



**T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KRİYOJENİK İŞLEM UYGULANMIŞ VE
UYGULANMAMIŞ KESİCİ TAKIMLARLA
TORNALANAN AISI 1050 ÇELİĞİNİN
İŞLENEBİLİRLİĞİ VE TALAŞ
MORFOLOJİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

Onur ERSÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalını

**Şubat-2021
BATMAN
Her Hakkı Saklıdır**

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Onur ERSÖZ

Tarih: 17/02/2021

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kriyojenik İşlem Uygulanmış ve Uygulanmamış Kesici Takımlarla Tornalanan AISI 1050 Çeliğinin İşlenebilirliği ve Talaş Morfolojisinin Araştırılması

Onur ERSÖZ

Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Şehmus BADAY

2021, 84 Sayfa

Jüri

Dr. Öğr. Üyesi Şehmus BADAY

Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin GÜRBÜZ

Dr. Öğr. Üyesi Fikret SÖNMEZ

Kriyojenik işlem (K.İ.), malzemeyi sıfır derecenin altındaki çok düşük sıcaklıklarda soğutarak, malzemeye istenilen metalürjik ve mikro yapısal özelliklere kazanılmasını sağlayan bir ısıtım işlemi türüdür. Bu ısıtım işlemi, malzemenin kalıntı ve iç gerilmelerin giderilmesi, tokluğun artırılması, aşınma ve yorulma dayanımlarının iyileştirilmesi gibi malzemenin mekanik yapısında iyileşmeler meydana getirerek malzemenin yapısında olumlu yönde katkılar sağlamaktadır. Kriyojenik işlem, malzemelere uygulanıyor olmasının yanında, kesici takımlara da uygulanarak, kesici takımların aşınma direnci, sertlik, tokluk ve ısıtım iletkenliği gibi mekanik özelliklerini iyileştirmektedir. Bu amaçla gerçekleştirilen bu deneysel çalışmada, kriyojenik işlemin kesici takımlara kazandırdığı bu özellikleri incelenmesi amacıyla CVD kaplı karbür kesici takımlara kriyojenik ısıtım işlemi uygulanmıştır. Bu doğrultuda, kesici takımlara uygulanan derin K.İ. -146 °C'de 24 saat süre ile uygulanmıştır. Daha sonra bu kesici takımlar, oda sıcaklığına getirilerek 200 °C'de, her biri 2 saat süreyle iki kez temperleme işlemi yapılmıştır. Tornalama deneyleri, K.İ. uygulanmış ve uygulanmamış kesici takımlarla kuru kesme şartlarında dört farklı kesme hızı (180, 200, 220 ve 240 m/dak), üç farklı ilerleme hızı (0,1, 0,2 ve 0,3 mm/dev) ve 2 mm sabit talaş derinliği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İş parçası malzemesi olarak AISI 1050 çeliği seçilmiştir. K.İ. uygulanmış ve uygulanmamış takımlarla, belirlenen kesme parametrelerinde, AISI 1050 çeliğinin tornalanması esnasında oluşan kesme kuvvetleri dinamometre yardımıyla ölçülmüştür. Ortalama yüzey pürüzlülük (R_a) değerleri işlenmiş iş parçasının 3 farklı yüzeyinden, yüzey pürüzlülüğü ölçümü alınarak elde edilmiştir. Daha sonra bu üç değerin aritmetik ortalamaları alınarak R_a değerleri hesaplanmıştır. İşleme deneyleri sonrası, K.İ. uygulanmış ve uygulanmamış kesici takımlarda oluşan aşınma durumlarını ve kesme işlemi esnasında oluşan talaşların morfolojisini belirlemek için SEM görüntüleme cihazı kullanılmıştır. Gerçekleştirilen deneyler sonucunda, en düşük kesme kuvveti 240 m/dak kesme hızında ve 0,1 mm/dev ilerlemede K.İ. uygulanmış kesici takımla işlenmiş yüzeyde elde edilmiştir. En düşük R_a değeri 180 m/dak kesme hızında ve 0,1 mm/dev ilerlemede K.İ. uygulanmamış kesici takım ile görülmüştür. Sonuç olarak, K.İ. uygulanmış kesici takımlar ile K.İ. uygulanmamış takımlar karşılaştırıldığında, K.İ. uygulanmış kesici takımlar ile daha az takım aşınması, daha düşük kesme kuvvetleri ve daha düşük yüzey pürüzlülük sonuçları elde edilmiştir. Ayrıca talaş morfolojisi açısından, SEM görüntüleri karşılaştırıldığında, K.İ. uygulanmış kesici takımlardan elde edilen talaşlarda daha küçük testere formu yapıları olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kriyojenik işlem, kesme kuvveti, takım aşınması, talaş morfolojisi, yüzey pürüzlülüğü,

ABSTRACT**MS THESIS****INVESTIGATION of MACHINABILITY and CHIP MORPHOLOGY of AISI 1050 STEEL TURNED WITH CRYOGENICALLY HEAT-TREATED AND UNTREATED CUTTING INSERTS****Onur ERSÖZ****THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
BATMAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE / DOCTOR OF PHILOSOPHY
IN MECHANICAL ENGINEERING****Advisor: Asst. Prof. Dr. Şehmus BADAY****2021, 84 Pages****Jury****Asst. Prof. Dr. Şehmus BADAY****Asst. Prof. Dr. Hüseyin GÜRBÜZ****Asst. Prof. Dr. Fikret SÖNMEZ**

Cryogenic process (C.P.) is a type of heat treatment that allows the material to gain metallurgical and micro-structural properties by cooling the material at very low temperatures below zero degrees. This heat treatment provides positive contributions to the structure of the material by creating improvements in the mechanical structure of the material such as removing residual and internal tensions, increasing toughness, increasing wear and fatigue strength. Cryogenic process, besides being applied to materials, is also applied to cutting tools, improving the properties of cutting tools such as wear resistance, hardness, toughness and thermal conductivity. In this experimental study carried out for this purpose, cryogenic heat treatment applied to CVD coated carbide cutting tools due to these properties that cryogenic process brings to the cutting tools. In this target, deep C.P applied to cutting tools was applied for 24 hours at -146 °C. Then, these cutting tools were brought to room temperature and tempered twice at 200 °C for 2 hours each. Turning experiments was carried out by C.P and untreated cutting tools with four different cutting speeds (180, 200, 220 and 240 m/min) three different feed rates (0.1, 0.2 and 0.3 mm/rev) and 2 mm constant depth of cut under dry cutting conditions. AISI 1050 steel has been chosen as the workpiece material. The cutting forces obtained during the turning of AISI 1050 steel, with cutting tools on which treated and untreated were measured with the help of a KISTLER brand dynamometer. Surface roughness values were obtained by measuring surface roughness from 3 different surfaces of the machined workpiece. Then, the values of average surface roughness were calculated by taking the arithmetic mean of these three values. After processing experiments, SEM imaging device was used to determine the wear conditions of applied and unapplied cutting tools and the morphology of the chips formed during the cutting process. As a result of the experiments carried out, the lowest cutting force has been obtained with cryogenically heat treated cutting inserts from 240 m/min cutting speed and 0.1 mm/min feed. The lowest surface roughness value has been observed with CHT Cutting insert at 180 m/min cutting speed and 0.1 mm/rev feed. As a result, while comparing CHT cutting insert with untreated cutting insert, less tool wear, lower cutting forces and lower surface roughness values have observed with CHT inserts. In addition, in terms of chip morphology, when SEM images are compared, It was determined that the chips obtained from CHT cutting tools formed smaller serration shapes.

Key Words: Cryogenic process, cutting force, tool wear, chip morphology, surface roughness

ÖNSÖZ

“Kriyojenik İşlem Uygulanmış ve Uygulanmamış Kesici Takımlarla Tornalanan AISI 1050 Çeliğinin İşlenebilirliği ve Talaş Morfolojisinin Araştırılması” başlıklı yüksek lisans tez çalışması 5 bölümden meydana gelmektedir. Bu bölümler; Giriş, Literatür Taraması, Genel Bilgiler, Materyal ve Metot, Araştırma Sonuçları ve Tartışma, Sonuçlar ve Öneriler’den oluşmaktadır. Giriş kısmında; Kriyojenik işlemin önemi, kullanım alanları ve malzemelere ve kesici takımlara kazandırdığı mekanik özelliklere değinilmiştir ve gerçekleştirilen çalışmanın amacından bahsedilmiştir. Literatür Taraması kısmında; bu çalışmaya ilgili daha önceden yapılmış bilimsel çalışmaların özetine yer verilmiştir. Materyal ve Metot kısmında; bu çalışmada kullanılan AISI 1050 çeliği, kesici takımlar ve takım tutucu, deneylerde kullanılan tezgâh ve cihazlara ve deney parametrelerine yer verilmiştir. Araştırma Sonuçları ve Tartışma bölümünde; kriyojenik işlem uygulanmış ve uygulanmamış kesici takımlarla yapılan deneyler sonucunda oluşan kesme kuvvetleri, takım aşınmaları, yüzey pürüzlülüğü ve talaş morfolojileri incelenmiştir. Sonuçlar ve Öneriler kısmında kesici takımlara uygulanan kriyojenik ısıtma işleminin, takım aşınmalarına, kesme kuvvetlerine, yüzey pürüzlülüğünün ve talaş morfolojisine nasıl etkiler meydana getirdiğine değinilmiştir.

Bu tez çalışmasının konunun belirlenmesinde, çalışmaların yürütülmesi ve tamamlanmasında aynı zamanda yazım aşaması sürecinde bana desteğini esirgemeyen, çalışmam süresince konulara akademik bir bakış açısı kazandıran danışman hocam, Sayın Dr. Öğr. Üyesi Şehmus BADAY’a, deneysel çalışma süresi boyunca desteklerini esirgemeyen değerli hocalarım; Sayın Öğr. Gör. Serkan ÇELİK ve Arş. Gör. Serkan BATI hocalarıma, mühendislik öğrenimin boyunca bilgi ve birikiminden istifade ettiğim Bursa Tophane EML’de görev yapmakta olan saygıdeğer Murat BOZDEMİR hocama, kıymetli arkadaşım Burcu TEMİZ’e, Batman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi Başkanlığı’na teşekkürlerimi sunarım. Hayatımın her sürecinde olduğu gibi bu akademik süreçte de manevi desteğini esirgemeyen aileme, minnet ve sevgilerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ABSTRACT.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	2
3.GENEL BİLGİLER.....	8
3.1. Kriyojenik İşlem	8
3.1.1. Kriyojenik işlem aşamaları	13
3.2. Talaş Oluşumu ve Talaş Kaldırma Mekanığı	18
3.2.1.Dik (Ortogonal) kesme:	19
3.2.2. Eğik (Oblik) Kesme	21
3.2.3.Talaş Türleri.....	22
3.3. Tornalama	26
3.3.1.Tornalamada kesme parametreleri.....	27
3.3.2.Tornalama oluşan kesme kuvvetleri	31
3.4. Takım Aşınması	35
3.4.1. Aşınma mekanizmaları ve aşınma tipleri.....	38
3.4.2.Takım aşınma türleri	40
3.5. Yüzey Pürüzlülüğü	50
3.5.1. Yüzey pürüzlülüğü değerlendirilmesinde kullanılan parametreler.....	52
4. MATERYAL METOD.....	57
4.1. Deneyde Kullanılan Materyaller.....	57
4.1.1. İş Parçası Malzemesi	57
4.1.2. Takım tezgâhı	58
4.1.3. Kesici takım	59
4.1.4. Kesme kuvveti ölçme cihazı	59
4.1.5. Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Cihazı	60
4.1.6.Takımlara uygulanan kriyojenik ısıtma işlem	60
4.1.7.SEM görüntüleme	61
4.2. Kesme Deneyleri.....	62
5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	64
5.1. Kesme Kuvvetleri	64
5.2. Yüzey Pürüzlülüğü	66
5.3.Takım Aşınması	69

5.4.Talaş Morfolojisi..... 70

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER..... 73

6.1. Sonuçlar 73

6.2. Öneriler 74

KAYNAKLAR 75

ÖZGEÇMİŞ 84

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Kriyojenik İşlemin Aşamaları (Yamanoğlu, 2015).....	13
Şekil 3.2. Ortogonal Kesme İşlemi (Özay, 2009).....	20
Şekil 3. 3. Kesme İşlemi Esnasında Oluşan Deformasyon Bölgelerinin Gösterimi (Karayel, 2015).	20
Şekil 3. 4. Kesme İşleminde Oluşan Talaşın Ölçüleri ve Kesme Açısı (Groover, 2016).	21
Şekil 3. 5. Oblik Kesme İşlemi Gösterimi (Anonim).	22
Şekil 3. 6. Ortogonal ve Oblik Kesme İşlemlerinin Görsel Olarak Karşılaştırılması (Anonim).	22
Şekil 3. 7. Talaş Şekilleri (Erdem 2010).	23
Şekil 3. 8. Talaş Şekilleri (Erdem 2010).	23
Şekil 3.9. Sürekli Talaş (Akın, 2014).	24
Şekil 3.10. Kesintili Talaş (Akın, 2014).	24
Şekil 3. 11. Yığma Talaş Oluşumu (Oyman, 2012)	25
Şekil 3. 12. Tırtıklı Talaş Oluşumu (Oyman, 2012).	26
Şekil 3. 13. Tornalama Yöntemleri a) alın tornalama b) konik tornalama c) kontur tornalama d) şekil tornalaması e) pah kırma f) kesme g) diş açma h) delik büyütme i) delik delme j) tırtıl çekme (Groover,2016).....	27
Şekil 3. 14. Tornalama İşleminin Şematik Gösterimi (Groover, 2016).	31
Şekil 3. 15. Kesme Kuvvetlerinin Gösterimi (Anonim).....	32
Şekil 3. 16. Kesme kuvvetinin talaş açısına göre değişimi (Anonim).....	33
Şekil 3. 17. Kesme kuvvetinin kesme kenar açısına değişimi (Anonim).	33
Şekil 3. 18. Tornalama İşlemindeki Kesme Kuvvetlerinin Gösterimi (Anonim).....	34
Şekil 3. 19. Tornalama işleminde oluşan bileşke kuvvetin oluşum şekli (Anonim)	35
Şekil 3. 20. Aşınma mekanizmaları; 1- Abraziv, 2- Difüzyon, 3- Oksidasyon, 4- Yorulma, 5- Adheziv (Koçak, 2011).	40
Şekil 3. 21. Kesici takımlarda görülen hasar ve aşınma tiplerinin sınıflandırılması (Taylan, 2009).....	41
Şekil 3. 22. Serbest Yüzey Aşınması (Anonim).	42
Şekil 3. 23. Krater Aşınması (Gharbi ve ark., 2019).	44
Şekil 3. 24. Çentik Aşınması (Gharbi ve ark., 2019).	45
Şekil 3. 25. Burun Aşınması (Gharbi ve ark., 2019).	45

Şekil 3. 26. Plastik Deformasyon (Anonim).....	47
Şekil 3. 27. Talaş Yığılması (BUE) (Anonim)	48
Şekil 3. 28. Termal Çatlak (Anonim)	49
Şekil 3. 29. Tanecik Kopması (Anonim).....	50
Şekil 3. 30. Yüzey İşleme Sembolü (TS 2040 EN ISO 1302).....	52
Şekil 3. 31. M Sistemine göre yüzey pürüzlülük profil (Anonim).....	53
Şekil 3. 32. Orta eksen altında ve üstünde kalan alanlar (Anonim)	54
Şekil 3. 33. Yüzey kalitesi için sayısal değerler (Anonim)	55
Şekil 3. 34. On nokta yükseklik hesaplaması için ortalama ölçümler (Anonim)	55
Şekil 4. 1. Yapılan Deney Adımlarını Gösteren Akış Şeması.....	57
Şekil 4. 2. ALEX TECH ANL-75T, C eksenli CNC Torna tezgahı.....	58
Şekil 4. 3. Kesici Takım	59
Şekil 4. 4. KISTLER Type 5070 Dinamometre	60
Şekil 4. 5. Hommel T 500 Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Cihazı	60
Şekil 4. 6. Isıl İşlem Fırını	61
Şekil 4. 7. Kesici Takıma Uygulanan K.İ. 'nin Grafikselsel Gösterimi	61
Şekil 4. 8. FEI / QUANTA FEG 250 SEM Görüntüleme Cihazı.....	62
Şekil 5. 1. 0,1 mm/dev İlerleme Hızı.....	65
Şekil 5. 2. 0,2 mm/dev İlerleme Hızı.....	65
Şekil 5. 3. 0,3 mm/dev İlerleme Hızı.....	66
Şekil 5. 4. 0,1 mm/dev İlerleme Hızı Altındaki Yüzey Pürüzlülüğü Sonuçları	67
Şekil 5. 5. 0,2 mm/dev İlerleme Hızı Altındaki Yüzey Pürüzlülüğü Sonuçları	68
Şekil 5. 6. 0,3 mm/dev İlerleme Hızı Altındaki Yüzey Pürüzlülüğü Sonuçları	68
Şekil 5. 7. Belli İşleme Süreleri Sonucunda K.İ. Görmüş ve Görmemiş Kesici Takımlarda Oluşan Takım Aşınmaları	70
Şekil 5. 8. 220 m/dak Kesme Hızı, 0,1 mm/dev ilerleme ve 2 mm kesme derinliğide elde edilen kesici takımları Sem görüntüleri a) K.İ. Görmemiş b) K.İ. İşlem Görmüş..	70
Şekil 5. 9. 0,5 dak işleme süresi sonrası talaş görüntüleri a) İşlem Görmemiş Uç b)K.İ. görmüş uç.....	71
Şekil 5. 10. 1 dak işleme süresi sonrası talaş görüntüleri a) İşlem Görmemiş Uç b)K.İ. görmüş Uç.....	71
Şekil 5. 11. 2 dak işleme süresi sonrası talaş görüntüleri a) İşlem Görmemiş Uç b)K.İ. görmüş Uç.....	71
Şekil 5. 12. 4 dak işleme süresi sonrası talaş görüntüleri a) İşlem Görmemiş Uç b)K.İ. görmüş Uç.....	72

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo	Sayfa
Tablo 4. 1. AISI 1050 çeliğinin kimyasal bileşenleri.....	58
Tablo 4. 2. AISI 1050 çeliğinin mekanik özellikleri.....	58
Tablo 4.3. Tornalama işlemlerinde kullanılan tezgahın özellikleri.....	59
Tablo 4.4. Deney Düzenegi.....	63

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

a_p	: Talaş Derinliği (mm)
b	: Talaş Genişliği (mm)
d	: Kesme Derinliği (mm)
A_s	: Talaş Kesit Alanı (mm ²)
F	: İlerleme Miktarı (mm)
F_n	: Normal Kuvvet (N)
F_n	: İlerleme hızı (mm/dev)
F_t	: Teğetsel Kuvvet (N)
F_r	: Radyal Kuvvet (N)
V_c	: Kesme Hızı (m/dak)
M	: Yüzey Ortalama Çizgisi
R_t	: Pürüzlülük Yüksekliği
R_a	: Ortalama Pürüzlülük Yüksekliği
R_{max}	: En Büyük Pürüz Derinliği (mm ³ /s)
R_{MR}	: Malzeme Kaldırma Debisi
α	: Talaş Açısı
θ	: Boşluk Açısı
t_c	: Kesme Düzlemi Boyunca Talaş Kalınlığı (mm)
r	: Talaş oranı
t_0	: Talaş Oluşumundan Önceki Talaş Kalınlığı
μ	: Mikron
$^{\circ}\text{C}$	: Santigrat Derece

Kısaltmalar

CNC	: Bilgisayar Nümerik Kontrol
ASTM	: Uluslararası Amerikan Test ve Materyalleri Topluluğu
K.İ.	: Kriyojenik İşlem
HSS	: Yüksek Hız Çeliği
AISI	: Amerika Demir ve Çelik Enstitüsü
dk	: Dakika

mm	: Milimetre
Mpa	: Megapaskal
mm	: Milimetre
BUE	: Yığma Talaş
CVD	: Kimyasal Buhar Çökeltme
SEM	: Taramalı Elektro Mikroskobu
Si	: Silisyum
Mn	: Mangan
C	: Karbon
Kw	: Kilowatt
ISO	: Uluslararası Standartlar Teşkilatı

1. GİRİŞ

Günümüz imalat sanayisinde, geleneksel olmayan imalat yöntemleri gelişse de geleneksel talaşlı imalat hâlâ yaygın olarak kullanılmaktadır. Düşük yatırım maliyeti, uzun ömürlü makine teçhizatı, istenen yüzey kalitesi ve ölçü hassasiyetinde parçaların üretebilmesi, talaşlı imalatın üretim yöntemi olarak tercih edilme sebepleri arasındadır. Bu doğrultuda talaşlı imalatta kullanılan tezgâh ve kesici uçlar, gelişen teknoloji ve üreticinin ihtiyaçlarına cevap verecek şekilde gelişim göstermektedir. Bu gelişmelere paralel olarak son yıllarda kesici takımların işlenebilirliğini iyileştirmek için tamamlayıcı bir ısıl işlem olan K.İ. yaygın olarak kullanılmaktadır (Akıncıoğlu S. ve ark, 2015).

