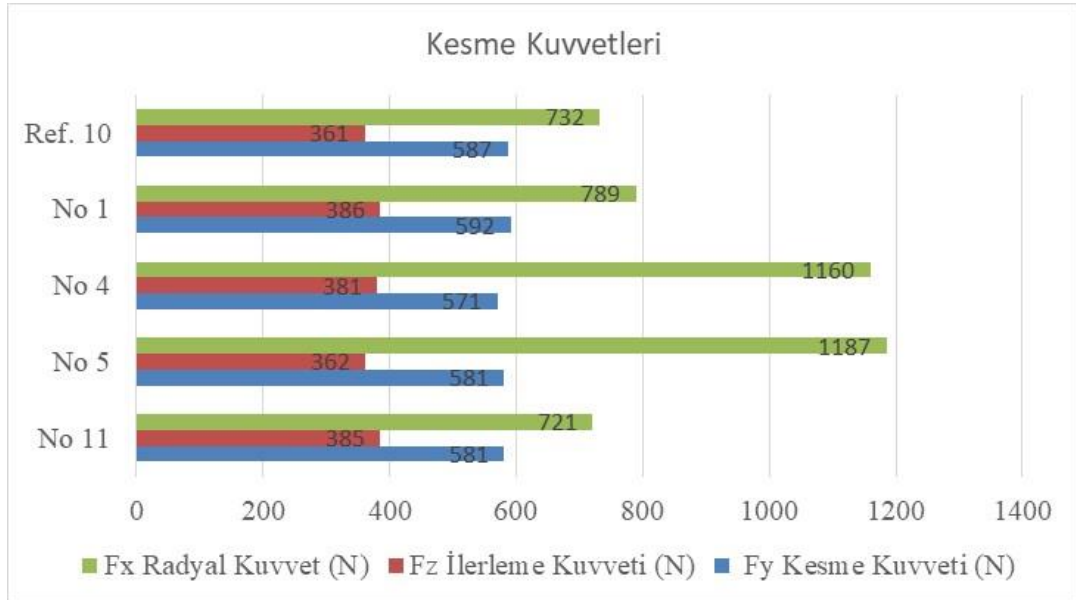
5.5.4.3 Kesme Kuvvetleri

Kesme kuvvetleri ölçümü için Kistler marka 9257BA, 3 eksen ölçüm yapabilen kuvvet dinamometresinden yararlanılarak elde edilen kesme kuvveti verileri bilgisayara gönderilerek kuvvet grafikleri elde edilmiştir.

Kuvvet ölçümleri için iş parçası ön işlemeye tabi tutulmuş, dinamometre bağlantısını engellememesi adına punta tarafından 95 mm boyunca 24 mm çapına

kadar talaş kaldırılmıştır. Ardından dinamometre tezgaha sonra da kater dinamometreye bağlanarak kontrollü işlemler sonucu kuvvet verileri toplanmıştır.

Kesme kuvvetleri ölçümleri beş adet takım için gerçekleştirilmiştir. Bu takımların seçiminde, 180 μm 'ye kadar olan serbest yüzey aşınması grafiği (Şekil 5.22) ve deneysel tasarım yöntemiyle elde edilen veriler dikkate alınmıştır. Her bir doku tipi için serbest yüzey aşınması en iyi olan takımlar, paralel doku için No 1, dikey doku için No 4 ve 45° açılı doku için No 5, kuvvet ölçümleri için seçilmiştir. Devamında deneysel tasarım yöntemi ile belirlenen dokuya sahip takım No 11 ve son olarak dokusuz referans takım No 10 kuvvet ölçümleri için kullanılmıştır. Elde edilen kesme kuvvetleri Şekil 5.29'da gösterilmiştir.