Sıfır altı işlem olarak da adlandırılan kriyojenik işlem, genel olarak yüksek aşınmaya maruz kalan malzemelerin aşınma dirençlerini arttırmaya yönelik uygulanan tamamlayıcı bir ısıl işlem türüdür. Uygulanan sıcaklık aralıklarına göre sıg (-40°C ve -140°C) ve derin (-140°C ve -196°C) kriyojenik işlem olarak iki tür kriyojenik işlem mevcuttur. Kriyojenik işlemde geleneksel ısıl işlem sonrası, ısıl işlem gören malzemenin içyapısındaki kalıntı östenit yapılar, martenzit yapıya dönüştürülerek homojen bir karbür dağılımı sağlamaktadır. Bu yapının oluşmasıyla da işlem uygulanan malzeme yüksek mekanik özellikler kazanmış olur. Kriyojenik işlem ilk olarak kalıp malzemelerinin aşınma direncini arttırmak için uygulanmıştır. Bu işlem günümüzde kesici takımlara uygulanarak, kesici takımın işlenebilirlik performansını; takım ömrünü, takım aşınmasını, kesme kuvvetlerinin iyileştirilmesi bakımından önemli katkılar sağlamıştır (Kıvak, T., 2012). Bunun yanı sıra, K.İ. uygulanmış kesici takımlarla yapılan işlemlerde, daha düşük yüzey pürüzlülüğüne sahip iş parçaları elde edilmektedir.

Üretilen parçaların doğru ölçülerde ve beklenen kalite standartlarında üretilmesi, kalitenin zamanla daha iyi noktalara taşınması ve bu hedeflerin düşük maliyetlerle yapılması imalatçılar için önemlidir. Talaşlı imalatta kullanılan kesici takımların ve kesme parametrelerinin doğru seçilmesi, iyi bir yüzey kalitesi ve doğru tolerans aralıklarında ürün üretilmesi ve üretim maliyetlerinin düşürülmesinde önemli bir etkiye sahiptir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Takım aşınmaları azaltılarak, yüksek kesme oranlarında yapılan talaş kaldırma işlemleri sonrasında daha iyi bir yüzey kalitesi ve daha uzun takım ömrü elde edilmesi mümkündür (Poomani ve ark., 2009).

Yapılan akademik çalışmalarda, kriyojenik ısıtma işlemin uygulandığı kesici takımlara sertlik, tokluk, aşınma dayanımı, takım işlenebilirliği ve yüzey bütünlüğü bakımından da iyileşmeler meydana getirdiği görülmüştür (Poomani ve ark., 2009; Bordin ve ark., 2017; Gill ve ark., 2007).

Kesici takımlara uygulanan kriyojenik ısıtma işlemi, takımların mekanik özelliklerinde meydana gelen iyileşmeler, kesme işlemi sırasında oluşan kesme kuvvetlerindeki azalma ve takımın daha geç aşınmasına bağlı olarak iş parçasının yüzey kalitesinde de iyileşmeler meydana geldiğini belirtmişlerdir (SreeramaReddy ve ark., 2009).

Yapılan literatür araştırmaları sonucunda, kriyojenik ısıtma işlemin kesici takımların mekanik özelliklerini, işlenebilirliklerini, yüzey bütünlüklerine pozitif yönde bir etki meydana getirdiği görülmektedir (Özbek ve ark., 2014; Bal, 2012; Yong 2007). Ayrıca, farklı çalışmalarda derin ve sığ kriyojenik ısıtma işlemlerin araştırılan bu parametrelere ne kadar etki sunduğunu, kriyojenik ısıtma işlemlerde bekleme (ısıtma) sürelerinin (Özbek ve ark., 2014) ve kriyojenik ısıtma işlem sonrası yapılan farklı temperleme işlemlerinin (Kalsi, 2014), kriyojenik ısıtma işlem gören kesici takımlara kazandırdığı özellikler arasındaki farklılıkları inceleme altına almışlardır.

Thornton ve ark. (2014), H13A tungsten karbür takıma -180 °C sıcaklıkta, 24 saat beklettikten sonra oda sıcaklığına getirip, ardından 180°C'de 2 saat süresince temperleme işlemleri gerçekleştirmişlerdir. Yapılan ısıtma işlem ve temperlemenin ardından (260, 470, 840 dev/dak) kesme hızı, (0,2 mm/dev) ilerleme hızı ve 0,5 mm kesme derinliği parametrelerini kullanılmış ve AISI 1045 çeliğine tornalama işlemi uygulanarak kesici takımındaki sertlik ve aşınma durumunu gözlemlemişlerdir. Yaptıkları deneyler sonucunda, kesici takımındaki abrasif aşınmanın kriyojenik işlem sonrası azaldığını görmüşlerdir, bu durumun da kesici takımın yapısındaki kobalt fazında oluşan değişikliklerle meydana geldiğini belirtmişlerdir. Uygulanan kriyojenik ısıtma işlemin, H13A karbür takımının sertlik değerinde %9,2 artış sağladığını gözlemlemişlerdir.

Kalsi ve ark. (2014), kesici tungsten karbür takıma -193 °C'de ve 24 saat boyunca kriyojenik işlem uygulamış, ardından farklı sayıda temperleme işlemi sonrasında temperlemenin kesici takımın mikro sertlik ve mikro yapısı üzerindeki etkisini

araştırmışlardır. AISI 1040 çeliğini (42,2 – 87,8 – 124,17 m/dak) kesme hızı, (0,04 – 0,057 – 0,08 mm/dev) ilerleme hızı ve 0,75 mm kesme derinliği parametreleri altında yapılan tornalama deneylerinin sonuçlarını yorumlamışlardır. Kriyojenik işlem sonrası kesici takımların mikro sertlik ve aşınma dayanımlarında iyileşmelerin olduğunu gözlemlemişlerdir. Kriyojenik işlem sonrası yapılan temperleme işlemlerinin sayısı arttıkça, kesici takımın sertliğinin düştüğünü belirtmişlerdir. 2. ve 3. kez yapılan temperleme işleminin kesici takımlarda düşük kesme hızı ve düşük ilerleme hızları altında daha az aşınma meydana geldiğini gözlemlemişlerdir. Takımlarda meydana gelen aşınmalara bakarak, kriyojenik işlem sonrası daha yoğun ve daha ince yapıda ikincil karbür çökelmelerinin meydana geldiğini ve ince karbürlerin daha sık ve homojen olarak dağılarak bu durumun oluştuğunu belirtmişlerdir.

Gill ve ark. (2009), tungsten kesici takıma kriyojenik ısıtma işlemi uygulayarak C-60 çeliğine ıslak ve kuru tornalama şartlarında kesintili ve kesintisiz kesme işlemleri uygulayarak işlenebilirlik davranışını gözlemlemişlerdir. Kesici takımları -196 °C sıcaklık altında 24 saat boyunca kriyojenik ısıtma işlemi uygulayıp, ardından mevcut gerilmeleri gidermek için 196 °C'ye kadar temperleme işlemi uygulamışlardır. Kesme deneylerini 110, 130, 150 ve 180 m/dak kesme hızı, 0,1 mm/dev ilerleme hızları ve 1mm kesme derinliği parametreleri ile gerçekleştirmişlerdir. Yapılan deneyler sonucunda kriyojenik işlem görmüş karbür kesicilerin ıslak kesme şartlarında, kuru kesmeye oranla kesintili ve sürekli kesme işlemlerinin her ikisinde de kayda değer bir aşınma direnci gösterdiğini belirtmişler. Kesintili ve sürekli işlemler sonucu oluşan aşınmayı karşılaştırdıklarında, sürekli işlemede daha iyi sonuçlar elde etmişlerdir.

Benzer bir çalışma da Dogra ve ark.(2011) tarafından yapılmıştır. Aynı sıcaklık parametrelerini kullanarak kriyojenik işlem ve ardından temperleme işlemleri uygulayarak, (48–49 HRC) sertliğine sahip AISI H11 çeliğinin finiş tornalama işleminde kuru kesme şartları altında yüzey aşınması, yüzey pürüzlülüğü, mikro sertlik açısından CBN karbür ve kriyojenik işlem uygulanmış ve uygulanmamış (TiCN, TiN) kaplamalı karbür uçları karşılaştırmışlardır. CBN'de meydana gelen serbest yüzey aşınmasında, K.İ. görmüş ve görmemiş kaplamalı karbür uçlara göre takımlara göre daha iyi sonuçlar elde etmişlerdir. İşleme sonrası oluşan yüzey kalitesi açısından karşılaştırdıklarında, K.İ. görmüş ve görmemiş kaplamalı takımların yüzey kalitesi CBN karbür takımla işlenen yüzeye göre daha iyi sonuçlar gözlemlemişlerdir. Mikro sertlik karşılaştırılmasında, K.İ. görmüş kaplamalı takımların mikro sertliği, K.İ. görmemiş kaplamalı takım ve CBN karbür takıma göre daha üstün bir mikro sertlik değerine sahip olduklarını belirtmişlerdir.

Bal (2012), P30 kaplamasız karbür takımla, PVD kaplı karbür takıma kriyojenik işlem uygulayarak, AISI 304 malzemesini tornalaması sonucu oluşan kesme kuvveti, tokluk, aşınma ve yüzey değerlerini karşılaştırmıştır. Kriyojenik işlemi, mikro çatlaklar oluşmaması için 0,5 ve 1°C/dak soğutma hızıyla -190°C'de 24 saat bekleterek gerçekleştirmiştir. Yapılan çalışmaların sonucunda incelenen mekanik özelliklerin ve yüzey kalitesinin, kriyojenik işlem görmeyen kesici takımlara kıyasla daha olumlu sonuçlar elde ettiğini belirtmiştir.

Seah ve ark. (2003), kobalt bağlayıcılı tungsten karbür kesici takım ömürlerini ve aşınma durumlarını, mikro yapı analizi kullanılarak ve akım üzerinde meydana gelen değişimleri açıklayarak yorumlamışlardır. Kesici takımlara (1) herhangi bir ısıtım işlemi uygulanmayarak, (2) su verme işlemi, (3) kriyojenik işlem, (4) kriyojenik işlem ve sonrasında temperleme işlemi, (5) kriyojenik soğutma, (6) kriyojenik soğutma işlemi ve ardından temperleme işlemleri gerçekleştirmişlerdir. (3) (4) (5) (6) işlemleri sonrası, yüksek kesme hızları altında kesici takımlarda takım ömrü ve aşınma direncinde önemli ölçüde artma meydana geldiğini belirtmişlerdir

SreeramaReddy ve ark. (2009) ISO P30 çok katmanlı CVD kaplı tungsten takımlara K.İ. uygulayarak, C45 çeliği üzerinde yaptığı tornalama deneyleriyle, kesici takımlarda oluşan yanak aşınmasını, işleme sonrası C45 iş parçasının yüzey kalitesini ve oluşan kesme kuvvetlerini incelemişlerdir. K.İ. olarak kesici takımlara 2°C/dk'da -176°C sıcaklığa getirilip, bu sıcaklık altında 24 saat bekleterek kesici takımlara derin K.İ. uygulamışlardır. K.İ. ardından yapılan kesme deneyleri sonrasında yaptıkları incelemelerde, derin K.İ. uygulanmış kesici takımlarla yapılan kesme işlemleri sırasında daha düşük kesme kuvvetleri oluştuğunu görmüşlerdir. Kesme deneyleri sonrası derin K.İ. gören kesici takımlarla yapılan kesme deneyleri sonrasında, C45 iş parçasının yüzeyinin daha az iyi olduğunu ve kesici takımlarda daha az aşınma meydana geldiğini belirtmişlerdir.

Mavi (2013) yaptığı çalışmada, Ti6Al4V alaşımına, kaplamalı ve kaplamasız kesici takımlarla ıslak ve kuru kesme şartları altında kesme deneyleri uygulamıştır. Kaplamalı kesici takım olarak TiAlN/TiN, TiAlN, Al₂O₃ ve Ti(C,N)/Al₂O₃/ TiN şeklinde 4 farklı kaplamalı kesici takım kullanmıştır. Kesici takımların bir kısmına K.İ. uygulamıştır, bir kısmına K.İ. sonrası temperleme işlemi, bir kısmına da herhangi bir ısıtım işlemi uygulamamıştır. Uyguladığı ısıtım işlemlerin parametreleri; -145°C altında ve 24 saat süreyle K.İ., 200°C'de 2 saat süreyle temperleme işlemleridir. Yapılan deneyler sonucunda takım aşınması, kesme kuvvetleri ve yüzey kalitesi üzerinde ısıtım işlemlerin ve

kesme şeklinin nasıl bir etki yarattığını incelemiştir. Kaplamasız kesici takımlarda, K.İ. sonrası uygulanan temperleme işlemiyle yapılan kesme deneylerinde, sadece K.İ. uygulanan kesici takımlarla yapılan deneylere oranla %10 daha düşük bir kesme kuvveti değeri ölçmüştür. En düşük kesme kuvveti değerinin TiC-Al₂O₃-TiN kaplı kesici takımla elde etmiştir. İlerleme artışıyla oluşan F_c'nin doğru orantılı olduğunu belirterek, oluşan F_c artışının ıslak kesme şartlarında daha az olduğunu belirtmiştir. Yaptığı kesme deneyleri sonunda, iş parçasının yüzey kalitesinin en iyi sonuç verdiği kesme işlemi, K.İ. ve temperleme işlemi uygulanan Al₂O₃-TiN kaplı kesici takımla yapılan ıslak kesme işlemi sonucu oluşan deneyde elde ettiğini belirtmiştir. Kuru kesme şartlarında da K.İ. ve temperleme gören TiC-Al₂O₃-TiN kaplı kesici takımla yapılan kesme işlemleri sonucu en iyi yüzey kalitesi elde etmiştir.

Özbek ve ark.(2014) kaplamasız ve kaplamalı tungsten karbür takımlara belli bir sıcaklık altında fakat farklı bekletme süreleriyle K.İ. uygulayarak, AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğin tornalama işlemi sırasında oluşan F_c ve takım aşınmasını ve işlem sonrası oluşan yüzey pürüzlülüğünü incelemiştir. Kesme işlemlerinde kaplamalı ve kaplamasız tungsten karbür kesici takımlar kullanmıştır. Kullanılan kesici takımların bir kısmına -145°C altında 12, 24, 36, 48 ve 60 saat bekleme sürelerince K.İ. uygulamışlardır. Genel olarak K.İ. gören kesici takımlarla yapılan kesme işlemlerinde, işlem görmeyen takımlara göre daha düşük F_c, daha düşük takım aşınması ve daha iyi yüzey kalitesi elde etmişlerdir. F_c, Ra ve takım aşınma direnci bakımından en iyi sonucu 24 saat K.İ.'ye tabi tutulan kaplamalı takımlarla yapılan tornalama işlemleri sonucu elde etmişlerdir. Yaptıkları deneyler sonucunda kullanılan tungsten karbür kesici takımlar için optimum K.İ. bekleme süresinin 24 saat olduğunu belirtmişler.

K.İ.'in kesici takımlara üzerine uygulanarak incelenmesi, sadece tornalama işlemlerinde kullanılan kesici takımlarla sınırlı kalmayıp, tornalama işlemi dışındaki diğer talaşlı işlemlerin kesici takımlarına da K.İ. uygulanmıştır. Bu çalışmalarda da benzer parametreler inceleme altına alınmış olup, tornalama işlemlerinde elde edilen bulgulara paralellik gösteren sonuçlar elde edildiği görülmektedir.

Musfirah ve ark.(2017), K.İ uygulanmış PVD kaplı TiAlN / AlCrN kaplamalı tungsten karbür uçlarla Inconel 718 malzeme üzerinde yaptıkları frezeleme işlemleri sırasında, oluşan kesme kuvveti, aşınma ve iş parçasının yüzey kalitesi üzerinde etkisini incelemiştir. Yaptıkları deneyler sonucunda, %23 oranında kesme kuvvetinin azaldığını, yüzede % 88 daha iyi bir yüzey kalitesi ve %10 – 20 arasında daha az bir takım aşınması meydana geldiğini belirtmişlerdir.

Poomari ve ark.(2009), K.İ.'nin sermet kesici takım performansına etkilerini incelemişlerdir. Deneylerinde sabit ilerleme hızı ve sabit kesme derinliği kullanarak farklı kesme hızları altında AISI 4340 çeliği üzerinde yapılan frezeleme işlemleri sonucu oluşan takım aşınmaları ve iş parçası yüzey kalitelerini incelemişlerdir. K.İ. uygulanan sermet kesici takımların daha iyi aşınma direnci sergiledikleri, K.İ. uygulanan takımlarla yapılan frezeleme işlemlerinde daha iyi yüzey kalitesine sahip iş parçaları elde edildiğini belirtmişlerdir.