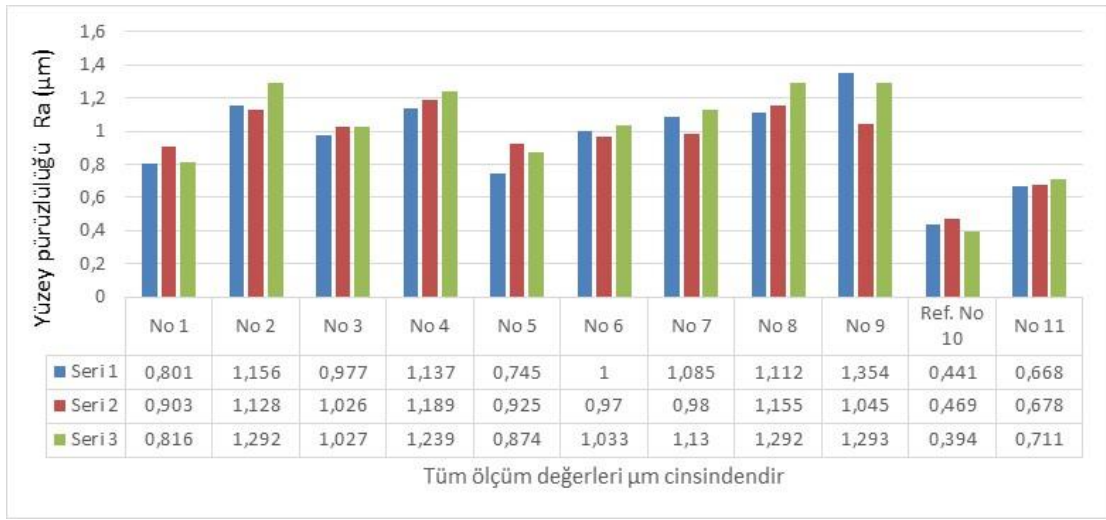


Şekil 5.29 Kesme Kuvvetleri Grafiği

Kuvvet ölçüm grafiklerinin sonuçlarına göre, silici geometrili takımlarda serbest yüzey dokulandırma işleminin kesme ve ilerleme kuvvetlerini önemli ölçüde etkilemediği görülmüştür. Fakat kesici kenara göre dik ve 45° açılı dokulu takımlarda radyal kuvvetler büyük ölçüde artmıştır. Kesici kenara göre paralel dokulu 1 numaralı takım için de yine bir miktar radyal kuvvet artışı söz konusu iken, deneysel tasarım yöntemiyle belirlenen doku parametrelerine sahip 11 numaralı takımın, radyal kuvvetler açısından dokulandırılmamış takım ile benzer sonuçlar verdiği görülmüştür.

5.5.4.4 İş Parçası Yüzey Pürüzlülükleri

Takım ömürleri açısından Taguchi metoduna göre en iyi sonucu veren (No 11) ve deneysel tasarım ile doku parametreleri belirlenen dokuz adet silici geometrili takım ile dokusuz referans takım 180 µm serbest yüzey aşınmasına ulaştıklarında iş parçası yüzey pürüzlülüklerini ölçmek için her bir takım ile 50 mm boyunca talaş kaldırılmıştır. İşlenen bu bölgelerden alınan aritmetik ortalama yüzey pürüzlülük değerleri kaydedilip grafik haline getirilmiş ve Şekil 5.30’da verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre dokulandırma işlemi literatürdeki bazı çalışmalara benzer olarak Ra yüzey pürüzlülüğü değerini arttırmaktadır.

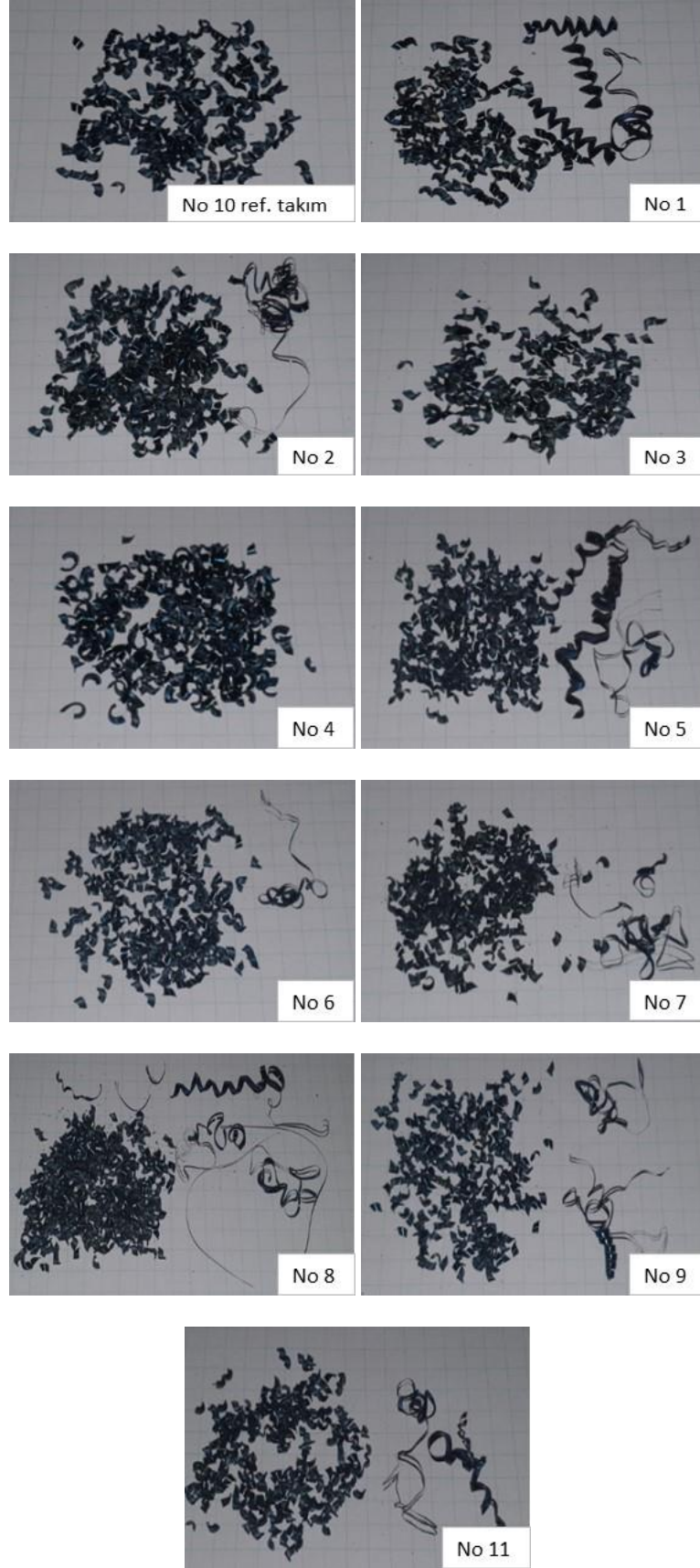


Şekil 5.30 İş Parçası Ra Yüzey Pürüzlülüğü Değerleri

Takımların serbest yüzeylerinin dokulandırılması sırasında oluşan yapısal deformasyonlar sonucu işleme sırasında iş parçası yüzey pürüzlülüğünün olumsuz etkilendiği düşünülmektedir. Bu düşünceyle beraber silici geometrili takımındaki silici formu da bu dokulandırma işlemiyle olumsuz etkilenmiş olabileceği için dokulu takımlarda Ra değeri dokusuz takıma göre yüksek çıkmış olabilir. Bu sonuçlara göre dokulandırma işlemi sonrasında uygulanacak bir ara operasyonla deformasyona uğrayan bölgede oluşan yapının takımın serbest yüzeyinden uzaklaştırılması ile iş parçası yüzey pürüzlülüğünün azalabileceği düşünülmektedir. Ayrıca dokulu takımlar arasında en düşük aritmetik ortalama yüzey pürüzlülüğüne sahip olan takımın en uzun ömürlü olduğu çıktıları arasındadır.

5.5.4.5 Oluşan Talaşların İncelenmesi

Şekil 5.35'te deneylere konu olan tüm takımlarla işlemler sonucu oluşan talaşlardan alınan örneklerin fotoğrafları verilmiştir. Dokulandırma uygulanmamış referans takımın seçilen işleme parametreleriyle talaş kaldırması sonucu oluşan talaşlar tümüyle beklenen şekilde oluşmuştur. Dokulandırma yapılan, 3 ve 4 numaraları takımlar da referans takımı ile aynı talaş vermişlerdir. Fakat diğer dokulu takımlarla oluşan talaşlarda, işlemeye giriş ve işlemeden çıkış sırasında Şekil 5.31'de görüldüğü üzere değişim olduğu gözlemlenmiştir. Bu talaşlar, kullanılan takımın ISO 1832 talaş kırıcı standardına sahip kırıcı geometrisi bulundurmasına rağmen kırılmamış, ayrıca talaşlarda incelme ve uzama olduğu görülmüştür.



Şekil 5.31 İşlemeler Sonucu Oluşan Talaşlar

Çeşitli yöntemler kullanılarak kesici takımların yüzeylerinin dokulandırılmasıyla, takım ömrünün arttırılabileceği, işleme sırasında oluşan kesme kuvvetlerinin düşebileceği, iş parçası ile takım temas alanının küçülmesiyle sürtünmenin azalabileceği ve daha düşük kesme sıcaklıklarının elde edilebileceği literatürdeki önceki çalışmalarda açıklanmış ve bu çalışmada özetlenmiştir. Henüz kesici takım dokulandırma ile ilgili araştırılmaya açık birçok konu olmakla birlikte, talaşlı işleme teknolojisindeki ilerlemeler çeşitli çalışmalarla devam etmektedir.

Bu çalışmanın ilk safhasında literatürdeki çalışmalara paralel olarak, geleneksel geometrili takımlar ile doku formu ve derinliğinin serbest yüzey aşınmasına etkilerini gözlemlemek ve elde edilecek sonuçlara bağlı olarak asıl deneyleri tasarlamak için, ön deneyler yapılmıştır. Elde edilen verilere göre doku tipi açısından serbest yüzey aşınmasını en çok azaltan doku tipinin, takım kesici kenarına göre paralel doku olduğu ve doku derinliğinin serbest yüzey aşınmasını önemli derecede etkilediği görülmüştür. İki farklı derinlikteki takımların (PT ve DPT) serbest yüzey aşınmaları karşılaştırıldığında, bu etki net görülmüş, doku derinliğinin artması ile daha az serbest yüzey aşınması oluşmuştur. Sonuçta, geleneksel geometrili dokulandırılmış DPT takımının ömrü, dokulandırılmamış takıma göre yaklaşık %25 artmıştır.

Ön deneylerle elde edilen veriler ışığında, doku tipi, dokular arası genişlik ve lazer gücü parametreleri ile Taguchi L9 (3^3) deneysel tasarım yöntemi kullanılarak dokuz adet takım fiber lazer yöntemiyle dokulandırılmıştır. Tüm deneylerde AISI 4140 (32 HRC) ıslah çeliği CNC torna tezgahında işlenmiştir. Kesme parametreleri takım katalog değerleri ve ön deneyler göz önünde bulundurularak seçilmiş, deneylerde takım ömürleri, kesme kuvvetleri, iş parçası yüzey pürüzlülükleri ölçülüp talaş formları incelenmiştir.