Yong ve ark. (2007) K.İ. uygulanmış ve herhangi bir işlem uygulanmamış kesici takımlarla, ıslak ve kuru kesme şartları altında yapılan frezeleme işlemlerindeki takım performansı ve takım aşınmalarını karşılaştırmışlardır. Yaptıkları deneylerin sonucunda her iki işleme şartı altında K.İ. uygulanmış takımlarla yapılan işlemlerde daha iyi sonuçlar elde etmişlerdir. Ayrıca ıslak kesme şartlarında elde edilen sonuçların, kuru kesme şartlarına oranla daha az aşınma ve daha iyi performans sergiledikleri sonucuna varmışlardır.

Çiçek ve ark. (2012), AISI D2 çelik malzemesini, derin K.İ. görmüş (-196 °C) M35 HSS matkapla uygulanan delme işlemi sonrası, K.İ.'nin takım aşınması, mikro yapı, mikro sertlik ve takım ömrüne olan etkisini araştırmışlardır. M35 HSS takımına uygulanan K.İ. sonrası, kesici takımın yapısındaki kalıntı östenitin martenzite dönüşmesi ve oluşan martenzitik yapının eşit olarak dağılmasından dolayı mikro sertlik değerleri ve mikro yapı görüntülerini incelediklerinde, uygulanan K.İ.'nin bu mekanik özelliklere önemli katkı sağladığını belirtmişlerdir. K.İ. uygulanan delici takımlar, geleneksel ısıt işleme göre daha az takım aşınması ve % 33-62 aralığında bir oranda takım ömrü artışı sergilendiğini belirtmişlerdir.

Başka bir çalışmada, Çiçek ve ark. (2011) HSS matkap uçları kullanarak, bu takımların bir kısmına herhangi bir ısıt işlem uygulamamış, bir kısmına K.İ. uygulamışlardır. Bu takımların bir kısmına da K.İ. sonrası temperleme işlemi uygulayarak AISI 304 östenitik paslanmaz çelik üzerine farklı kesme hızları (10, 12, 14 ve 16 m/dak), farklı ilerleme hızları (0,04, 0,06 ve 0,08 mm/dev) kullanarak delme işlemleri gerçekleştirmişlerdir. K.İ. uygulanmış matkapla yapılan delme işlemlerinde oluşan kesme kuvvetleri, herhangi bir ısıt işlem uygulanmamış matkaplarla yapılan delme işlemlerinde oluşan kuvvete oranla % 10-16 arası bir düşüş sergilemiştir. Yine aynı şekilde K.İ. sonrası temperleme işlemi gören matkaplarla bu oran %13-25 arasında olduğunu gözlemlemişlerdir. Belirlenen nominal çapa en yakın çap değerinin de en iyi sonucu K.İ. gören matkapla yapılan işlem sonucu elde etmişlerdir. Takım ömrü

incelemedesinde de K.İ. ve sonrası temperleme işlemi görmüş matkap uçlarındaki ömür, farklı kesme hızları altında herhangi bir işlem görmeyen uca göre % 95 – 48 arası bir artış sağlandığını belirtmişlerdir.

Yapılan literatür taraması sonucunda, kesici takımlara uygulanan kriyojenik işlemlerin sonuçları incelendiğinde, K.İ. uygulanan kesici takımlarda meydana gelen takım aşınmaları, iş parçasının yüzey pürüzlülüğü, oluşan kesme kuvvetleri durumları incelendiği anlaşılmıştır. Yapılan bu çalışmada, -146°C derin K.İ. uygulanmış ve 2 saat süreyle çift temperleme işlemine tabi tutulmuş ve K.İ. uygulanmamış kesici takımlarla işlenen AISI 1050 çeliğinin kuru kesme şartlarında elde edilen kesme kuvvetleri, takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü değerleri incelenmiştir. Ayrıca literatürden farklı olarak, bu kesme şartları altında oluşan talaşların morfolojik yapıları SEM görüntüleme yöntemiyle incelenmiştir.

3.GENEL BİLGİLER

3.1. Kriyojenik İşlem

İlk kez 19.yy.'ın ortalarında, yeryüzünde düşük sıcaklıkların öğrenilmesinde 'soğuk bilim' ortaya çıkmıştır. İlk soğutucu 1855 yılında James Harison tarafından buhar sıkıştırılarak bir soğutucu geliştirilmiştir. 1872'de James Dewar vakum şişesini bulmuştur. 1883'de Olszewski ilk defa havayı sıkıştırarak sıvılaştırmış. Bundan 10 yıl sonra yani 1893'te Olszewski ve James Dewar hidrojeni sıvılaştırmışlardır. En yakın tarih olarak 20.yy'da Kamerlingh Onnes tarafından helyum sıvılaştırarak bilimsel çalışmalara yeni bakış açıları kazandırılmıştır (Kalia, 2010; Foerg 2010). "Kriyojenik" kelimesi, Yunanca soğuk anlamına gelen "krys" kelimesinden türetilmiştir (Gu K ve ark. 2014).

K.İ. ilk olarak 1920 ve 1930'lu yıllarda yüksek hız çeliklerine (HSS) uygulanmıştır. Uygulama sonucunda yumuşak faz olan östenit fazının, sert faz olan martenzite dönüştüğünü görülmüştür. Bu dönüşüm sonucu çeliğin performansının iyileştiği, malzemelerin ömürlerinin uzadığını görülmüştür (Dowdell ve ark. 1927).

Endüstriyel alanda ilk olarak 1950 ve 1960'lı yıllarda K.İ. ile ilgi alanı oluşmaya başlamıştır. Bu ilgi, takım üreticilerinin uzay programlarının teşviki sonucu ile başlamıştır. Bu üretici firmalar, sıvı azot içerisine takımları daldırarak denemeler gerçekleştirmişlerdir. Fakat bu daldırma işlemleri sonucunda oluşan termal şoklar takımların zarar görmesine neden oluşmuştur. Daha sonraları programlanabilir sıcaklık denetleyicileri sıvı azot akış kontrolü için selonoid vana ile iş parçasının sıcaklığını denetlemek için geliştirilmiştir (Sweeney 1986; Levine 2001).

Avrupa ülkeleri ve ABD'de yaygın olarak kullanılan, klasik ısıl işlemin ardından yapılan tamamlayıcı bir ısıl işlem olan K.İ., malzemelerin mekanik özelliklerinin iyileşmesine olanak sağlamaktadır. Malzemelere kazandırdığı bu üstün özelliklere rağmen ülkemizde K.İ. uygulamaları yeterli derecede kullanılmamaktadır (Uzun, 2014).

K.İ. geleneksel ısıl işleme alternatif bir işlem olmayıp, konvansiyonel ısıl işlemin sonunda ve temperlemeden önce yapılan bir ısıl işlemdir. K.İ. malzemenin tüm kesitlerini etkileyen bir defaya mahsus yapılan kalıcı ve konvansiyonel ısıl işlemi tamamlayıcı bir ısıl işlemdir (Kıvak, 2012).

Klasik ısıl işlemlerden farklı olarak, malzemenin her yerine eşit ve homojen bir şekilde etki ederek, malzeme performansını uzun ömürlü hale getirir. Az maliyet ile malzeme performansını iyileştirecek çalışmaların doğrultusunda yapılan çalışmalar sonucu K.İ. istenilen beklentiye karşılar nitelikte olduğu gözlemlenmiştir.

K.İ. ilk olarak, malzemelerin sıvı nitrojen içine doğrudan daldırmasıyla yapılmaktaydı. Bu daldırma işlemi sonrası, soğutma işlemi uygulanan malzemelerde meydana gelen ani ısı değişiminden kaynaklı olarak malzemelerde termal şoklama meydana gelmekteydi. Oluşan bu termal şoklardan dolayı, kriyojenik işlem gören malzemelerde mikro çatlaklar meydana gelmiştir (Çiçek, A. ve ark., 2013).

İlerleyen teknoloji ile birlikte, soğutma işlemi bilgisayar kontrol sistemleri sayesinde kademeli olarak gerçekleştirildi. Bu sayede, daha sorunsuz işlem görmüş ürün elde edilen K.İ. uygulamaları elde edildi (Kalia, 2010).

K.İ. ile numuneler -80°C ile -196°C arasında değişen sıcaklık aralığı içinde, sistem tarafından azot ve helyum gazları kullanılarak, bir kontrol ünitesi tarafından kademeli olarak soğuturlar. Hedeflenen sıcaklığa ulaşıldığında belli bir bekleme süresiyle soğutma işlemi yapılır. Bekleme süresi ardından K.İ. gören numuneler kademeli olarak oda sıcaklığına getirilirler (Sentilkumar ve ark., 2011; Podgornik ve ark., 2009).

K.İ.'de kullanılacak olan soğurucunun bulunduğu tank içerisindeki sıvı azot, K.İ. uygulanacak olan fırının içine girdiğinde gaz fazına dönüşür. Bu sayede sıvı azotun K.İ. görececek malzemeye teması engellenmiş olur. Bilgisayar kontrollü ünite sayesinde sıcaklık kademeli olarak düşürülerek istenilen değere getirilir. K.İ. görececek olan malzeme belirlenen bu sıcaklıkta K.İ. uygulanacak olan fırın içerisinde belirlenen süre içinde bekletilir. (Kıvak, 2012).

Malzemeye uygulanan K.İ. sonrası malzemenin mukavemetini arttırmak için temperleme işlemi uygulanır. Bu işlem malzeme niteliğine göre tekli, çiftli veya üçlü döngü halinde gerçekleştirilir (Carlson, 1991).

Geleneksel sertleştirme yöntemlerinde çelik, östenitleme işleminden sonra oda sıcaklığına hızlıca soğutulur. Bu soğutma işlemi sonucunda martenzitik yapı elde edilir. Oda sıcaklığında yapılan bu konvansiyonel soğutma işlemi sonunda, malzeme tamamen martenzit yapıya dönüşmez, malzeme yapısında kalıntı şeklinde metastabil faz olarak adlandırılan kalıntı östenitler bulunur. Yumuşak faz olarak bulunan bu kalıntı östenit hem mamül ömrünü azaltır hem de çalışma sırasında martenzite dönüşebilir. Bu dönüşüm boyutsal kararsızlık yaratır. Oluşan bu yeni martenzit yapı çok gevrek, mikro çatlaklara sebep olabilir ve bundan dolayı ısıtma işlemi görmüş malzemenin ömründe azalma meydana gelir. Isıtma işlemi sonrası malzeme yapısında kalan kalıntı östenit yapı, malzemenin mekanik özelliklerinde negatif etki meydana getirir. Kalıntı östenitin martenzit yapıya kontrollü olarak geçmesi aşınma direnci, malzeme ömrü açısından önem arz etmektedir.

Bu kontrollü dönüşümü sağlamak için K.İ. kullanılmalıdır (Molinari ve ark., 2001; Mohan Lal ve ark., 2001).

Sıfır altı işlemin genel olarak, uygulandığı malzemelerde;

- Kalıntı östenit fazını martenzite dönüştürür.
- Tane yapısında incelme meydana getirir.
- Karbür formlarını değiştirir.
- İç gerilmeleri giderir (Uzun, 2014).

Malzemelere kazandırdığı bu metalurjik özellikleri aşağıda maddeler halinde detaylandırarak olursak;

a-) Kalıntı Östeniti Martenzite Dönüştürme

Klasik ısıtma işlemlerinde çelik malzemeleri sertleştirmek için ilk olarak östenit fazı elde edilir. Östenit fazı soğutma işlemi sonucu elde edilmek istenilen martenzit yapıya dönüştürülür. Geleneksel ısıtma işlemi sonunda mevcut östenit fazının tamamının martenzit yapıya dönüşümü gerçekleşmez. K.İ. sayesinde kalıntı östenit fazın, martenzit faza dönüşümü gerçekleşir.

b-) Karbür Formu Değişir

Klasik sertleştirme metodlarında, kristal yapı içine giren karbürler, kristal yapıda gerilmelerin oluşmasına neden olurlar. K.İ. sürecinde kristal yapı içinde hapsolan karbürler, mevcut yapıdan kurtulup malzeme içinde dağılırlar. Bu dönüşüm sayesinde ısıtma işlemi sonrası malzemede mevcut olan kalıntı gerilmeler, önemli ölçüde azalma gösterip yüksek sertlikte karbür yapısı oluştururlar. Bunun sonucunda malzemede önemli ölçüde aşınma direnci artışı meydana gelir.

c-) Tane Yapısında İncelme

K.İ. sonucunda alaşımdaki atomlar, uygun değer dizilişi meydana getirilerek kararlı oldukları yerde dururlar. Bunun sonucu olarak da moleküller arası bağlar güçlenir. Bu bağ güçlenmesi sonucu malzemenin mevcut aşınma direncinde artış meydana gelir.

d-) İç Gerilmelerin Giderilmesi

K.İ. sonucu tane yapısındaki incelme ve mevcut atomların yeni diziliş formları oluşturması sonucu olarak, kristal yapıda K.İ. öncesi mevcut olan atom boşlukları, K.İ. sonrası giderilir. Bunun sonucu olarak birim hacimdeki atom yoğunluğunda artış meydana gelir. Birim hacimdeki atom sayısının artması sonucu malzemede iç gerilmelerde önemli ölçüde azalma meydana gelir. Oluşan bu mikro yapı değişimi

sonucunda malzemenin tokluk, sertlik, mukavemet, aşınma direnci gibi mekanik özelliklerinde iyileşmeler meydana gelmektedir (Uzun, 2014).

Mohal Lal ve ark.(2001), K.İ.'in klasik ısıtıl işleminden sonra yapılan bir işlem olup, klasik kaplama işlemlerinden farklı olarak uygulanacak malzemenin tümünü etkileyen tamamlayıcı bir ısıtıl işlem olduğunu belirtmişlerdir. Yaptıkları deneylerde, K.İ.'inn %110'a yakın bir takım ömrü iyileşmesi sağladığını görmüşlerdir.

Sığ K.İ.'de, su verme işleminden sonra kalıntı östenit azalmakta ve yüksek aşınma direnci elde edilmektedir. Derin K.İ. kalıntı östeniti azaltır ya da tamamen ortadan kaldırır. Derin K.İ. sonucu daralan östenit ve martenzit kafesleri karbon atomlarını difüze etmeye zorlar. Bu karbon atomları yüksek sıcaklıklarda yeni karbürler üreterek homojen bir karbür dağılımına yol açar. Daha yüksek oranda ve daha homojen bir şekilde karbür dağılımı sağlar (Molinari ve ark., 2001). Derin ve sığ K.İ.'ler karşılaştırıldığında ise derin K.İ. sonrası daha iyi aşınma direnci kazanılır.

Reddy ve ark. (2007), yaptıkları deneyler sonucunda, derin kriyojenik işlemin karbür takımların ömürleri üzerinde %9,58 - %21,8 arasında bir artış sağladığını gözlemlemişlerdir.

K.İ. takım çeliği olarak ilk kez yüksek hız çeliklerine (HSS) uygulanmıştır. Uygulama sonucunda yumuşak faz olan östenit fazının, sert faz olan martenzite dönüştüğünü görmüşlerdir (Dowdell ve ark., 1927; Gulyaev, 1939). Ayrıca K.İ. sonrası işlem gören malzeme homojen bir karbür dağılımına sahip olmaktadır. Bu dönüşüm ve değişimler sayesinde K.İ. gören malzemenin tokluk ve sertlik özelliklerinde iyileşmeler meydana gelir, malzemelerin ömrü uzar (Singh ve ark.,2011; Candane ve ark. 2013). Bu dönüşüm sonucu çeliğin performansının iyileştiği, malzemelerin ömürlerinin uzadığını görmüşler (Dowdell ve ark., 1927; Gulyaev, 1939). 1937 yılında takım performansı üzerinde olumlu sonuçlar doğurduğu gözlemlenmiştir (Amini ve ark.,2012; Susheel, 2010). Kesici takımlara uygulanan K.İ., kesici takıma aşınma direnci, takım ömrü, üretilen ürünün kalitesinin artmasına yönelik katkılar sağlamaktadır. K.İ. sonrası kesici takımlardaki bu iyileşmeler kesici takım performansını arttırarak üretim maliyetinin düşürülmesinde önemli rol oynamaktadır. K.İ. uygulanan takımında takım aşınmaları azaldığından yüzey pürüzlülüğünde iyileşmeler ve kesme kuvvetlerinde de azalma meydana gelmektedir.

K.İ.'in kesici takımlara uygulanış biçiminin belirlenmesi, farklı uygulanış şekillerinin takım performansı üzerinde nasıl etki yaratacağını belirlemede önem arz

etmektedir (Gill ve ark., 2012; Gill ve ark 2010; Firozudor ve ark., 2008; Monilari ve ark., 2001).

Takım türüne göre seçilecek olan uygun parametreler doğrultusunda, takıma uygulanacak olan K.İ., kesici takımın performansını arttırır (Vadivel ve ark. 2009; Çiçek ve ark. 2013; Çiçek ve ark. 2011).

K.İ. uygulanacak takımlardan en yüksek performansı elde etmek için, K.İ. uygulanacak takımın türüne göre K.İ. uygulama ısısı, bekleme süresi ve soğutma hızı optimize edilmelidir (Ramji ve ark., 2010; Baldisseera ve ark., 2008).

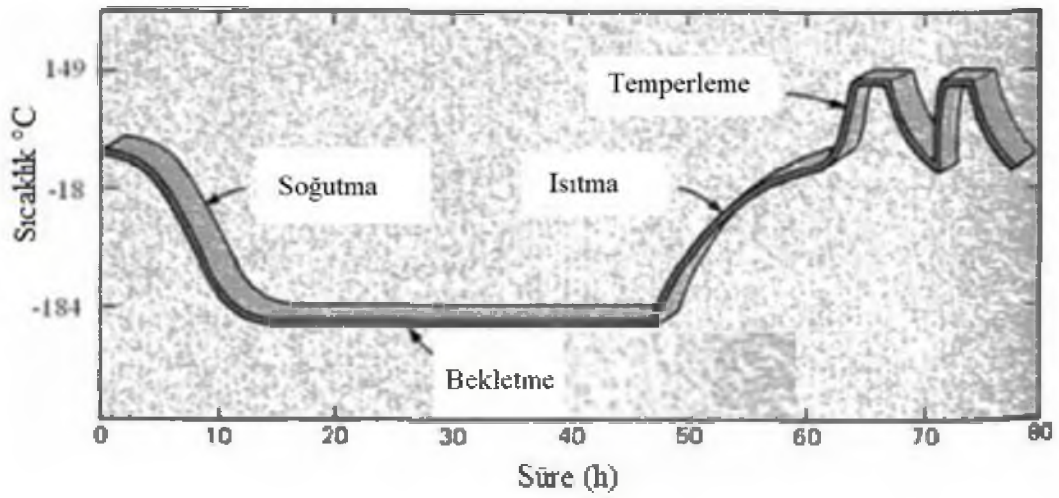
K.İ uygulanabilecek malzeme türleri;

- Çelikler
- Dökme demirler
- Alaşımlar
- Demir dışı metaller
- Karbürler
- Seramikler
- Plastikler

K.İ. uygulanacak malzeme türüne göre farklılık göstermekle beraber, K.İ.'in faydalarını ve K.İ. gören malzemelerde meydana getirdiği iyileşmeleri aşağıdaki iyileşmeler elde edilir (Alava, 2008).