İlk olarak deneysel tasarım yöntemi ile doku parametreleri belirlenen dokuz adet silici geometrili takım 180 μm 'ye kadar aşındırılmış ve Taguchi analizinde serbest yüzey aşınmaları için AISI 4140 (32HRC) çelik malzemesinin işlenmesinde doku parametrelerinin etkinlikleri çoktan aza sırasıyla, doku tipi, dokular arası genişlik ve lazer gücü olarak belirlenmiştir.

Yine bu analize göre serbest yüzey aşınması için en uygun parametrelerin dokular arası genişlik 200 μm , lazer gücü 15 Watt ve doku tipi kesici kenara göre paralel olduğu görülmüştür. Deneysel tasarımı doğrulamak adına, önceki dokuz numunenin içinde bulunmayan ve deneysel tasarımın çıktılarına göre belirlenen parametrelerle bir adet takım (No 11) daha diğer takımlarla aynı deneylere tabi tutulmuş ve elde edilen sonuçlara göre deneysel tasarım doğrulanmıştır.

Silici geometrili takımlarda, geleneksel geometrili takımlara uygulanan yüzey dokulandırma ile ilgili literatürdeki çalışmalara paralel, takım serbest yüzeyinde doku bulunması ve bununla birlikte iş parçası ile takım temas alanının azalması sayesinde aşınma azalmakta, takım ömrü artmaktadır.

Kesici takım serbest yüzeyinde deneysel tasarım ile elde edilen aşınma açısından en uygun parametrelere sahip dokulu takım, numuneler arasında en iyi aşınma performansını gösteren takım ve dokusuz referans takım ISO 3685 standardına göre belirlenen takım ömrü ölçütü değeri olan 0,3 mm'ye kadar aşındırma işlemi devam ettirilmiş, en iyi sonucu veren takımın (No 11) ömrü dokusuz takıma göre yaklaşık %27 arttığı görülmüştür.

İşleme sırasında oluşan kuvvetler açısından, serbest yüzey dokulandırma işleminin kesme ve ilerleme pek kuvvetlerini etkilemediği görülmüştür. Ancak kesici kenara göre dik ve 45° açılı dokulu takımlarda radyal kuvvetler büyük ölçüde artmıştır. Kesici kenara göre paralel dokulu 1 numaralı takım içinde yine bir miktar radyal kuvvet artışı söz konusu iken, deneysel tasarım yöntemiyle belirlenen doku parametrelerine sahip 11 numaralı takım, referans takım arasında radyal kuvvetler açısından bir fark oluşmamıştır.

Ön deneylerde elde edilen iş parçası yüzey pürüzlülüğü sonuçlarının aksine, silici geometrili takımlarda serbest yüzey dokulandırma işlemi R_a yüzey pürüzlülüğü

değerini olumsuz etkilemiştir. Bu sonuç literatürdeki bazı çalışmalarla benzerlik göstermektedir. Fiber lazer ile dokulandırma işlemi sırasında bölgesel ısınmanın takım yüzey topografyasını olumsuz etkilediği düşünüldüğünde, işleme sırasında lazer sonucu oluşan istenmeyen yapılar, iş parçası yüzey pürüzlülüğünü etkilediği çıkarımı yapılabilir. Takım yüzeyinde oluşan bu yapıların giderilmesiyle yüzey pürüzlülüğü değerinin azalacağı beklenmektedir.

Oluşan talaşlara bakıldığında 3 ve 4 numaralı takımlar referans takım ile aynı talaşı üretmiştir. Diğer dokulu takımlarda ise kendi aralarında benzer talaşlara sahip oldukları gözlemlenmiştir. 3 ve 4 numaralı takımlar hariç dokulu takımlarda dokusuz referans takımın aksine işleme sırasında girişte ve çıkışta talaşlarda uzama ve incelme gözlemlenmiştir. Bu durum literatürde, dokulandırılmış takımlarla işleme sırasında kayma açısının artmasıyla talaşın incelebileceği şeklinde açıklanmaktadır.

Özet olarak serbest yüzeyleri dokulandırılan silici geometrili takımlar ile işlemler sonucu aşınma açısından en uygun doku parametresi bulunmaya çalışılmış ve takım ömrü %27 arttırılmıştır. Ayrıca dokulandırma işleminin silici geometrili takımlarda kesme kuvvetlerine, iş parçası yüzey pürüzlülüğüne ve talaş formuna nasıl etkileri olduğu seçilen deney şartlarında belirlenmiştir.

Kesici takım dokulandırılması ile ilgili literatürde çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Fakat bu çalışmalar henüz talaşlı imalat endüstrisinde kullanıma geçecek derecede uygulanabilir değildir. Bu çalışmayla, diğer araştırmalardan özgün olarak, literatüre farklı bir bakış açısıyla yaklaşmış ve belirli oranda katkı sağlanmıştır.