- Bir kez uygulanır ve kalıcıdır
- Malzemelerin sadece yüzeylerine değil, tümüne etki eder
- Kalıntı gerilmeleri giderir
- Malzemelerin ömürlerini uzatır
- Aşınma direncinde iyileşmeler meydana gelir
- Yorulma direncinde artış sağlar
- Boyutsal kararlılık sağlar
- Gerilimi giderir
- Elektrik iletkenliğinde artış sağlar
- Malzeme işlenebilirliğinde iyileşme sağlar
- Sertlik artışı
- Yüksek korozyon direnci kazanımı

3.1.1. Kriyojenik işlem aşamaları



Şekil 3.1. Kriyojenik İşlemin Aşamaları (Yamanoğlu, 2015).

K.İ. görececek olan malzemeye uygulanacak olan K.İ.'in uygulama süresi, uygulama sıcaklığı; malzemeye kazandırılmak istenilen mekanik özellikler, malzemenin boyutuna bağlı olarak farklılık gösterir.

Soğutma evresi, soğutma sonunda belirlenen kriyojenik sıcaklıkta belli bir süre bekletildiği bekletme evresi, kriyojenik sıcaklıktan ısıtılarak temperleme sıcaklığına kadar kadar ulaştığı temperleme/ısıtma aşaması olarak Şekil 3.1'de gösterildiği gibi 3 farklı aşamada gerçekleştirir. Prosesi oluşturan bu evrelerin uygulama sıcaklığı ve süreleri uygulanacak olan malzemeye kazandırılmak istenen özellikler, uygulanacak malzemenin şekil ve boyutu, işlem maliyetine bağlıdır (Carlson ve ark., 1991; Chillar ve ark., 2005).

a-) Soğutma aşaması

Kriyojenik işlemin kesici takımlara uygulanmasında soğutma hızının belirlenmesinde iki ana yaklaşım bulunmaktadır. Birinci yaklaşım, termal şok olarak adlandırılır. Bu yaklaşımda, numuneler kriyojenik uygulama ısısına hızlı bir şekilde getirilir. Bu işlemde, genellikle kesici takımlar sıvı azota daldırılırlar. İkinci yaklaşım da ise numuneler Şekil 3.1'de gösterilen grafiksel gösterimdeki gibi kademeli olarak kriyojenik ısıya getirilmektedir (Singh ve ark.,2012). Yapılan bilimsel çalışmalarda kesici takımlar direkt olarak kriyojenik ısıya maruz kaldığında termal şoktan dolayı ani ısı değişikliğine bağlı olarak kesici takımlar üzerinde mikro çatlakların meydana geldiği bilinmektedir (Kalsi ve ark.,2014).

Numunelerin mikro yapılarında meydana gelebilecek çatlakların ortadan kaldırılabilmesi için kriyojenik işlemin kontrollü bir şekilde kademeli ısıtılıp soğutulması gerektiği belirtilmektedir (Gill ve ark., 2010).

Ani soğutma işleminin zamansal ve maliyet yönünden incelendiğinde ilk etapta daha ekonomik gelebilir fakat takım kademeli soğutma ile takıma kazandırılan mekanik özelliklerle birlikte kesici takımın ömrü, takımın talaşlı işlem sonrası istenilen yüzey kalitesinde üreteceği ürünün sayıca fazla olması v.b. gibi avantajlar sağlaması. K.İ.'in ani soğutmaya göre daha ekonomik ve daha az maliyetli bir yöntem olduğunu göstermektedir.

K.İ. görece malzemenin ortam sıcaklığından belirlenen kriyojenik sıcaklığa belli bir zaman diliminde ($^{\circ}\text{C}$ /saat veya $^{\circ}\text{C}$ / dk) soğutulması işlemidir. Bu işlemin malzemeye kazandırılacak özelliğe etkisinin az olduğu belirtilmektedir. Bundan dolayı soğutma işlemindeki soğutma süresini azaltmak hem maliyet hem de malzemede oluşabilecek termal şoklanmayı engellemek için bu süre kısa tutulmalıdır (Yamanoğlu, 2015).

K.İ.'de en yaygın kullanılan kriyojenik sıvı, sıvı azot gazıdır. Bu gaz, havanın sıkıştırılarak likit hale getirilerek -196°C 'de hava içindeki sıvı azotun özel valften geçirilip azot gazının oksijenden ayrılmasıyla üretilir. Üretilen azot gazı sıkıştırılarak sıvı azot gazı elde edilir. Sıvı azot gazı atmosfer basıncı altında -196°C 'de kaynar. Ayrıştırılarak elde edilen sıvı azot gazı izoleli tanklarla depolanıp, atmosferik basınç altında ve mevcut sıcaklığında sıvı olarak kalırsa çok az bir miktarı -196°C 'de gaz fazına dönüşür (Yamanoğlu, 2015).

Sıvı haldeki azot gazı, tanımlanan bu koşullar altında taşınacak tüpte fazla basınç oluşturulmadan taşınabilir. Sıvı azot gazının bu özelliğinden dolayı kriyojenik soğutmada kolay kullanım olanağı doğmuştur (Yamanoğlu, 2015).

Sıvı azot gazı izoleli tüp içinde değil de; -196°C 'nin üzerinde ve oda sıcaklığında saklanmak istenirse çok yüksek basınç altında tutulması gerekmektedir (Reitz ve ark., 2001).

PVD kaplamalı ve kaplamasız tungsten karbür kesici takımlara kriyojenik işlem uygulayan Bal (Bal, 2012), soğuma hızının etkisini değerlendirmek için takımları iki farklı hızda soğutup/ısıtarak kriyojenik işlem uygulamıştır. Soğutma hızı olarak $0,5^{\circ}\text{C}/\text{dak}$ ve $1^{\circ}\text{C}/\text{dak}$ hızını kullanarak toplam ısınma/soğutma işlemleri sırasıyla 8 ve 4 saatte tamamlamıştır. Bal, yapmış olduğu çalışmada $0,5^{\circ}\text{C}/\text{dak}$ soğutma hızıyla uygulanan kriyojenik işlemde takımların aşınma direncinin daha iyi olduğunu

belirtmektedir. Soğutma hızı 1 °C/dak alındığında ise takımların mikro yapılarında karbür dağılımının daha iyi olduğu sonucuna varmıştır.

b-) Bekletme aşaması

Bu aşamada, K.İ. görececek olan malzemenin, uygulanacak olan istenilen işlem sıcaklığında belli bir süre bekletildiği periyottur (Şekil 3.1).

İşlem görececek olan malzemenin yapısındaki atomların dizilişlerinin farklılaşıp yeni konumlar kazanması, mevcut östenitik yapının martenzit yapıya dönüşmesi, yeni karbürlerin oluşması ve karbürlerin dağılımı gibi, malzemenin yeni özellikler kazanması bakımından bu safha önemlidir.

Yapılacak olan kriyojenik işlemde en yüksek verimin sağlanması ve işlem maliyetinin düşürülmesi bakımından, bu aşamanın uygulama süresinin optimizasyonu önem taşımaktadır. (Gill ve ark., 2010).

Yapılan kriyojenik işlem uygulamaları incelendiğinde uygulama süreleri malzemenin yapısına göre 1 saat ile 40 saat arasında değişmektedir (Gill ve ark., 2010; Dhokey ve ark., 2014).

Moore ve ark., Collins ve ark., yaptıkları çalışma sonucunda, artan bekletme süresine bağlı olarak D2 takım çeliğinin sertliğinde bir değişiklik olmadığını gözlemlerken, Moore ve Dormer artan süreli kriyojenik sıcaklıkların bu takım çeliğinin aşınmaya karşı direncinin arttığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca değişen kriyojenik bekleme süresinin D2 takım çeliğinde bir olmamasına rağmen, H13 takım çeliğinin sertliğinde süreye bağlı olarak bir artış gözlemlemişlerdir (More ve ark., 1993; Collins ve ark., 1997).

Lulay ve arkadaşları 7075 alüminyum alaşımının 12 ve 48 saat süreyle bekletme işlemlerini sonuçlarını değerlendirmişlerdir. Yaptıkları deneylerin sonucu olarak, belirlenen bu iki farklı bekletme süreleri sonucunda malzemenin akma, gerilme, uzama dayanımları ve sertliği gibi mekanik özelliklerinde bir fark olmadığını gözlemlemişlerdir (Lulay ve ark., 2002).

Darwin ve ark. (2008), martenzit paslanmaz çelik (%18 krom içeren SR34), ticari emniyet segmanlarına maksimum aşınma direnci kazandırmak için 12, 24 ve 36 saat uygulama sürelerinde kriyojenik işleme tabi tutmuşlardır. Numune üzerinde en iyi aşınma direncine 36 saat uygulama süresi ile ulaştıkları belirtilmiştir. 36 saat uygulama süresi ile numunelerin aşınma direncinde % 24 artış tespit etmişlerdir.

Shirbhate ve ark.(2012), HSS (M2) kesici takıma 8, 16 ve 24 saat bekleterek kriyojenik işlem uygulamışlardır. Yaptıkları delme deneylerinde 24 saat bekletme süresi

kesici takımın kesme tork değeri yüzey pürüzlülüğü ve aşınma direncinde daha iyi performans gösterdiğini belirtmişlerdir.

Baldissera ve ark.(2009) ise 18NiCrMo5 karbür çeliğin mekanik özelliklerine kriyojenik işlemin etkisinin araştırmışlardır. Yapmış oldukları çalışmada, 1 saat ve 24 saat (M24) kriyojenik işlem uygulama sürelerini karşılaştırmışlardır. 24 saat K.İ. uygulama süresinde numunelerin sertlik ve gerilmelerinin 1 saat kriyojenik işlem uygulanan numunelere göre daha yüksek olduğu sonucuna varmışlardır.

Kriyojenik işlem parametrelerinin Ti-6Al-4V alaşımına etkisini araştıran Gu ve ark. (2014) farklı kriyojenik işlem sürelerinin numunenin sertliğine etkisini araştırmışlardır. Araştırmalarında karşılaştırdıklarında 72 saatlik bekleme süresinde maksimum sertlik artışı olduğunu belirtmişlerdir.

Collins, takım çelikleri için bekletme süresiyle, karbür dağılımı ve aşınma direncinin doğru orantılı olduğunu belirtmiştir (Collins, 1996; Collins 1998).

Sonuç olarak bu süre farklı malzemelerde farklı etki yarattığı gibi tek malzemenin tüm mekanik özelliklerinde de değişim yaratamadığı sonucuna varılabilir. Kriyojenik işlem uygulanan takımlarla ilgili çalışmaların büyük bir çoğunluğunun 24 saat uygulama süresi üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Araştırmacılar karbür sayısı ve aşınma direnci açısından K.İ.'den en yüksek faydayı elde edebilmek için en az 24 saat bekletme süresi gerektiğini tavsiyelerinde bulunmuşlardır. Farklı uygulama sürelerinde farklı sonuçların alınması kriyojenik işlem uygulanan takımın malzemesine ve takımın kullanıldığı imalat türüne göre değişiklik göstermiştir (Kalsi ve ark.,2014; Ramji ve ark.,2010; Candane ve ark.,2013).

c-) Isıtma ve temperleme aşamaları

Şekil 3.1'deki gibi, kesici takımlara uygulanan kriyojenik işlemden sonra genellikle temperleme işlemi uygulanmaktadır. Temperleme işlemi, kesici takım üzerinde aşırı soğumaya bağlı olarak oluşan iç gerilmeleri gidermek amacıyla uygulanmaktadır (Gill ve ark., 2012; Bensley ve ark.,2012). Kesici takımlara uygulanan temperleme işlemi genellikle 150 °C ile 200 °C arasında 1,5 ile 2 saat arasında bekletilerek uygulanmaktadır (Xuan ve ark., 2008). Collins (1998), yaptığı çalışmada. K.İ.'in malzemeye sağladığı en önemli faydanın, ısıtma ve temperleme işlemlerinde kazandırıldığı belirtmiştir.

Kriyojenik işlem ve temperleme döngüsünde ilk amaç malzemelerde östenitten martenzite dönüşümü ile sertlik artışını sağlamaktır. Diğer amaç ise mikro yapıdaki karbür dağılımını iyileştirerek aşınma direncini arttırmaktır (Çiçek ve ark., 2011).

Collins (1998), 560 °C ve 200 °C gibi iki farklı temperleme sıcaklığının, D2 takım çeliğindeki ince tanecikli karbürlerin ve malzemenin aşınma oranına etkisini incelediğinde 560°C olan temperleme sıcaklığının daha iyi sonuç verdiğini gözlemlemiştir.

Reitz ve ark.(2001)'lerinin da yaptıkları farklı bir çalışmada ise, ısıtma işleminin yavaş gerçekleşmesinin gerektiği ve temperleme işleminin 500°C'den fazla olmasının K.İ.'in sağlayacağı yararlı etkilerin kaybolacağını belirtmişlerdir.

Görüldüğü gibi aynı sıcaklık değeriyle yapılan temperleme işlemi, farklı sonuçlar yaratabilir. Bunun sebebi olarak da işlem uygulanacak olan malzemenin türü ve uygulanacak olan temperleme işleminin uygulama şekline bağlanılabilir.

Bal (2012), kaplamasız karbür takıma (P30) kriyojenik işlemin etkisini araştırmak için yaptığı çalışmasında kriyojenik işlemin ardından uygulanan temperlemenin karbür takımların tokluğunu arttırdığını, yanak aşınmasını azalttığını ve ölçülen kesme kuvvetlerini düşürdüğünü belirtmiştir.

Firouzdor ve ark. (2008) ise CK40 karbon çeliğinin kuru şartlarda delinmesinde takıma uygulanan kriyojenik işlemin takım ömrünü %77, kriyojenik işlemde sonra uygulanan temperleme işleminin ise takım ömrünü %126 arttırdığını tespit etmişlerdir.

K.İ.'in malzeme üzerindeki son etkiyi sağlaması için, temperleme işleminin K.İ.'den önce yapılması önerilir (Nordquist, 1953).

Molinari ve ark. (2001) H13 takım çeliği üzerinde çift temperleme öncesi ve sonrası yapılan derin K.İ.'in malzeme aşınma dayanımı ve sertliği gibi mekanik özelliklerine etkilerini karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, temperleme öncesi yapılan derin K.İ.'in incelenen mekanik özelliklerde daha iyi sonuçlar verdiğini gözlemlemişlerdir.

Yun ve ark. (1998) T1 ve M2 yüksek hız çeliklerini kullanarak, derin K.İ.'in 3'lü temperleme işlemlerinden önce ve sonra uygulaması sonucu, kullanılacak çelik malzemelerin bazı mekanik özellikleri üzerinde etkisini incelemişlerdir. Sonuç olarak, temperleme öncesi yapılan derin K.İ.'in temperleme sonrası yapılan derin K.İ.'ye kıyasla malzeme eğilme dayanımı ve darbe tokluğu açısından daha iyi sonuç verdiğini gözlemlemişlerdir.

K.İ. uygulanacak olan malzemenin özelliğine, işlem sonrası malzemeye kazandırılmak istenilen mekanik özelliklere göre temperleme işlemi tek, çift veya üçlü döngüler halinde uygulanabilir.

Ramji ve ark. (2010), K.İ. görmemiş, kriyojenik işlem görmüş ve kriyojenik işlem ardından kesici takımlara uygulanan tek temperleme ile çift temperleme uygulanan karbür matkaplar kullanarak gri dökme demirin delinmesini araştırmışlardır. Araştırmacıların elde ettikleri sonuçlara göre K.İ. uygulanmış ve çift temperleme yapılan takımlarda kesme kuvveti, takım aşınmaları ve yüzey pürüzlülükleri sonuçlarında iyileşmeler gözlemlendiği belirtilmiştir

Candane ve ark. (2013), AISI T42 HSS numunelere uygulanan kriyojenik işlem sonrasında mikro yapılarında ince karbür dağılımını sağlamak için temperleme işlemini peş peşe iki defa tekrarlamışlardır.

K.İ. birçok alanda yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir. Bu işlemin kullanım alanlarına ve uygulama değişikliklerine göre malzemeler üzerinde farklı katkı oranları bulunduğu gözlemlenmiştir. K.İ.'nin kesici takımlara uygulanması sonucu takımların ömrünü ve aşınma direncini arttıran etkili bir yöntem olduğu belirtilmektedir. K.İ.'nin kesici takımlarda sertlik, yorulma dayanımı, tokluk, aşınma direnci ve takım ömründe artışlar sağlamaktadır. K.İ.'de takım performansını etkileyen önemli parametrelerin kesici takım türü, soğutma hızı, uygulama süresi, uygulama ısı ve temperleme işlemidir. Bu nedenle, takım türüne göre uygun koşullar altında yapılan kriyojenik işlem daha yüksek verim elde etmek açısından önemli olduğu anlaşılmaktadır.

3.2. Talaş Oluşumu ve Talaş Kaldırma Mekanizması

Üretilcek ürünün imalat aşamasında, iş parçasından elde edilecek ürüne göre uygun tezgâh ve parametreler seçilerek talaşlı imalat işlemi gerçekleştirilir. Talaşlı imalatı torna, freze, matkap gibi tezgâhlarda farklılık olsa da, talaş oluşum mekanizması temelde tüm işlemlerde aynıdır.

Talaş kaldırma işlemlerinin hepsinde, üretilcek ürünü belirlenen boyut ve toleranslarda üretilmesi için, kesici bir uç kullanılarak iş parçası üzerinden malzeme kaldırılır. İş parçasından ayrılan tabaka halindeki malzemelere talaş denir. Talaşın oluşması için 3 temel şartın sağlanması gerekir, bu şartlar maddelersek:

- İşlemden kullanılacak kesici ucun malzemesinin, kesme işlemi uygulanacak iş parçasının malzemesinden daha sert ve aşınmaya karşı daha dirençli olması gerekir.
- Kesici uç geometrisinin, iş parçasına dalma işlemini gerçekleştirebilecek, uygun talaş derinliği ve ilerleme sağlayacak bir geometriye sahip olmalı.
- Kesme işlemi sırasında iş parçasının kesme direncini yenecek şekilde bir kesme hızı veya göreceli hareket oluşturması (Karayel, 2015).