İş parçası yüzey pürüzlülüğü açısından bu yöntemin silici geometrili takımlarda kullanılmasının verimli olabilmesi ve endüstride kullanılabilmesi için çeşitli doku optimizasyonlarının yapılmasının uygun olacağı düşünülmektedir. Gelecekteki çalışmaların dokulandırılmış silici takımlarla elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerlerinin iyileştirilmesi konusu hakkında olması ve farklı dokulandırma yöntemleriyle bu geometriye sahip takımlarda takım aşınması, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü değerleri için en optimum doku parametrelerinin bulunması önerilmektedir. Ayrıca dokulandırma işlemi sırasında takım yüzeyinin hazırlanması konusunda da yapılacak çalışmaların literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

- [1] P. Vamsi Krishna, R. R. Srikant, D. Nageswara Rao, "Experimental investigation on the performance of nanoboric acid suspensions in SAE-40 and coconut oil during turning of AISI 1040 steel," *Int. J. Mach. Tools Manufacture*, vol. 50, no. 10, pp. 911-916, 2012.
- [2] D. Jianxin, S. Wenlong, Z. Hui, "Design, fabrication and properties of a self-lubricated tool in dry turning," *Int. J. Mach. Tools Manufacture*, vol. 49, no. 1, pp. 66-72, 2009.
- [3] M. S. Hendy, B. E. Beattie, P. S. Burge, "Occupational asthma due to an emulsified oil mist," *Br. J. Ind. Medicine*, vol. 42, no. 1, pp. 51-54, 1985.
- [4] A. Shokrani, V. Dhokia, S. T. Newman, "Environmentally conscious machining of difficult to machine materials with regard to cutting fluids," *Int. J. Mach. Tools Manufacture*, vol. 57, pp. 83-101, 2012.
- [5] C. Camposeco-Negrete, "Optimization of cutting parameters for minimizing energy consumption in turning of AISI 6061 T6 using Taguchi methodology and ANOVA," *J. Clean. Production*, vol. 53, pp. 195-203, 2013.
- [6] Chetan, S. Ghosh, P. Venkateswara Rao, "Application of sustainable techniques in metal cutting for enhanced machinability: a review," *J. Clean. Production*, vol. 100, pp. 17-34, 2015.
- [7] I. Syed, M. Sarangi, "Hydrodynamic lubrication with deterministic micro textures considering fluid inertia effect," *Tribol. International*, vol. 69, pp. 30-38, 2014.
- [8] A. Bruzzone, H. L. Costa, P. M. Lonardo, D. A. Lucca, "Advances in engineered surfaces for functional performance," *CIRP Ann. Manuf. Technology*, vol. 57, no. 2, pp. 750-769, 2008.
- [9] Y. Xing, J. Deng, X. Feng, S. Yu, "Effect of laser surface texturing on Si₃N₄/TiC ceramic sliding against steel under dry friction," *Mater. Design*, vol. 52, pp. 234-245, 2013.
- [10] P. Koshy, J. Tovey, "Performance of electrical discharge textured cutting tools," *CIRP Ann. Manuf. Technology*, vol. 60, no. 1, pp. 153-156, 2011.
- [11] J. Xie, Y. W. Zhuo, T. W. Tan, "Experimental study on fabrication and evaluation of micro pyramid-structured silicon surface using a V-tip of diamond grinding wheel," *Precis. Engineering*, vol. 35, no. 1, pp. 173-182, 2011.
- [12] Y. Su, L. Li, N. He, W. Zhao, "Experimental study of fiber laser surface texturing of polycrystalline diamond tools," *Int. J. Refract. Met. Hard Materials*, vol. 45, pp. 117-124, 2014.
- [13] A. Kovalchenko, O. Ajayi, A. Erdemir, G. Fenske, "Friction and wear behavior of laser textured surface under lubricated initial point contact," *Wear*, vol. 271, no. 9-10, pp. 1719-1725, 2011.