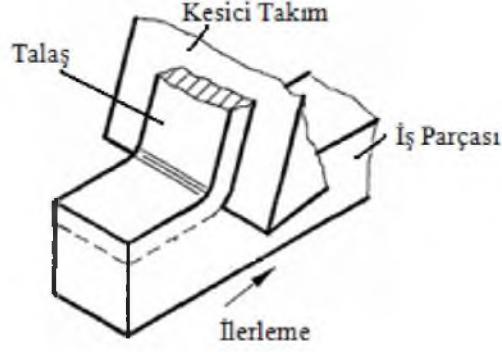
Talaş kaldırma bölgesel bir kayma işlemiyle dar bir alanda gerçekleşir. Kesici takımın iş parçasıyla teması geçmesiyle ilk olarak iş parçasında geçici (elastik) deformasyon meydana gelir. Kesme işleminin devam etmesiyle, iş parçasının akma dayanımı sınırı aşıldığında iş parçasında kalıcı (plastik) deformasyon meydana gelir. Bu şekilde plastik deformasyonun devam etmesi halinde iş parçasında dislokasyon birikmesi meydana gelir. Yüksek dislokasyon birikmesiyle, malzemede deformasyon sertleşmesi meydana gelir. Oluşan bu sertleşme bir doyum noktasına ulaştığında iş parçasında kayma işlemi gerçekleşir ve deformasyona uğrayan bölgenin yüzeyinden kesici takımın kopardığı malzemeler talaş şeklini alır (Karayel, 2015).

2 farklı kesme işlemi mevcuttur. Bunlar dik (Ortogonal) kesme ve eğik (Oblik) kesme işlemleridir.

3.2.1.Dik (Ortogonal) kesme:

Ortogonal kesme, kesme kenarı, kesme hızına (V) dik olan düz takımla şekillendirme işlemine benzer. Kesme genişliği (b) ve kesme derinliği (a) ile metal talaş, iş parçasından kesilerek ayrılır. Ortogonal kesmede kesme işlemi kesme kenarı boyunca uniform olarak düşünülür.

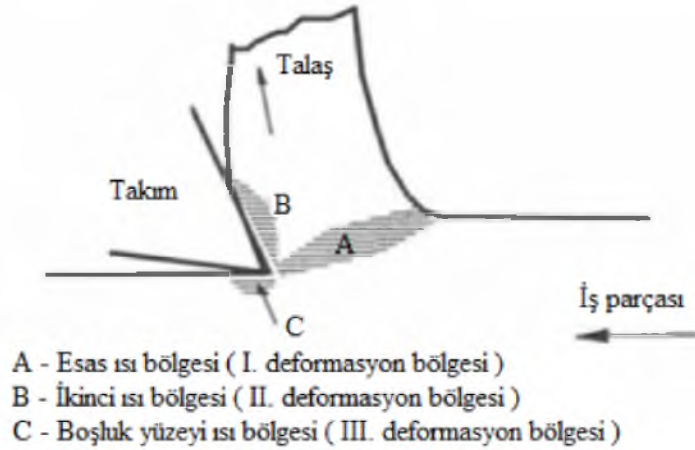
Ortogonal kesmede kullanılan takımın kesici kenarı, Şekil 3.2’de gösterildiği gibi kesme hızı yönüne diktir. Takımın malzemeye uyguladığı kuvvet sonucunda, iş parçasıyla θ açısı yapacak şekilde birincil kayma bölgesi adı verilen düzlem şeklinde bir deformasyon bölgesi oluşur. Bu düzlem boyunca oluşacak olan talaş şekillenir.



Şekil 3.2. Ortogonal Kesme İşlemi (Özay, 2009)

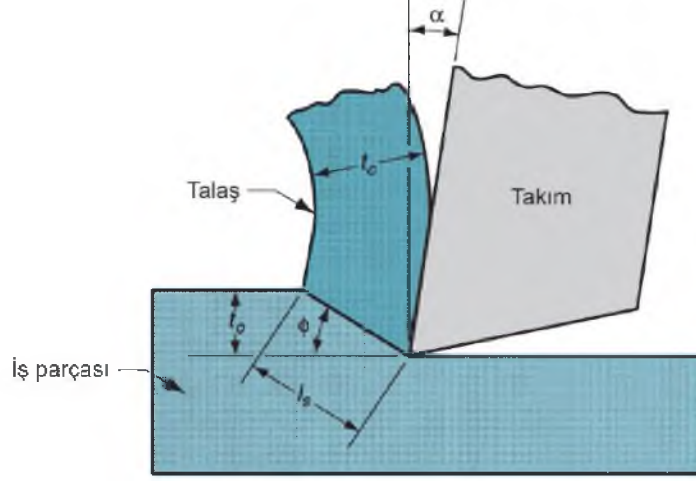
Malzeme şekillenirken ana malzemeden talaş kaldırmanın sonucu olarak sadece takımın kesici kenarında bozulma meydana gelir. Kesme düzlemi boyunca mekanik enerji harcanarak malzeme plastik deformasyona uğrar.

Talaş oluşumunu gösteriminde, talaşın oluşmasıyla talaşın takıma teması boyunca ikinci deformasyon bölgesi, takım yan yüzeyinde sürtünmeden kaynaklı oluşan bölge de üçüncü deformasyon bölgesi olarak adlandırılır (Şekil 3.3) (Groover, 2016).



Şekil 3.3. Kesme İşlemi Esnasında Oluşan Deformasyon Bölgelerinin Gösterimi (Karayel, 2015).

Ortogonal kesmede, takım geometrisi sadece iki elemana sahiptir. Talaş açısı ve boşluk açısı. Şekil 3.4'te gösterildiği gibi, talaş açısı, α olarak gösterilir ve iş parçasından çıkan talaşların doğrultusunu tanımlar. Boşluk açısı ise, ϕ olarak gösterilip, takım yan yüzeyi ile yeni oluşan yüzey arasındaki küçük boşluğun oluşturduğu açıdır. Malzemenin kesilmesiyle talaş kısmen şekil değiştirir.



Şekil 3. 4. Kesme İşleminde Oluşan Talaşın Ölçüleri ve Kesme Açısı (Groover, 2016).

Kesme esnasında takımın kesici kenarı orijinal iş yüzeyinin altında belirli bir mesafede konumlandırılmıştır. Bu, talaş oluşumundan önceki talaş kalınlığına (t_0) karşılık gelir. Kesme düzlemi boyunca şekillenen talaşın kalınlığı t_c 'ye kadar artar. Eşitlik 3.1' deki gibi t_0 ve t_c 'nin oranına talaş kalınlık oranı veya talaş oranı (r) denir.

$$r = \frac{t_0}{t_c} \quad (3.1)$$

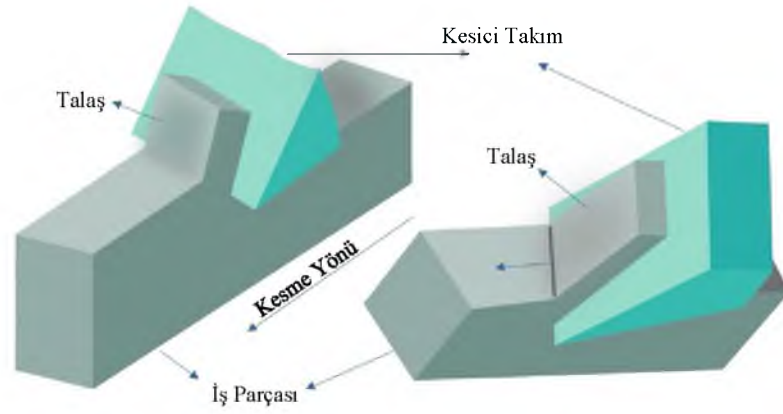
t_0 : İlk talaş kalınlığı

t_c : Kesme düzlemi boyunca şekillenen talaş kalınlığı

l_s = kesme düzlemi uzunluğu

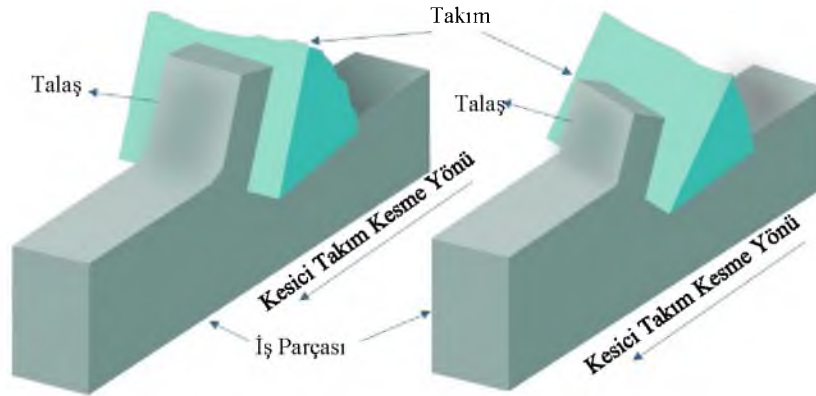
3.2.2. Eğik (Oblik) Kesme

Talaş kaldırma teorisinde dik kesme modelinin yanında, Şekil 3.5'te görülen takımın kesme kenarı ve kesme hız vektörüne eğik olan, oblik kesme adı verilen model de kullanılmaktadır (Karayel, 2015). İmalatta kesme olayları genellikle açılı bir şekilde eğik (oblik) kesme olarak gerçekleşmektedir. Gerçekleştirilen bu kesme işlemleri her ne kadar eğik olsalar da, bu kesme modelinin matematiksel ve nümerik ifadeleri daha karmaşık olduğundan, ilgili hesaplar işlemin dik kesme (ortogonal) işlemi şeklinde yapılmış gibi hesaplamalar yapılır (Yılmaz, 2010).



Şekil 3. 5. Oblik Kesme İşlemi Gösterimi (Anonim).

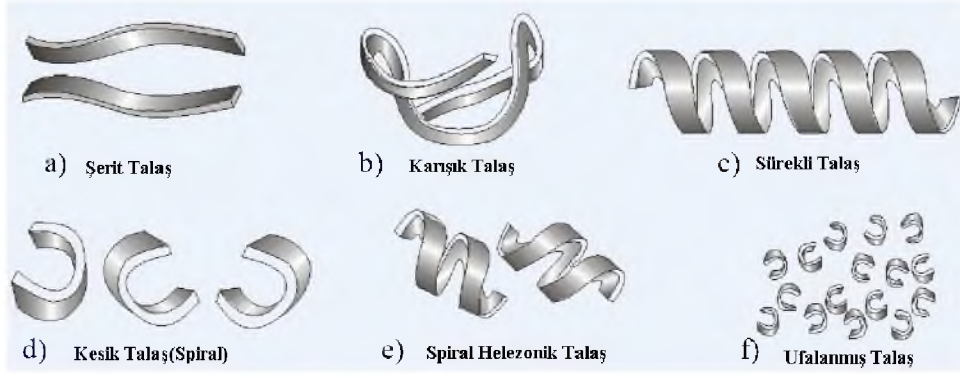
Şekil 3.6’da ortogonal ve oblik kesme formlarının aralarındaki fark, görsel bir şekilde gösterilmektedir.



Şekil 3. 6. Ortogonal ve Oblik Kesme İşlemlerinin Görsel Olarak Karşılaştırılması (Anonim).

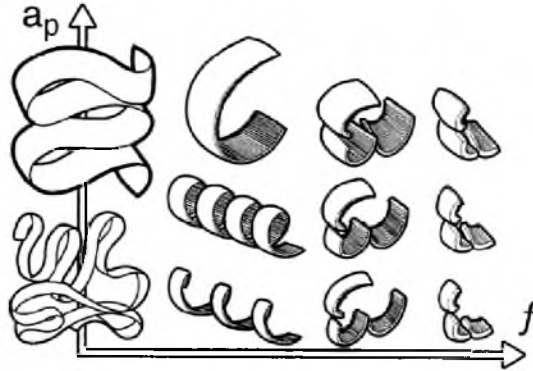
3.2.3.Talaş Türleri

Talaşlı imalat tezgâhlarında yapılan talaş kaldırma işlemlerinde, kesme işlemleri sırasında farklı talaş türleri oluşmaktadır. Oluşan talaş türleri Şekil 3.7’de gösterilmiştir. Bu talaş tiplerinin çoğu ilk defa 1930’lu yıllarda Ernst tarafından tanımlanmıştır. Genellikle görülen talaş türleri; sürekli talaş, süreksiz talaş, yığma talaş, tırtıklı (segment tip) talaşlar ve dalgalı talaşlardır (Groover, 2016).



Şekil 3. 7. Talaş Şekilleri (Erdem 2010).

Kesme işlemi sırasında oluşan talaşın türü, talaş kaldırılan malzeme türüne, kesici takım geometrisine, uygulanan talaş kaldırma yöntemine, kesme parametreleri (Şekil 3.8) gibi etmenler kalkan talaşın şeklinin oluşumunda birer etken oluşturmaktadırlar. Meydana gelen talaşların türleri bize kesme şartları, talaş kaldırmanın zor veya kolay gerçekleşip gerçekleşmediği ve yüzey kalitesi hakkında bilgiler de verir (Akın, 2014; Can, 2013).



Şekil 3. 8. Talaş Şekilleri (Erdem 2010).

a-) Sürekli Talaş: Takım-talaş arasında meydana gelen sürtünmenin düşük olmasıyla bu tip talaşlar (Şekil 3.9) meydana gelir. Sünek yapıdaki malzemeler işlendiği zaman, malzemede meydana gelen plastik deformasyon, kayma düzlemi üzerinde birçok kristalin kaymasıyla meydana gelir. Bu talaşların meydana gelmesi bize iyi bir yüzey kalitesine (Şekil 3.9.) sahip iş parçası oluşacağını gösterir. Her ne kadar iyi bir bitirme yüzeyi oluşturmaya rağmen, CNC tezgâhlar veya otomatik işleme tezgâhlarındaki işlemler sırasında bu talaşlar iş parçası, takım tutucu, bağlama sistemleri, talaş uzaklaştırma sistemleri etrafında kıvrılarak karmaşıklık meydana getirdiği için temizlenmesi gerekmektedir. Bunun için de tezgâhın durması gerekmektedir, bu da işlem yüzey kalitesinin bozulmasına, işlem süresinin uzamasına dolayısıyla da üretim maliyetlerinin

armasına sebep olur. Bu sorunu, talaş kırıcılarla, soğutma sıvıları kullanılarak, kesme ve ilerleme hızları parametreleri ile azaltılabilir (Akın, 2014; Oyman, 2012; Erdi, 2012).



Şekil 3.9. Sürekli Talaş (Akın, 2014).

b-) Süreksiz Talaş: Dökme demir ve sert bronz, pirinç gibi gevrek malzemeler, düşük karbonlu malzemeler ve bazı sünek malzemelerin düşük kesme hızlarında işlenmesiyle bu tür talaş tipleri oluşur (Can, 2013).

Bu türdeki gevrek malzemeler talaşlı işlendiğinde, talaş birincil deformasyon bölgesinde kırılır (Şekil 3.10). Talaşlı işleme sırasında meydana gelen bu süreksiz yapıdan kaynaklı olarak, kesme kuvvetleri sürekli olarak değişim göstermektedirler. Takım tezgâhı, takım tutucu bağlama elemanlarının rijitliği bu tür talaş olması durumunda önemlidir. Yeteri kadar rijit değillerse, tezgâhta meydana gelecek titreşimlerden dolayı, iş parçasının yüzey kalitesini bozar ve istenilen toleranslarda ürün oluşmamasına sebebiyet verir (Erdi, 2012; Akın, 2014).



Şekil 3.10. Kesintili Talaş (Akın, 2014).

c-) Yığma (Sıvanmalı Sürekli) Talaş Türü (BUE) : Sünek malzemelerin, düşük veya orta kesme hızlarıyla işlenmesi durumunda, takım-talaş arasındaki yüzeydeki sürtünmeden dolayı, iş parçasının belli bir oranda taşlaş yüzeyinin kesici kenarına yapışmasına neden olur. Bu yapışmaya yığma kenar (Built-Up Edge BUE) denir. Bu oluşum bir döngü şeklinde meydana gelir, takım ile arasındaki bağ zayıflayarak kopar. Kesme işlemi sırasında talaş yığılması meydana gelmesi (Şekil 3.11) ve oluşan

yığılmanın kopması kısa sürede meydana gelir, çok miktarda sıvanmış talaş parçaları işlenen yüzeyi kaplar. Yapışma sonunda işlenen yüzeyde çentik etkisi oluşturarak yüzey kalitesinin kötüleşmesine neden olur. Bazen yığma kenarın kopmasıyla kesici takımda da kopmalar meydana gelebilir, bu durumun oluşması ve işlenen yüzeyde meydana gelen kötü yüzey kalitesi takım ömrünün azalmasına da sebebiyet verir.

Yapışık talaş oluşumunun engellenmesi veya azaltılması için;

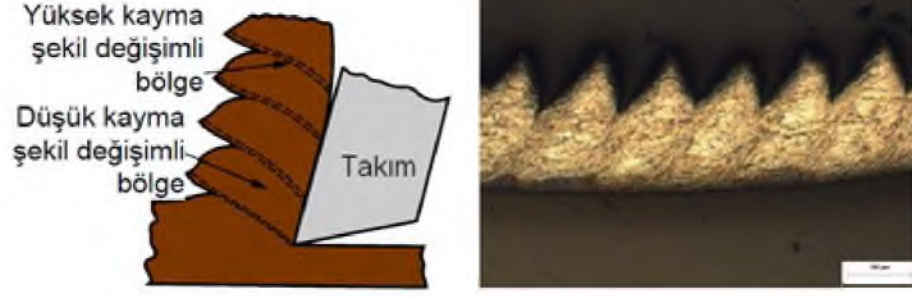
- Kesme hızı artırma
- Pozitif talaş açısı kullanma
- Talaş derinliği azaltma
- Soğutma sıvısı kullanma

işlemleri uygulanabilir (Akın, 2014).



Şekil 3. 11. Yığma Talaş Oluşumu (Oyman, 2012)

d-) Tırtıklı Tip Talaş: Düşük ısı iletkenliğe sahip metallerde, işleme sırasında meydana gelen sıcaklık artışı sebebiyle dayanımı hızlı bir sürede azalma göstermesinden kaynaklı olarak meydana gelen parçalı şekilde ve homojen olmayan talaş türüdür (Oyman, 2012). İşlenen malzeme türleri ve kesici takım malzemelerinde meydana gelen gelişmeler, artan kesme hızlarıyla yapılan kesme işlemleri tırtıklı talaş tipinin (Şekil 3.12) oluşmasına neden olmuştur (Groover, 2016). Titanyum alaşımları, nikel esaslı alaşımlar, paslanmaz çelikler gibi düşük ısı iletkenliğe sahip, kesme işleminin zor ve yüksek kesme hızları altında gerçekleştirildiği işlemlerde, işlenen malzemenin yüksek ve düşük kayma şekil değişiminin döngüsel olarak devam etmesi sonucu yarı sürekli talaş şeklinde oluşur (Groover, 2016).