- [14] J. Xie, M. J. Luo, K. K. Wu, L. F. Yang, D. H. Li, "Experimental study on cutting temperature and cutting force in dry turning of titanium alloy using a non-coated micro-grooved tool," *Int. J. Mach. Tools Manufacture*, vol. 73, pp. 25-36, 2013.
- [15] T. Obikawa, A. Kamio, H. Takaoka, A. Osada, "Micro-texture at the coated tool face for high performance cutting," *Int. J. Mach. Tools Manufacture*, vol. 51, no. 12, pp. 966-972, 2011.
- [16] D. Jianxin, W. Ze, L. Yunsong, Q. Ting, C. Jie, "Performance of carbide tools with textured rake-face filled with solid lubricants in dry cutting processes," *Int. J. Refract. Met. Hard Materials*, vol. 30, no. 1, pp. 164-172, 2012.
- [17] Y. Xing, J. Deng, J. Zhao, G. Zhang, K. Zhang, "Cutting performance and wear mechanism of nanoscale and microscale textured $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiC}$ ceramic tools in dry turning of hardened steel," *Int. J. Refract. Met. Hard Materials*, vol. 43, pp. 46-58, 2014.
- [18] Y. Lian, J. Deng, G. Yan, H. Cheng, J. Zhao, "Preparation of tungsten disulfide (WS_2) soft-coated nano-textured self-lubricating tool and its cutting performance," *Int. J. Adv. Manuf. Technology*, vol. 68, no. 9-12, pp. 2033-2042, 2013.
- [19] N. Kawasegi, H. Sugimori, H. Morimoto, N. Morita, I. Hori, "Development of cutting tools with microscale and nanoscale textures to improve frictional behavior," *Precis. Engineering*, vol. 33, no. 3, pp. 248-254, 2009.
- [20] Y. Xing, J. Deng, K. Zhang, G. Zhang, H. Gao, "Effect of femtosecond laser pretreatment on wear resistance of $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiC}$ ceramic tools in dry cutting," *Int. J. Refract. Met. Hard Materials*, vol. 43, pp. 291-301, 2014.
- [21] W. Ze, D. Jianxin, C. Yang, X. Youqiang, Z. Jun, "Performance of the self-lubricating textured tools in dry cutting of Ti-6Al-4V," *Int. J. Adv. Manuf. Technology*, vol. 62, no. 9-12, pp. 943-951, 2012.
- [22] S. Wenlong, D. Jianxin, W. Ze, Z. Hui, Y. Pei, Z. Jun, A. Xing, "Cutting performance of cemented-carbides-based self-lubricated tool embedded with different solid lubricants," *Int. J. Adv. Manuf. Technology*, vol. 52, pp. 477-485, 2010.
- [23] Y. Xing, J. Deng, Y. Lian, K. Zhang, G. Zhang, J. Zhao, "Multiple nanoscale parallel grooves formed on $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{TiC}$ ceramic by femtosecond pulsed laser," *App. Surf. Science*, vol. 289, pp. 62-71, 2014.
- [24] J. Kümmel, D. Braun, J. Gibmeier, J. Schneider, C. Greiner, V. Schulze, A. Wanner, "Study on micro texturing of uncoated cemented carbide cutting tools for wear improvement and built-up edge stabilisation," *J. Mater. Process. Technology*, vol. 215, pp. 62-72, 2015.
- [25] T. Sugihara, T. Enomoto, "Development of a cutting tool with a nano/micro-textured surface-improvement of anti-adhesive effect by considering the texture patterns," *Precis. Engineering*, vol. 33, no. 4, pp. 425-429, 2009.

- [26] S. Lei, S. Devarajan, Z. Chang, "A study of micropool lubricated cutting tool in machining of mild steel," *J. Mater. Process. Technology*, vol. 209, no. 3, pp. 1612-1620, 2012.
- [27] Z. Wu, J. Deng, C. Su, C. Luo, D. Xia, "Performance of the micro-texture self-lubricating and pulsating heat pipe self-cooling tools in dry cutting process," *Int. J. Refract. Met. Hard Materials*, vol. 45, pp. 238-248, 2014.
- [28] J. Xie, M-J. Luo, J-L. He, X-R. Liu, T-W. Tan, "Micro-grinding of micro-groove array on tool rake surface for dry cutting of titanium alloy," *Int. J. Precis. Eng. Manufacturing*, vol. 13, pp. 1845-1852, 2012.
- [29] T. Sugihara, T. Enomoto, "Crater and flank wear resistance of cutting tools having micro textured surfaces," *Precis. Engineering*, vol. 37, no. 4, pp. 888-896, 2013.
- [30] A. Fatima, P. T. Mativenga, "Assesment of tool rake surface structure geometry for enhanced contact phenomena," *Int. J. Adv. Manuf. Technology*, vol. 69, pp. 771-776, 2013.
- [31] J. N. Anno, J. A. Walowit, C. M. Allen, "Microasperity lubrication," *J. Lubr. Technology*, vol. 90, no. 2, pp. 351-355, 1968.
- [32] J. N. Anno, J. A. Walowit, C. M. Allen, "Load support and leakage from micro-asperity-lubricated face seals," *J. Lubr. Technology*, vol. 91, no. 4, pp. 726-731, 1969.
- [33] L. S. Martz, "Preliminary report of developments in interrupted surface finishes," in *Proceeding of the Ins. of Mech. Engineers*, vol. 16, 1949, pp. 1-9.
- [34] A. Spencer, "Optimizing surface texture for combustion engine cylinder liners," Luleå Technical University, Sweden, 2010.
- [35] D. M. J. Schmid, "Large engine cylinder honing as a contribution to emissions reduction," *MTZ Industrial*, vol. 3, no. 1, pp. 48-53, 2013.
- [36] B. F. von Turkovich, J. R. Roubik, W. W. Gilbert, I. Ham, J. C. J. Oxford, A. L. Pickrell, G. F. Wilson, F. W. Boulger, R. S. Hahn, E. J. Krabacker, N. H. Cook, L. P. Tarasov, W. R. Backer, P. A. Smith, C. A. Sluhan, C. E. Downing, J. L. Wennberg, A. Neidzwiedzki, E. J. Weller, "Review of metal processing literature," *J. Eng. Industrial*, vol. 87, pp. 85-96, 1965.
- [37] Y. Liu, J. Deng, W. Wang, R. Duan, R. Meng, D. Ge, X. Li, "Effect of texture parameters on cutting performance of flank-faced textured carbide tools in dry cutting of green Al_2O_3 ceramics," *Ceramics International*, vol. 44, no. 11, pp. 13205-13217, 2018.
- [38] T. Enomoto, T. Sugihara, "Improving anti-adhesive properties of cutting tool surfaces by nano/micro-textures," *CIRP Ann. Manuf. Technology*, vol. 59, no.1, pp. 597-600, 2010.
- [39] S. W. Lo, T. C. Horng, "Lubricant permeation from micro oil pits under intimate contact condition," *J. Tribology*, vol. 121, no. 4, pp. 633-638, 1999.
- [40] M. C. Shaw, "Metal cutting principles," New York: Oxford Clarendon press, 1984.

- [41] A. Fatima, P. T. Mativenga, "A comparative study on cutting performance of rake-flank face structured cutting tool in orthogonal cutting of AISI/SAE 4140," *Int. J. Adv. Manuf. Technology*, vol. 78, no. 9-12, pp. 2097-2106, 2015.
- [42] Y. Liu, J. Deng, F. Wu, R. Duan, X. Zhang, Y. Hou, "Wear resistance of carbide tools with textured flank-face in dry cutting of green alumina ceramics," *Wear* vol. 372-373, pp. 91-103, 2017.
- [43] D. Arulkirubakaran, V. Senthilkumar, "Performance of TiN and TiAlN coated micro-grooved tools during machining of Ti-6Al-4V alloy," *Int. J. Refract. Met. Hard Materials*, vol. 62, part A, pp. 47-57, 2017.
- [44] S. Jesudass Thomas, K. Kalaichelvan, "Comparative study of the effect of surface texturing on cutting tool in dry cutting," *J. Mater. Manuf. Processes*, vol. 33, no. 6, pp. 683-694, 2018.
- [45] T. D. Ling, P. Liu, S. Xiong, D. Grzina, J. Cao, Q. J. Wang, "Surface texturing of drill bits for adhesion reduction and tool life enhancement," *Tribol. Letters*, vol. 52, no. 1, pp. 113-122, 2013.
- [46] V. K. Jain, "Introduction to micromachining," New Delhi: Narosa Publishing House, 2010.
- [47] A. Y. Vorobyev, C. Guo, "Femtosecond laser structuring of titanium implants," *Appl. Surf. Science*, vol. 253, no. 17, pp. 7272-7280, 2007.
- [48] Y. Q. Wang, H. F. Yang, Q. G. Han, L. Fang, S. R. Ge, "Tribological and lubrication properties of sandblast-textured surfaces with varied roughness," *Adv. Mater. Research*, vol. 154-155, pp. 1019-1022, 2010.
- [49] Y. Wei, M. R. Kim, D. W. Lee, C. Park, S. S. Park, "Effects of micro textured sapphire tool regarding cutting forces in turning operations," *Int. J. Precis. Eng. Manuf. Green Technology*, vol. 4, pp. 141-147, 2017.
- [50] V. K. Jain, A. Sidpara, M. R. Sankar, M. Das, "Nano-finishing techniques: a review," *Proceed. Ints. Mech. Eng. Part C J. Mech. Eng. Science*, vol. 226, no. 2, 2012, pp. 327-346.
- [51] A. Pratap, K. Patra, A. A. Dyakonow, "Manufacturing miniature products by micro grinding: a review," *Procedia Engineering*, vol. 150, pp. 969-974, 2016.
- [52] J. Orloff, M. Utlaut, L. Swanson, A. Wagner, "High resolution focused ion beams: FIB and its applications," *Physics Today*, vol. 57, no. 1, pp. 54, 2004.
- [53] M. S. Hong, K. F. Ehmann, "Generation of engineered surfaces by the surface-shaping system," *Int. J. Mach. Tools Manufacturing*, vol. 35, pp. 1269-1290, 1995.
- [54] G. Baumeister, B. Okolo, J. Rögner, "Microcasting of Al bronze: influence of casting parameters on the microstructure and the mechanical properties," *Microsystem Technologies*, vol. 14, no. 9, pp. 1647-1655, 2008.
- [55] G. Baumeister, S. Rath, J. Hausselt, "Microcasting of Al bronze and a gold base alloy improved by plaster-bonded investment," *Microsystem Technologies*, vol. 12, no. 8, pp. 773-777, 2006.