Şekil 3. 12. Tırtıklı Talaş Oluşumu (Oyman, 2012).

3.3. Tornalama

Bu talaşlı işlem, imalat sanayinde talaş kaldırma için pratik uygulamalarda ve deneysel çalışmalarda en çok kullanılan bir metottur.

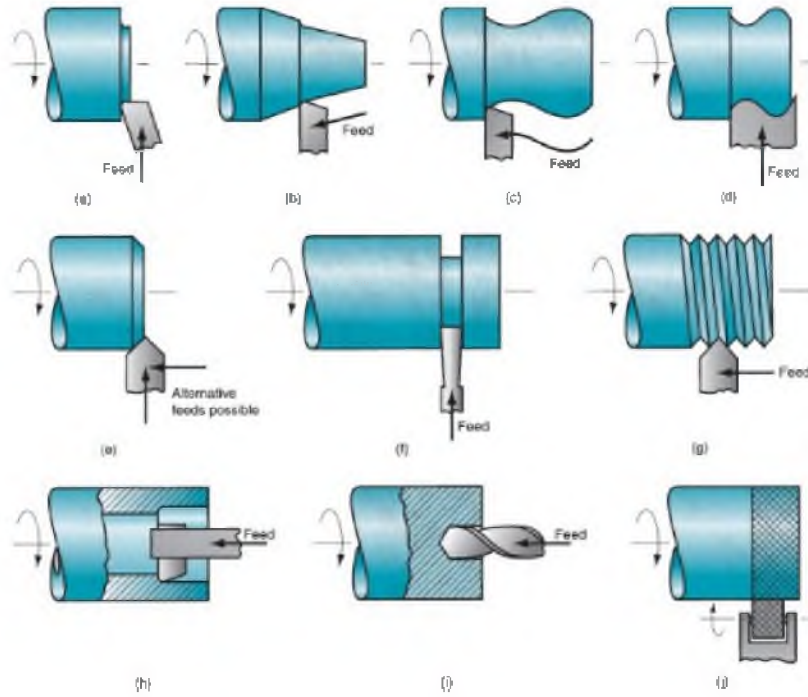
Bu işlemde, işlenecek olan parça torna tezgâhı aynasına bağlı şekilde ve sabit konumda ve belirli bir devirde dönmesi ve katere rijit şekilde bağlanan kesici takımın iş parçası eksenini boyunca sabit bir ilerleme hızı altında bu dönme hareketine karşı direnç göstermesiyle kesme işlemi meydana gelerek talaş kaldırma işlemi gerçekleşir. (Öztürk, 2017).

Tornalama işleminde talaş kaldırmanın sağlanabilmesi için, takımın malzemeye nüfus etmesi gerekir. Bu durumun oluşması için, takım malzemesinin işlenecek parçaya göre daha yüksek sertliğe sahip olması, takıma yeterli miktarda kuvvet uygulanması, torna kaleminde meydana gelen sehim değerinin sınır değerini aşmaması gerekmektedir (Öztürk, 2017).

İş parçasını, istenilen şekil ve boyutlara getirebilmesi için, kesici takımın parçaya yaklaşma açısı, kalemin parça eksenine göre konumu, kesici uç ve takım tutucusunun geometrisi yapılacak işleme uygun seçilerek en hassas yüzey ve toleranslarda parça elde edilebilir (Çetin, 2010).

Tornalama için kullanılan tezgâh tipleri, universal torna, revolver torna, nümerik kontrollü (NC) torna veya bilgisayar denetimli sayısal kontrollü (CNC) torna tezgâhlarıdır.

Torna tezgâhlarında iç tornalama, dış tornalama, delik açma gibi klasik talaş kaldırma işlemleri dışında da iş parçası üzerinde, istenilen şekil ve toleransların oluşturulabilmesi için Şekil 3.13’de gösterilen işlemler uygulanabilir.



Şekil 3. 13. Tornalama Yöntemleri a) alın tornalama b) konik tornalama c) kontur tornalama d) şekil tornalaması e) pah kırma f) kesme g) diş açma h) delik büyütme i) delik delme j) tırtıl çekme (Grover,2016)

3.3.1. Tornalamada kesme parametreleri

Ürün üretiminde imalat süreci sonunda belirlenen kriterlerde uygun kalitede ürün elde edilmek istenir. Oluşturulan herhangi bir makine veya konstrüksiyon kalitesi, yüksek performanslara sahip işlevselliği, ömrü bu ürünlerin oluşmasındaki makine elemanların, parçalarının üretim kalitesi ile doğru orantılıdır. Bir makine veya konstrüksiyon çalışır durumdaki parçaların yüzey kaliteleri ve toleransları bu yapıların ömürlerini belirlemede önemli etkenler arasında sayılabilir.

Tornalama işleminde işleme sırasında meydana gelen titreşimler, takım hataları, malzeme sıvanması veya takım kırılması gibi etkenlerden kaynaklı kötü yüzeylerin oluşumu, belirlenen toleranslar dışında ürün elde etmek gibi sonuçların oluşmasını engellemek veya en aza indirebilmek için bu durumların oluşmasına sebebiyet veren kesici takım türü, kullanılan takımın geometrisi ve kesme parametreleri, gibi kesme işlemi sonucu istenilen sonucu, en iyi şekilde alabilmemiz için, bu parametreler uygun şekilde seçilip uygulanmalıdır.

Tornalamada etkin bir çalışma elde edinilebilmesi için kesme hızı, ilerleme hızı ve talaş derinliği parametreleri önem arz etmektedir. İşlem sırasında belirlenen fener mili hızı ve ilerleme hızı uygun seçilmezse, uzun süreli talaşlı işlem gerçekleştirilerek

zamansal olarak kayıp, işleme maliyetinde artış ve yüzey kalitesinde bozulmalara yol açabilir (Kıder, 2016; Öztürk, 2017; Çetin 2010).

a-) Kesme Hızı: Kesici takıma göre, kesme işlemi gerçekleştirilecek iş parçasının dönme hızı ile ilgili bir harekettir. İş parçası üzerinden işlem yapılacak kısım için kesici takımın dakikada aldığı yolu belirtir.

Spesifik bir şekilde tornalama işlemi üzerinden bu hızı incelersek, işlenecek parçada oluşan ortalama çap için oluşan çevresel hızdır. Takımın iş parçası üzerinde aldığı yol veya takımın dakikada kestiği talaş uzunluğudur diyebiliriz. Kesme hızına ait formül Eşitlik 3.2’de verilmiştir.

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (3.2)$$

V: Kesme hızı (m/dak)

D: Ortalama çap (mm)

n: İş parçasının devir sayısıdır (dev/dk)

eşitliğiyle, kesme hızı bulunabilir.

İşlem görece malzeme türüne göre, her malzemenin optimum değer aralığında bir kesme hızları mevcuttur. Bu değerler dışında kesme işlemi yapılması durumunda, kesici takım ömrü, oluşan ürünlerde beklenen yüzey kalitesi gibi önemli parametrelerde beklenen sonuçlar elde edilmeyecektir. Hedeflenen tolerans aralığında işlem yapabilmek için işlenecek malzemeye uygun kesme hızı seçilmelidir.

Kesme hızı belirlenen değer aralığından daha yüksek değerler seçilirse, yüksek basınç ve sürtünmeden dolayı yüksek sıcaklıklar meydana gelir bu durumda titreşim ve kısa sürede kırılmalar oluşur ve kesici takım aşınarak bozulma meydana gelir. Bozulmayı gidermek için ya kesici takımı bileyerek kullanılabilir hale getirmek ya da yeni bir kesici takımla işlemi devam ettirmek gerekir, bu durum da hem zaman kaybı hem de maliyet artışına yol açar. Kesme hızı düşük seçilmesi halinde kesme işlemi için çok zaman harcanacaktır, bu durumda az sayıda malzeme üretimi, takım ağzında talaş yığılmaları (BUE oluşumu) sonucunda işlenen parça kötü bir yüzey kalitesine sahip olur. Düşük hızla kesme sonucunda tırlama titreşimi meydana gelir ve bu durum da kesici uçta kopmalara

sebebiyet vererek kesici takım ömründe azalma ve istenilen yüzey kalitesinde ürün elde edememe gibi sonuçlar elde edilir.

Kesme hızını etkileyen faktörler;

- İşlenecek malzeme türü
- Kesici takım cinsi, kaplama türü ve takım geometrisi
- Kullanılan soğutma sıvısı
- Tezgâh kapasitesi
- Talaş derinliği

olarak sırlanabilir.

b-) İlerleme Miktarı: İlerleme miktarı, iş parçasının birim zamanda veya iş parçasının her bir dönüşünde kesici takımın almış olduğu yol olarak ifade edilebilir. İlerleme miktarı birimi genel olarak mm/dev veya mm/dk olarak belirtilir. İlerleme hareketinde genelde kesici takım iş parçasının dönme eksenine paralel şekilde bir hareket yapar fakat alın tornalama işleminde ise bu hareket dönme eksenine dik olarak gerçekleşir (Şekil 3.14.).

İlerleme miktarı talaşlı imalat ekonomisinin belirlenmesindeki en temel faktörler arasında yer almaktadır. Bu parametrenin, kesme kuvvetlerinin oluşmasında etkisi fazladır. Kesme kuvvetleri ile ilerleme hızı arasında ters orantılı şekilde bir bağlantı söz konusudur.

İlerleme hızının artması takım aşınmasına sebep verir. Oluşan aşınma, kesme hızında oluşan artışın yarattığı takım aşınmasına oranla daha düşük seviyede bir aşınmadır. Tornalamada parametreler belirlenmeden önce bu durumlar dikkate alınarak, ilerleme hızı uygun aralıklar dahilinde büyük seçilmelidir. Finitş tornalamada iyi bir yüzey kalitesi elde etmek için ilerleme hızı düşük seçilmelidir. İlerleme hızı devir sayısı (n) ile ilerleme miktarının (f) çarpımı sonucu elde edilir (Eşitlik 3.3)

$$V_f = n \cdot f \quad (3.3)$$

V_f : İlerleme hızı (dev/dk)

n : devir sayısı (mm)

f : İlerleme miktarı (mm/dev)

İyi bir yüzey ve doğrusal boyutlarda ürünler oluşturmak ve maliyet açısından olumlu sonuçlar elde etmek için, ilerleme hızını etkileyen faktörler göz önüne alınarak uygun ilerleme hızı belirlenmelidir. İlerlemeyi etkileyen faktörleri sıralarsak;

- Kesme hızı
- Talaş derinliği
- İş parçasının malzeme türü
- Tezgâh kapasitesi
- Kesici uç türü, kaplama şekli

c-) Talaş Derinliği: Talaş derinliği, işlenecek olan malzemenin ilk çapı ve nihai çapı arasındaki farkın yarısına eşit olup, takımın iş parçası içinde dikey olarak aldığı mesafe olarak ifade eder (Eşitlik 3.4).

$$d = \frac{D_1 - D_2}{2} \quad (3.4)$$

d = Talaş derinliği (mm)

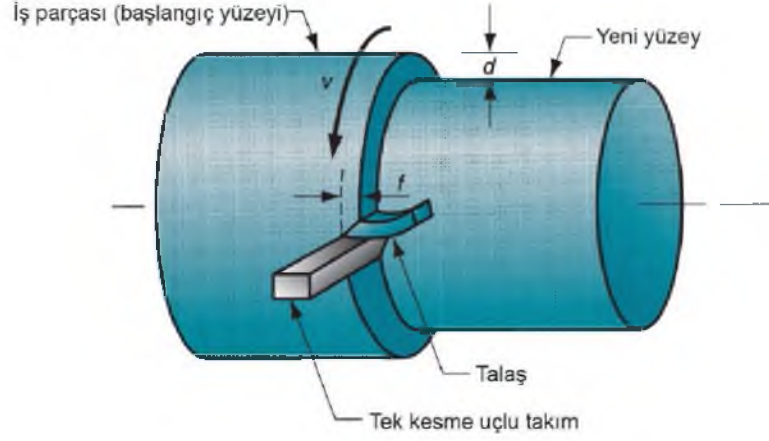
D_1 = İlk çap (mm)

D_2 = Son çap (mm)

Kesme kuvveti, takım aşınması ve harcanan güce etkisi oldukça azdır. Talaş derinliği iş parçasının ilk boyutu ve istenilen ölçüye göre belirlenir.

Talaş derinliği parçasının ilk boyutu ve istenen ölçüye göre tespit edilir.

Kesici takım aşınmasında, talaş derinliğinin pek etkisi yoktur. Talaş derinliği, tezgâh motor gücü, bağlama şartları ve iş parçası malzemesinin rezilyasına bağlıdır



Şekil 3.14. Tornalama İşleminin Şematik Gösterimi (Groover, 2016).

Kesme hızı, ilerleme hızı, talaş derinliğine toplu olarak kesme koşulları olarak da adlandırılır (Şekil 3.14). Kesme koşullarının çarpımı, malzemeden talaş kaldırma oranını vermektedir (Eşitlik 3.5). Tek noktalı takım işlemleri gibi bazı işlemlerde talaş kaldırma oranı hesaplanmasında kullanılırlar (Groover, 2016). Talaş kaldırma oranı

$$R_{MR} = V \cdot f \cdot d \quad (3.5)$$

R_{MR} : Malzeme kaldırma oranı (mm^3/s)

V : Kesme hızı (m/s)

f : İlerleme miktarı (mm)

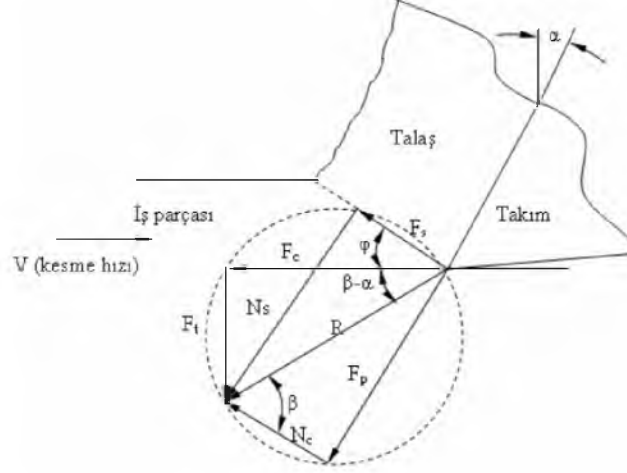
d : kesme derinliği (mm)

3.3.2. Tornalama oluşan kesme kuvvetleri

Talaşlı imalat sırasında oluşan kesme kuvvetleri, talaş kaldırma işlemi boyunca oluşan, herhangi bir değişkene bağlı olarak doğrudan etkilenen, talaş kaldırma işleminin gerçekleşebilmesi için takıma uygulanan hareket ile kesme düzlemi boyunca meydana gelen dirençlere karşı oluşan kuvvetlerden meydana gelir (Kaçal, 2018). Kesme kuvvetleri üzerinde, ilerleme hızı, kesme hızı, talaş geometrisi, işlem görece malzeme, kesici takım-tezgâh dinamik karakteristiği, takım bağlama şekli, takımın kesici yüzeyinde kesme sırasında oluşan aşınma oluşum ve gelişimi, sıcaklık ve titreşim gibi parametreler etkilidir (Apaydın, 2009).

Ortogonal kesme modeli üzerinde, kesme işlemi sırasında oluşan kesme kuvvetlerinin oluşumunu kuvvet diyagramı (Şekil 3.15) şeklinde ilk kez Merchant ortaya koymuştur. Bu diyagrama göre kayma düzlemi boyunca (kesme düzlemi) düzleme dik

bir şekilde etki eden normal kuvvet (N_s) ve düzlem boyunca oluşan sürtünme kuvveti (F_s) kuvvetleri etki eder. Bu kuvvetlerle beraber kesici takım yüzeyine dik bir şekilde etki eden normal kuvvet (N_c) ve takım yüzeyinde oluşan sürtünme kuvveti (F_c) kuvvetleri oluşur. Kesici takımda asıl kesme kuvveti (F_p) ve pasif kesme kuvveti (F_t) şeklinde iki kesme kuvveti meydana gelir (Apaydın, 2009).



Şekil 3.15. Kesme Kuvvetlerinin Gösterimi (Anonim)

Takım yüzeyine etki eden normal ve teğetsel kuvvetlerin hesaplanmasına denklem 3.6 ve denklem 3.7’de verilen formüller kullanılmaktadır.

$$F_p = F_c \cdot \sin\alpha + F_t \cdot \sin\alpha \quad (3.6)$$

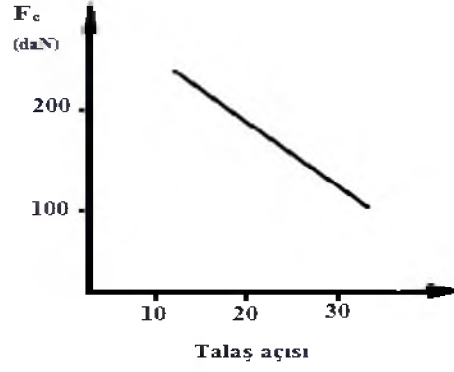
$$N_c = F_c \cdot \cos\alpha - F_t \cdot \sin\alpha \quad (3.7)$$

Kayma düzlemi boyunca etkiyen sürtünme kuvvetler de Eşitlik 3.8 ve Eşitlik 3.9 formülleriyle hesaplanır.

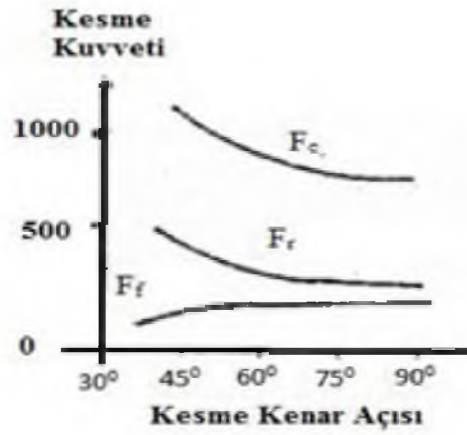
$$F_s = F_c \cdot \cos\theta - F_t \cdot \sin\theta \quad (3.8)$$

$$N_s = F_c \cdot \sin\theta + F_t \cdot \cos\theta \quad (3.9)$$

şeklinde hesaplanabilmektedir. Şekil 3.15’te gösterilen α talaş açısını ifade ederken, β sürtünme açısını ve ϕ ise kayma açısını ifade etmektedir.