- [56] L. Raju, S. S. Hiremath, "A state of the art review on micro electro-discharge machining," *Procedia Technology*, vol. 25, pp. 1281-1288, 2016.
- [57] O. Koch, W. Ehrfeld, F. Michel, H. P. Gruber, "Recent progress in miro electro discharge machining part i: technology," in *Procedings ISEM*, 2001, vol. 13, pp. 737-745.
- [58] S. Dhanik, S. S. Joshi, "Modeling of a single resistance capacitance pulse discharge in micro-electro discharge machining," *J. Manuf. Sci. Engineering*, vol. 127, no. 4, pp. 759-767, 2005.
- [59] E. Uhlman, S. Piltz, U. Doll, "Machining of micro/miniature dies and moulds by electrical discharge machining – recent developments," *J. Mater. Process. Technology*, vol. 167, no. 2-3, pp. 488-493, 2005.
- [60] J. Ma, N. H. Duong, S. Lei, "Finite element investigation of friction and wear of micro-grooved cutting tool in dry machining of AISI 1045 steel," *Proc. Inst. Mech. Eng. Part J J. Eng. Tribology*, vol. 229, no. 4, pp. 449-464, 2015.
- [61] D. M. Kim, I. Lee, S. K. Kim, B. H. Kim, H. W. Park, "Influence of a micropatterned insert on characteristics of the tool-workpiece interface in a hard turning process," *J. Mater. Process. Technology*, vol. 229, pp. 160-171, 2016.
- [62] M. S. Shaw, "Metal cutting principles (second edition)," Oxford University Press, Inc. USA, 2005.
- [63] M. S. J. Hashmi, "Comprehensive materials finishing," Elsevier, 2017.
- [64] J. R. Gamarra, A. E. Diniz, "Taper turning of super duplex stainless steel: tool life, tool wear and workpiece surface roughness," *J. Braz. Soc. Mech. Sci. Engineering*, vol. 40:39, no. 1, 2018.
- [65] M. Kiyak, I. Sahin, O. Cakır, "Application of wiper insert in cutting tool technology," in *Proceedings of the 1. Int. Conf. Adv. Science*, 2016, pp. 60-65.
- [66] V. P. Astakhov, "Geometry of single-point turning tools and drills," Springer-Verlag, London UK, 2010.
- [67] T. Ozel, Y. Karpat, L. Figueira, J. P. Davim, "Modelling of surface finish and tool flank wear in turning of AISI D2 steel with ceramic wiper insters," *J. Mater. Process. Technology*, vol. 189, no. 1-3, pp. 192-198, 2007.
- [68] D. M. D'Addona, S. J. Raykar, "Analysis of surface roughness in hard turning using wiper insert geometry," in *Proceedings 48th CIRP Conf. Manuf. Systems*, 2015, pp. 841-846.
- [69] A. E. Correia, J. P. Davim, "Surface roughness measurement in turning carbon steel AISI 1045 using wiper insters," *Measurement*, vol. 44, no. 5, pp. 1000-1005, 2011.
- [70] J. P. Davim, L. Figueira, "Comparative evaluation of conventional and wiper ceramic tools on cutting forces, surface roughness and tool wear in hard turning AISI D2 steel," *Proc. Ints. Mech. Eng. Part B J. Eng. Manufacture*, vol. 221, no. 4, pp. 625-633, 2007.

- [71] J. Guddat, R. M'Saoubi, P. Alma, D. Meyer, "Hard turning of AISI 52100 using pcBN wiper geometry inserts and the resulting surface integrity," *Procedia Engineering*, 2011, vol. 19, pp. 118-124.
- [72] W. Grezesik, T. Wanat, "Surface finish generated in hard turning of quenched alloy steel parts using conventional and wiper ceramic inserts," *Int. J. Mach. Tools Manufacturing*, vol. 46, no. 15, pp. 1988-1995, 2006.
- [73] U. A. Dabade, S. S. Joshi, R. Balasubramaniam, V. V. Bhanuprasad, "Surface finish and integrity of machined surfaces on Al/SiCp composites," *J. Mater. Process. Tehnology*, vol. 192-193, pp. 166-174, 2007.
- [74] W. Stachurski, B. Kruszynski, S. Midera, "Influence of cutting conditions in turning with wiper type inserts on surface roughness and cutting forces," *Mechanics and Mechanical Engineering*, vol. 16, no. 1, pp. 25-32, 2012.
- [75] C. Bruni, A. Forcellese, F. Gabrielli, M. Simoncini, "Effect of the lubrication-cooling technique, insert technology and machine bed material on the workpart surface finish and tool wear in finish turning of AISI 420B," *Int. J. Mach. Tools Manufacture*, vol. 46, no. 12-13, pp. 1547-1554, 2006.
- [76] W. Koenig, K. Essel, "New tool materials – wear mechanism and application," *CIRP Annals – Manuf. Tehnology*, vol. 24, no. 1, pp. 1-5, 1975.
- [77] Y. Altintas, "Manufacturing automation (second edition)," Cambridge University Press, 2012.
- [78] M. Sokovič, B. Navinšek, "Improvement of cermet tool quality by TiN (PVD) coating," *Proceed. Int. Conf. Adv. Mater. Process. Technology*, vol. 1, 1993, pp. 443.
- [79] B. Li, "A review of tool wear estimation using theoretical analysis and numerical simulation technologies," *Int. J. Refac. Met. Hard Materials*, vol. 35, pp. 143-151, 2012.
- [80] U. Ozdemir, M. Erten, "Talaşlı imalat sırasında kesici takımında meydana gelen hasar mekanizmaları ve takım hasarını azaltma yöntemleri," *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, vol. 1, no. 1, pp. 37-50, 2003.
- [81] E.M. Trent, P. K. Wright, "Metal cutting," Butterworth Heinemann, New Delhi, 1999.

İletişim Bilgisi: huseyin.eskizara@gmail.com

Konferans Bildirileri

1. H. B. Eskizara, U. Emiroğlu, E. Altan, "Flank wear of surface textured tool in dry turning of AISI 4140 steel," in Proceedings of the 16. International Scientific Congress Machines Technologies Materials, 2019, pp. 71-74.