Şekil 3. 16. Kesme kuvvetinin talaş açısına göre değişimi (Anonim)

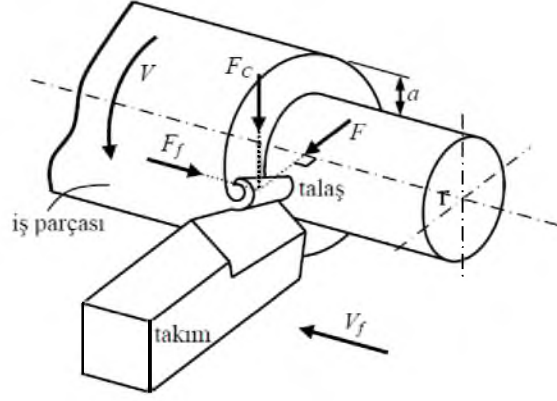


Şekil 3. 17. Kesme kuvvetinin kesme kenar açısına değişimi (Anonim).

Oluşan kesme kuvvetlerinin talaş ve kenar açılarının değişimine göre değişimleri Şekil 3.16 ve 3.17’de gösterilmektedir.

Kesme işlemi süresince sadece takıma gelen kuvvetler ölçülebilir. Günümüz çalışmalarında kesme işlemi esnasında oluşan kuvvetleri ölçerken piezoelektrik prensibiyle çalışan dinamometreler kullanılır. Ölçüm sırasında kesici uç dinamometre üzerine olacak şekilde ölçüm yapılmaktadır. Kesme esnasında kesiciye binen kuvvet dinamometrede üzerinde bir elektriksel yük oluşturur. Oluşan yüke ait sinyaller bir amfiden geçerek, sinyaller DAC (Data Acquisition Card) aracılığı ile kesme kuvveti bileşenlerine dönüştürülür (Kaçak, 2018).

Tornalama işlemi sırasında oluşan kuvvetler kesme kuvveti, ilerleme kuvveti ve radyal kuvvettir (Şekil 3.18). Bu kuvvetler arasında direkt bir bağıntı kurmak söz konusu değildir fakat kazanılan edinilen deneyimler ışığında, işlem sırasında oluşan bileşke kuvvete katkıları belli oranlar dahilindedir.



Şekil 3. 18. Tornalama İşlemindeki Kesme Kuvvetlerinin Gösterimi (Anonim)

Kesme kuvveti, denklem 3.10 yardımıyla bulunabilir.

$$F_c = a \cdot c \cdot k_s \quad (3.10)$$

F_c : Kesme kuvveti [N],

a : Talaş derinliği [mm],

s : İlerleme [mm/devir]

k_s : Malzemenin özgül kesme kuvveti [N/mm^2].

a-) Esas kesme kuvveti (F_c) : Dönmekte olan iş parçasının dönmesine karşı direnç gösterir, kuvvet yönü kesme hızı yönüyle aynı yöndedir. Kuvvet kayma düzlemi boyunca etki eder. Büyük ölçüde takım ile iş parçası arasında oluşan sürtünmeden etkilenir. Bileşke kuvvetin oluşmasındaki en büyük oranı teşkil edip, oluşan kuvvetin büyüklüğüyle işlem için harcanan güç büyüklüğü yaklaşık aynı büyüklüktür. Kuvveti etkileyen faktörler arasında, kesme hızı, talaş açısı, takım malzemesi türü, kesici takımın cinsini sıralayabiliriz (Öndin, 2019; Yıldız,2015; Apaydın, 2009).

b-) İlerleme kuvveti (F_f) : Kesme düzlemi boyunca, kesici takımın ilerleme yönüyle aynı yönde etki eden, takım ilerlemesine direnç gösterir. Yaklaşık olarak kesme kuvvetinin (F_c) değerinin yarısına denk gelmesine karşın, kesme sırasında oluşan bileşke kuvvetin çok küçük bir kısmına karşılık gelmektedir. İlerleme miktarı ve takım geometrisi bu kuvvetin değerinin oluşmasında etkili olan parametrelerdir (Öndin, 2019; Yıldız,2015; Apaydın, 2009).

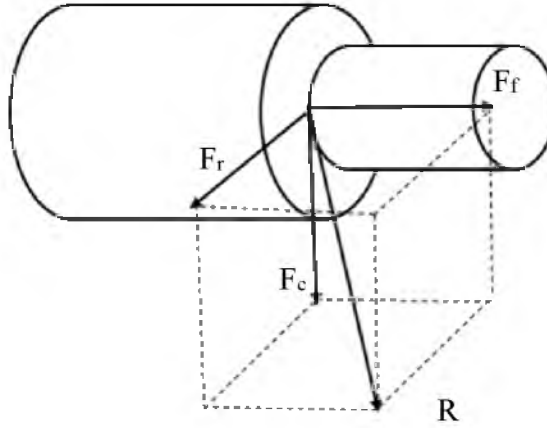
c-) Radyal kuvvet (F_r): Takım kuvveti olarak da adlandırılan bu kuvvet, ortogonal kesme işleminde bileşke kuvvetin oluşmasında çok az bir katkı sağladığından, bu değer standart tornalamada ihmal edilir. Kesme işlemi boyunca, kuvvet iş parçası merkez çizgisine dik

yönde etki eder. Bu kuvvette takım yanaşma açısı ve takım uç radyüs gibi parametreler etki eder (Öndin, 2019; Yıldız,2015; Apaydın, 2009).

Bu kuvvetler arasında direkt bir bağıntı kurmak söz konusu değildir fakat kazanılan edinilen deneyimler ışığında, işlem sırasında oluşan bileşke kuvvete katkıları belli oranlar dahilindedir. Talaş kaldırmada oluşan bileşke kuvvetin (Şekil 3.19), %67'sini kesme kuvveti (F_c), %27'sini ilerleme kuvveti (F_f) ve %6'sını da radyal kuvvet (F_r) oluşturur. (Eyigün, 2014)

Kesme işleminde oluşan ve talaş kaldırma kuvveti olarak da adlandırılan bileşke kuvvet (R) bu üç kuvvetin vektörel toplamıyla elde edilir ve (Eşitlik 3.11).

$$R = \sqrt{F_c^2 + F_f^2 + F_r^2} \quad (3.11)$$



Şekil 3. 19. Tornalama işleminde oluşan bileşke kuvvetin oluşum şekli (Anonim)

3.4. Takım Aşınması

ASTM G40-90 standartlarına göre aşınmanın tanımı; 'istenmeyen yüzey bozulması' olarak adlandırılır. Bu bozulma olayı, malzemenin farklı malzemelerle teması sonucu, mekanik etkenlerden dolayı, malzeme yüzeyinden küçük parçaların ayrılması neticesinde meydana gelir (Taylan, 2009).

Aşınma olayı; malzeme cinsi ve sertliği, kuvvet, kayma hızı, sıcaklık, yağlama durumu gibi parametrelerden etkilenir. Bu parametrelerin birinin veya birkaçının etkili olması farklı aşınma mekanizmaları oluşturur (Özcan, 2001).

Kesici takım aşınması; imalat verimliliği, boyut toleransına etki eder. Aşınma sonucunda, talaşlı imalat sırasında kesici takımdaki bozulmalardan dolayı titreşim meydana gelir. Meydana gelen bu titreşimlerden dolayı işlem görecekt olan iş parçasının

pürüzlülüğü artar. Kesme kuvveti (f_c), kesme bölgesindeki sıcaklık, titreşim, ses değerleri aşınma oranı arttıkça artış gösterir. Kesici takımın aşınmaya karşı dayanımı ve aşınma direnci, kesme işlemi süresince artan sıcaklıktan dolayı azalma gösterir. Kesici takımda oluşan aşınmalardan dolayı, talaşlı işleme sırasında titreşim meydana gelir. Hem kesme işlemi esnasında oluşan titreşim hem de aşınmış durumdaki kesici takımın kesme işlemi yapmasından kaynaklı olarak, talaşlı işlem altındaki iş parçasının nihai yüzeyi, İş parçasının yüzey pürüzlülüğünden dolayı, kesici takım üzerinde kesme işlemi esnasında etki eden çevrimsel yüklerden dolayı kesici takımda kırılmalar meydana gelir (Çevik, 2012).

Takım aşınması oluşumu, kaçınılmaz bir durumdur. Buradaki temel kriter takım aşınmasının oluşup oluşmamasından ziyade, takım aşınmasının ne derece gerçekleşeceği, hangi şartlar altında ve ne tür aşınmaların meydana geleceği önemlidir (Çakır, 1999).

Talaş kaldırma işlemlerinde, tezgâha bağlı olan iş parçası ile kesici takımın temas halinde olan yüzeyinde meydana gelen takım aşınması; kesme işlemi sırasında kesici takımda meydana gelen malzeme kaybı olarak ifade edilebilir. Kesici takımda meydana gelen bu malzeme kaybının oluşma şekli 4 şekilde gözlenebilir.

- 1-) İş parçasında, mikroskopla görüntülenebilecek büyüklükteki aşınmış haldeki partiküllerden dolayı, takım malzemesinin yavaş yavaş, kademeli bir şekilde kaybı
- 2-) Metal kesme işleminde, işlem görecekt malzeme üzerinde gömülü halde bulunan sert partiküllerin, kesme işlemi sırasında kesici takım malzemesine sürtünmesi halinde,
- 3-) Kesici takım malzemesinin mikroskobik büyüklükteki parçalar şeklinde ufalanması şeklinde,

- 4-) Kesme sıvısında fazla miktarda aktif ilave maddeler bulunmasından dolayı, kesici takımda korozyon meydana getirmesi ile yukarıda belirtilen kayıp şekillerinden 1. ve 2. durumlar diğer durumlara nazaran daha önem arz etmektedir.

1. maddede belirtilen aşınma, fiziko-kimyasal yapıya sahip aşınma durumudur. ‘Metal transferi’ olarak da adlandırılan bu durumda. Aralarında yağ filmi tabakası bulunmayan iki metal yüzey, sert bir şekilde birbirlerine baskı uygularlar. Uyguladıkları yüksek basınçtan dolayı iki metal de akma sınırına ulaşır ve birbirlerine temas ettikleri noktalarda kaynamalar meydana gelir. Temas halindeki bu iki yüzey, birbirlerine göre göreceli hareket ettiklerinde, plastik akış sayesinde metaller yer değiştirirler. Yaşanan bu plastik deformasyon olayı sonucu sürtünen iki malzemedan birinden diğerine parça geçişiyle aşınma meydana gelir.

2. maddedeki aşınma şekli; birbirleri üzerinde kayan yüzeylerin, yüzeylerden birinin parçacıklarının diğer yüzeye gömülmesiyle gerçekleşir. Talaş kaldırma işleminde oluşan talaş parçacıkları, takımla işlenmiş yüzey arasındaki boşluğa kaçmasıyla oluşabilir. Kesme işleminde oluşan bu parçacıklar, kendisinden daha yumuşak bir yapıya sahip yeni yüzeye ve kesme kenarında oluşan talaşın içine gömülerek minyatür kesici halini alarak takım aşınmasına sebebiyet verir (Akıncıoğlu, 2012) .

Talaş kaldırma esnasında kesici takımda meydana gelen aşınma olayı aşağıdaki belirtilen nedenlerden biri veya birkaçının görülmesiyle anlaşılır;

- Kesme kuvvetlerinde meydana gelen aşırı artış
- Yüksek gürültü
- Aşırı titreşim
- Sıcaklık artışı
- İşlem gören malzeme boyunda değişim
- İşlem gören malzemenin yüzeyinde meydana gelen bozulmalar

Talaş kaldırma işlemi süresince, kesici takımlar kesme özelliklerini 3 faktörden dolayı yitirirler.

a-) Kırılma: Kesici takımın yaptığı sürekli ve kesikli kesme işlemleri sırasında oluşan ısı ve mekanik yorulmalar, kesme işlemi süresince kesici takıma anlık olarak etki eden yüksek kuvvetlerden dolayı kesici takımda kırılma ve pullanma şeklinde meydana gelen aşınmadır.

b-) Plastik Deformasyon: Talaşlı işlem süresince takımda meydana gelen plastik deformasyon, bu aşınmayı meydana getirir. Oluşan plastik deformasyon, kesme işlemi süresince meydana gelen yüksek sıcaklık ve yüksek basınçtan kaynaklanmaktadır. Bu deformasyon sonucunda, kesici takımın mevcut takım geometrisinde değişiklik ve bozulmalar meydana geldiğinden, kesme işlemi etkin bir biçimde gerçekleşmez.

Takımın plastik deformasyon direnci, takım sertlik özelliği, takım ucu yuvarlatılması, kesme geometrisinde iyileşmeler yapılarak artırılabilir.

c-) Kademeli Takım Aşınması: ‘Krater aşınması’ ve ‘yanak aşınması’ olarak 2 farklı aşınma gerçekleşir.

Krater aşınması, talaş hareketi nedeniyle talaş yüzeyinde meydana gelen bir aşınma türüdür. Bu aşınmanın büyüklüğü oluşan alan ve derinliğin büyüklüğüyle ölçülür.

Yan yüzey aşınması veya yanak aşınması olarak adlandırılan aşınma, kesici takım ile yeni oluşan yüzeyin sürtünmesiyle oluşur. Bu aşınma ‘çentik aşınması’ olarak da adlandırılır. Aşınma ile meydana gelen aşınma bandı büyüklüğü ölçüsüyle orantılı olarak, aşınma şiddeti ölçümü yapılabilir. Bu aşınmanın oluşumundaki nedenler, döküm sonrası kalan sert malzemeler, iş parçasının yüzeyinin sertleşmiş olması v.b. gibi nedenlerden dolayı oluşur (Çevik, 2012).

Talaşlı işleme sırasında maksimum verimliliğin elde etmek için, kesici takımın seçimi önem kazanır. Bu seçimde takım malzemesi ve takım geometrisi önem arz etmektedir. Göz önüne alınması gereken bu kriterlerin yanında talaşlı işlemede uygulanacak olan işleme parametreleri ve işleme şartları da uygun olmalıdır. Bu parametreler kararlılık-rijitlik standartlarına haiz değilse, doğru takım seçimi yapılmış olsa bile, kesici takımdan optimum takım ömrü elde edilemez. Takım tutucunun ve bağlamanın rijitliğinde bir noksanlık olduğu durumlarda oluşan titreşimler, kesici takımın ömrünün kısılmasına sebebiyet verir (Taylan, 2009). Titreşimler, talaşlı işlem görecekt iş parçasının yüzey pürüzlülüğünü artmasına da sebebiyet verir (Çevik, 2012).

3.4.1. Aşınma mekanizmaları ve aşınma tipleri

Talaş kaldırma işlemleri esnasında, kesici takım üzerinde etkili olan yüklerden dolayı farklı aşınma mekanizmaları gözlenir (Başaltın, 2010).

Kesici takımlarda meydana gelen aşınmalardan dolayı takım ömründe azalma oluşur. Bu sebep ve sonucun getirisi olarak da işleme kalitesinde düşüş ve üretim maliyetlerinde artma meydana gelir. Takımda meydana gelen bu aşınma tiplerinin, aşınmaları oluşturan mekanizmaların bilinmesi, takım ömrünün doğru şekilde belirlenmesi açısından önemlidir (Özbek, 2013).

Talaş kaldırma esnasında, kesici kenar üzerinde etkili olan yük faktörlerinin bir sonucu olarak bazı temel aşınma mekanizmaları metalden talaş kaldırma işlemine etki eder. Bunlar;

- a-) Abrasiv (aşındırıcılarla) aşınma
- b-) Difüzyon (atomik yer değiştirme ile) aşınma
- c-) Oksidasyon aşınma
- d-) Yorulma ile aşınma
- f-) Adheziv (yapışma ile) aşınma (Taylan, 2009).

a-) Abrasif (Aşındırıcılarla) Aşınma: Takımın, iş parçasından talaş kaldırırken, kaldırılan talaşın altındaki sert partiküllerin takım yüzeyinden geçtiği sırada mekanik

hareketiyle meydana gelir. İki yumuşak yüzey arasında sert parçaların girmesi veya sert parçacık içeren alaşımların işlenmesinde bu tür aşınmanın mümkün olduğu görülmüştür. Araya giren sert parçacıklar taşlama işlemine benzer bir işlem sergileyerek takım aşınmasına sebebiyet verirler (Şekil 3.20). Mikro yapısal bağlamda, iş parçası ve kesici takım malzemelerinin sert olması ve karbür oksit içermeleri halinde, talaşlı işleme sırasında bu aşınma türü meydana gelir (Akıncıoğlu, 2012). Kesici kenarın bu aşınmaya karşı göstereceği direnç, önemli ölçüde sertliğe bağlıdır. Yoğun şekilde sıkıştırılan sert parçacıklar ile oluşan takım aşınmaya karşı direnç kazanır (Taylan, 2009). Bu aşınma türü çoğu zaman takım ömrü kontrolü için referans alınan serbest yüzey aşınması, çentik aşınması ve burun yarıçapı aşınmalarının kaynağıdır (Özdemir ve ark., 2003).

b-) Difüzyon Aşınma: Bu aşınma tipi önemli ölçüde sıcaklığa bağlıdır. Aşınma yüksek kesme hızlarında en büyük değerine ulaşır. Aşınma ‘krater aşınması’ şeklinde olur. Aşınmanın mekanizması, atomların yoğun olduğu bölgeden düşük olduğu bölgeye hareketiyle gerçekleşir (Şekil 3.20) (İşbilir, 2008). Aşınma mekanizmasını gerçekleştiren malzemeler arasındaki metalürjik ilişki, aşınmanın büyüklüğünün belirlenmesi açısından önem arz eder. Bazı kesici takım malzemeleri, birçok iş parçasına karşı asal durum (düşük birleşme eğilimi) sergilerken, bazı takım malzemeleri de bu duruma karşı yüksek afiniteye (çekim gücü) sahiptir (Akıncıoğlu, 2012; Taylan, 2009).

c-) Oksidasyon Aşınması: Bu aşınma, günümüz talaşlı imalat alanında pek dikkate alınmayan bir aşınma türüdür. Yüksek kesme sıcaklığı ve havanın etkisiyle yüzeyde oluşan bir oksit tabakası ile oluşan bir aşınma tipidir (Şekil 3.20). Kesme işlemi sonunda kesici takımda meydana gelen bu renkli tabaka, bu tarz bir aşınmanın meydana geldiğinin göstergesidir. Oluşan bu oksitli tabaka, kullanılan takımın malzeme türüne göre farklılık gösterebilir. Tungsten ve kobalt malzemeleri kolay uzaklaşabilen gözenekli bir oksit tabakası oluştururken, alüminyum oksidi bunun aksine sert ve kuvvetli bir yapıya sahiptir. Oluşan bu tabaka, kesici takımın kesme ağzında çentik meydana getirir (İşbilir, 2008; Akıncıoğlu, 2012).

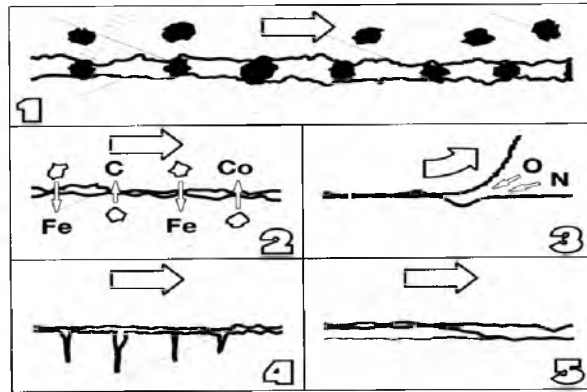
d-) Yorulma Aşınması: Termo-mekanik bir oluşumun sonucudur. Aralıklı kesme işlemleri sonucunda, takıma uygulanan kesme kuvvetinde ve takım sıcaklığında dalgalanmalar meydana gelir. Sıfır-maximum değer aralığında oluşan bu

dalgalanmalardan dolayı, Şekil 3.20’de gösterildiği gibi, kesici kenar çatlaması ve kırılması olayları sonucunda bu aşınma meydana gelir (Akıncıoğlu, 2012).

Sert ve işlenmesi zor (dayanım sınırı yüksek) malzemelerin işlenmesinde; çok yüksek ilerleme değerleriyle işlenildiğinde ve takım malzemesinin yeteri kadar sert olmamasından kaynaklı olarak kesme işleminde oluşan kesme kuvvetleri, kesici kenarın mukavemetinden çok daha yüksek ise kesici kenarda yorulma aşınmaları meydana getirebilir (Koçak, 2011; Akıncıoğlu, 2012).

e-) Adheziv Aşınma: Adhezyon veya yıpranma aşınması (Şekil 3.20), küçük parçacıklar takıma yapıştığında veya sürtünme nedeniyle talaşın kaynak olmasıyla meydana gelir. Adheziv aşınma hızı genellikle düşüktür, bu nedenle bu aşınma şekli pratik olarak öneme sahip değildir. Fakat, önemli adheziv aşınma talaş birikimi oluşmasıyla birlikte olur, çünkü ağız birikimi oluşumu nedeni adhezyondur. Dinamik bir yapıya sahiptir. Birbirini takip eden talaş katmanları, talaş yüzeyinde kaynak olup sertleşir ve kesici kenarın bir parçası gibi olur. Bu takımın talaş yüzeyi üzerinde krater aşınmasına ve kenar çentiklenmesi oluşumuna neden olur (Taylan, 2009).

Bu aşınma türü yumuşak malzemelerin düşük hızlarda işlenmesi ve çelik, Al, dökme demir gibi sürekli ve kesikli talaş tipi oluşturan malzemelerin işlenilmesinde meydana gelir (Özdemir ve ark., 2003; İşbilir, 2008).



Şekil 3. 20. Aşınma mekanizmaları; 1- Abrasiv, 2- Difüzyon, 3- Oksidasyon, 4- Yorulma, 5- Adheziv (Koçak, 2011).

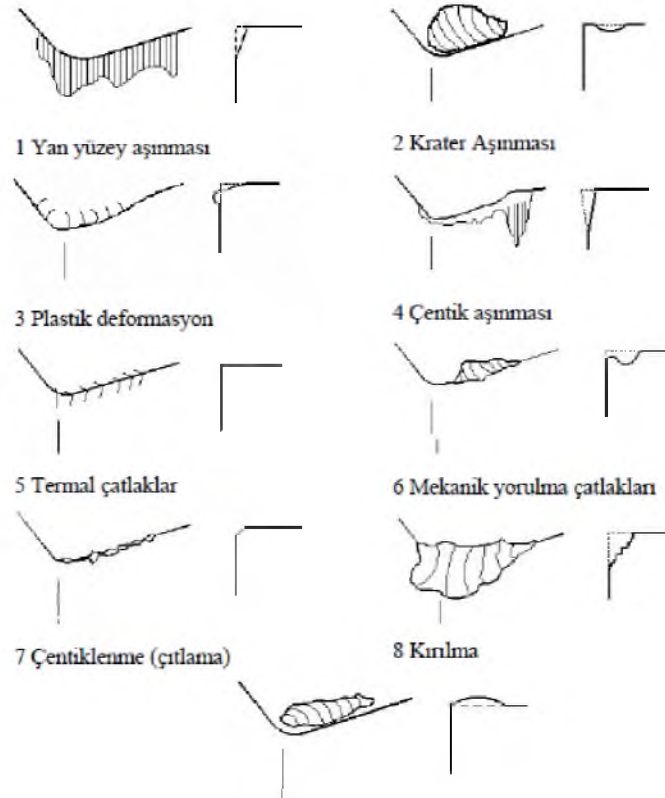
3.4.2.Takım aşınma türleri

Talaşlı işlemeyle ilgili bilimsel çalışmalardaki temel amaç; takımın oluşmuş takım hasarı türüne göre, takım ömrü tayin eden yöntemleri gerçekleştirmektir (Özdemir ve ark., 2003). Talaş kaldırma işlemi sırasında, kesici takım yüzeyi anlık olarak bir önceki

sahip olduğu yüzey yapısından farklı olduğu için, sürtünme olayı da dinamik olarak bir önceki sürtünmeden farklı olarak dinamik olarak değişkenlik gösterir. Burada oluşan aşınmanın, diğer aşınma mekanizmalarından farklı olması, küçük temas alanlarında sürtünmenin oluşması ve sürtünme esnasında yüksek basınç ve yüksek sıcaklık meydana gelmesinden kaynaklanmaktadır (Özdemir, 2008). Oluşan aşınma türleri Şekil 3.21.'de gösterilmektedir.

Takım aşınmaları; takımın etkilendiği bölge veya takım aşınmasını oluşturan fiziksel mekanizmaya göre sınıflandırılırlar. (Şekil 3.21).

- a-) Serbest Yüzey Aşınması (Yan Yüzey Aşınması / Yanak Aşınması)
- b-) Krater Aşınması
- c-) Çentik Aşınması
- d-) Burun Aşınması
- e-) Plastik Deformasyon
- f-) Talaş Yapışması (Built-Up Edge / BUE)
- g-) Termal Çatlaklar (Isıl- Mekanik Çatlaklar)
- h-) Kenar Tanecik Kopması / Kırılması
- ı-) Talaş Vurması



Şekil 3. 21. Kesici takımlarda görülen hasar ve aşınma tiplerinin sınıflandırılması (Taylan, 2009).

Talaşlı işlemlerde talaş oluşumu ve gelişimini belirleyen temel kriter talaş kaldırma miktarı, ekonomik hassasiyet, yüzey dokusu ve talaş kontrolüne bağlıdır.

Takım aşınması; işleme tipi, malzeme türüne göre uygun işleme şartının belirlenmesi, doğru takım sınıfının belirlenmesinde optimize edilmiş bir verimlilik ve işleme operasyonunu değerlendirmek için önemli unsurlar arasında yer alır.

İdeal aşınmayı meydana getiren parametreler; doğru takım seçimi, uzman desteği, uygun parametreler ile kesme işlemine başlanması, yüksek kaliteli iş malzemesi, işleme şartları olarak sıralayabiliriz. Talaşlı işleme sonunda, işlemede kullanılan kesici takımın kesici kenarı büyütürken, kesici kenarda oluşan aşınma türü incelenerek uygun takım ömrü kontrolü elde edilebilir. Bu kontrol sayesinde takım ömrü arttırılabilir veya güvenilir hale getirilebilir (Taylan, 2009).

a-) Serbest yüzey aşınması / Yanak aşınması / Yan yüzey aşınması: Serbest yüzey olarak adlandırılan, kesici takımın kesme işlemi sırasında işlem görecekt olan malzemeye temas eden yüzeyinde meydana gelen abrazif aşınma tipidir (Taylan, 2009; Özdemir, 2008). Literatürde bu aşınmaya yanak veya yan yüzey aşınması da denir. Talaşlı işleme sırasında karşılaşılan en klasik aşınma tipidir. İşlem sırasında, zamana bağlı olarak artış gösterir (Taylan, 2009).

Aşınma sonucu oluşan serbest aşınma bölgesi Şekil 3.22'deki gibi genel olarak kenara yakın bir bölgede ve uniform olarak genişlemektedir. Oluşan aşınma bölgesi sonucu, kesici takım ile işlenecek malzeme arasındaki artış gösteren sürtünmeden dolayı, kesme kuvvetleri de artış gösterir. Bu artış da işlenecek malzemenin nihai boyut ve toleranslarında negatif yönde sapmalar meydana getirir. Aşınmadan kaynaklı olarak, özellikle kaba işleme işlemlerinde, kesici takımın geometrisinde değişme meydana gelmesine sebebiyet vermektedir. Oluşan bu değişimden dolayı, kesici takımda kesme işlemi esnasında titreme, takımın kesici kenarında kırılma riskinin ve kesme işlemi için gerekli gücün artışına neden olur (Özdemir ve ark., 2003).



Şekil 3. 22. Serbest Yüzey Aşınması (Anonim).

Yan yüzey aşınma mekanizmasının meydana getirdiği, yüzey kalitesi, boyutsal tolerans dışına çıkma ve aşınmadan kaynaklı takım ömründe meydana gelen kısılmanın sebepleri ve oluşan bu olumsuz durumların bertaraf edilmesi için alınması gereken önlemler ve çözüm önerilerini incelersek;

Kötü yüzey kalitesi veya boyutsal tolerans dışına çıkan hızlı aşınma sebepleri;

- Yüksek kesme hızı (V_c)
- Düşük aşınma direnci
- Çok düşük İlerleme hızı (f_z)

Oluşan bu sebeplerin oluşmaması için gerekli tedbir ve çözüm önerileri;

- Kesme hızını (V_c) azaltma
- Aşınmaya karşı daha dayanıklı takım seçmek
- İlerleme hızı(f_z) arttırmak

Aşınmadan kaynaklı olarak kesici takımın kısa ömürlü olmasının sebepleri;

- Aşınma sonucu, kesme işlemi sırasında titreşimin artması
- Kopan talaşların yeniden kesilmesi
- Aşınma ve titreşim sonucu, nihai ürünün yüzey kalitesini kötü olması
- Aşınmadan dolayı sürtünmenin artması ve artan sürtünmeyle artan ısı

Aşınma kaynaklı olarak, takım ömrünü uzatacak tedbir ve çözüm önerileri

- Salgı 0,02 mm altına düşürülür
- Pens adaptörü ve pens kontrol edilir
- Takım mümkün mertebe kısa bağlanır
- İşlemede daha az ağız sayısı seçilir
- Daha büyük takım çapı seçilir
- İlerleme azaltılır (f_z)
- Kesme hızı azaltılır (v_c)
- Takım-iş parçası bağlama sistemi geliştirilir

b-) Krater Aşınması: Kesici takımın, iş parçasından kaldırılan talaşın takım üzerinde kaldığı yüzey olarak adlandırılan talaş yüzeyinde, krater şeklinde aşınma meydana gelmesiyle oluşan bir aşınma türüdür (Şekil 3.23). Serbest parçacıkların taşlama veya takımla talaş arasında difüzyon nedeniyle hem abrazif hem de difüzyon tür bir aşınmadır (Taylan, 2009). Kesici ucun talaş yüzeyinde meydana gelen, iş parçası ile kesici takım arasında oluşan kimyasal tepkimeye bağlıdır ve kesme hızıyla artar. Bu tip aşınma,

genellikle sert ve kırılgan malzemelerin işlenmesi sonucu meydana gelir (Özdemir, 2008). Krater aşınmasının aşırı bir şekilde meydana gelmesi, kesici takım geometrisinde değişiklik meydana getirir ve talaş oluşumunu, talaş biçimini bozabilir. Kesme kuvveti doğrultusunda değişiklik yaratır ve kesici kenarı zayıflatıp kopmaya sebebiyet verebilir (Taylan, 2009). Bu tip aşınma mekanizmasının oluşmasına sebebiyet veren etkenleri; zayıflamış olan kesme kenarına bağlı olarak kötü yüzey oluşumu ve kesme kenarına kırılmaya bağlı kesme kuvvetlerinde artış meydana gelmesi, talaş-takım arasında yüksek kesme sıcaklıklarına bağlı difüzyon aşınması olarak söyleyebiliriz

Aşınmanın oluşmasını önlemek veya azaltmak adına alınabilecek önlem ve çözüm önerileri;

- İlerleme hızı azaltılır
- Kesme hızı azaltılır
- Aşınmaya dirençli bir takım seçimi
- Daha iyi oluşum için pozitif talaş açısına sahip takım seçimi

şeklinde maddeleyebiliriz.



Şekil 3. 23. Krater Aşınması (Gharbi ve ark., 2019).

c-) Çentik Aşınması: Takım ile işlenmiş yüzey veya takım ile talaşlı kenar arasındaki temas noktasında, takım yüzeyinde çentik oluşarak meydana gelen aşınmadır (Özdemir ve ark., 2003). Talaşların basınç ile kaynaması ve deformasyon serleşmesine maruz kalmış bir yüzeyden oluşan, adhezif yapışkan talaş derinliği çizgisindeki kesici ucun, hem talaş yüzeyinde hem de serbest yüzeyde aşırı derecede bölgesel hasarla belirlenen kesici uç aşınmasıdır (Şekil 3.24). Bu aşınmanın belli bir değerin üstüne çıkması, ince işlemlerde yüzey kalitesini etkiler, kesici kenar zayıflar (Özbek, 2013). Bu aşınma türü genellikle paslanmaz çelikler işlenirken meydana gelir. Aşınmanın oluşmasına sebebiyet veren etkenler;

- İşleme sırasında sertleşen yüzey
- Kabuk ve cüruf

Aşınmayı önleme veya azaltmaya dair uygulanabilecek çözüm önerileri;

- Takım ile iş parçası yüzeyi arasındaki temas alanını arttıran yaklaşma açısı artırılır.
- Çok pasolu talaş kaldırmada kesme derinliği değiştirilir.
- Isıl sertlik ve deformasyon derecesi fazla olan takım seçilir.



Şekil 3. 24. Çentik Aşınması (Gharbi ve ark., 2019).

d-)Burun Aşınması: Bu aşınma, takımın esas kesici kenar serbest yüzeyi ile yardımcı kesici kenar serbest yüzeyinin burun yarıçapı ile birleştiği kenardan aşağıya doğru meydana gelen, serbest yüzey aşınması ve çentik aşınması türlerinin bir kombinasyonu şeklinde gerçekleşir (Şekil 3.25). Bu aşınma şekli abrazif ve korozyon aşınması veya abrazif ve oksidasyon aşınma mekanizmalarının kombinasyonları şeklinde gerçekleşir (Özdemir ve ark., 2003). Aşınmaya karşı alınabilecek çözüm önerileri olarak da;

- İlerleme hızı azaltılması
- Daha sert bir kalitede takım kullanımı
- Burun yarıçapı daha büyük bir takım kullanımı

şeklinde önlemler alınabilir.



Şekil 3. 25. Burun Aşınması (Gharbi ve ark., 2019).

e-) Plastik Deformasyon: Takım ile talaş arasındaki temas alanı üzerindeki kesme işleminden kaynaklı oluşan yüksek basınçlar ve bu basınçlardan kaynaklı olarak oluşan yüksek sıcaklıkların takımın sahip olduğu sıcaklık sertliğinin bu yüksek basınç ve sıcaklık artışını destekleyememesinden dolayı, takım kesme kenarında plastik deformasyon meydana gelir (Şekil 3.26) (Başaltın, 2012; Taylan, 2009).

Kesme kenarının deformasyonu genel olarak; ilerleme hızı artmasıyla oluşan yüksek kesme kenarı kuvvetleri ya da artan kesme hızı ve sıcaklık doğrultusunda, azalan takım sertliğinden dolayı oluşur.

Kesme kenarında meydana gelen aşırı deformasyon, takım geometrisinde bozulmalara, düzensiz bir talaş akıntısına sebep olacaktır. Oluşan bu aşınma sonucunda iş parçasının nihai ölçülerinde boyutsal doğruluğun azalması, yüzeyin kötüleşmesi ve aşırı oranda serbest yüzey aşınması meydana gelir, takımda kırılmalar meydana gelir (Taylan, 2009). Aşınma direnci yüksek ve daha sert takım seçiminin yapılması ya da kesme ve ilerleme hızlarının düşürülmesiyle bu aşınmanın önün geçilebilir (Başaltın, 2012).

Bu aşınmanın oluşmasına etkili olan etken ve parametreleri ve oluşmamasına karşı alınabilecek önlem ve çözüm önerilerini sıralarsak;

- Kesici takım ile iş malzemesi teması sonucu oluşan kuvvetli basınç ve yüksek kesme sıcaklığının oluşması
- Kesici kenarda meydana gelen plastik deformasyon sonucu kötü yüzeylerin oluşmasından kaynaklı takım uçlarının kırılmaları
- Aşırı yan yüzey ve krater aşınmalarının meydana gelmesi

Oluşumun önlenmesi veya azaltılmasına dair çözüm önerilerini de aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.

- Aşınmaya daha dirençli (daha sert) bir takım seçme
- Kesme hızını azaltma (V_c)
- İlerleme hızını azaltma (f_z)
- Kenarın yuvarlatılması ve uygun kesici geometrisi seçilmesi

bu tip aşınmanın önlenmesinde uygulanabilecek adımlar olarak söylenebilir.



Şekil 3. 26. Plastik Deformasyon (Anonim).

f-) Talaş Yığılması (Built Up Edge / BUE) : Talaş birikimi olarak da adlandırılan bu aşınma türü (Şekil 3.27), genellikle düşük hızlarda yumuşak yapıli malzemelerle yapılan işlemlerde talaşın kesici uca basınç ile kaynamasıyla bu hasar tipi meydana gelir. Bu aşınmandan dolayı oluşan yapışmalardan kaynaklı olarak kesme derinliğinin stabil kalmayıp değişime uğraması ve bu değişimlerden kaynaklı olarak iş malzemesinde kötü bir yüzey kalitesi meydana gelecektir. Yüzey pürüzlülüğü çok az olan takımların kullanımı, pozitif talaş açısına sahip takımlar kullanmak, yağlayıcı özelliğı fazla olan soğutucular kullanılmalıdır. Yüksek kesme hızı ve kesme işlemi sırasında talaş yüksek basınçlı soğutucuyla soğutularak bu oluşum azaltılabilir (Özdemir ve ark., 2003).

Düşük karbonlu çelikler, paslanmaz çelikler ve Al gibi yapışkan malzemeler işlenirken yaygın şekilde görülür. Bu aşınmanın oluşmasını; yığıntı talaş koparken kötü yüzey kalitesi, kesme kenarı kopmasından kaynaklı aşınma oluşumu ve iş malzemesinin kesici kesme kenarına kaynak olması olarak 2 farklı durum olarak ele alıp. Bu durumların oluşum sebeplerini ve çözüm önerilerine maddelersek.

Yığın talaşın, malzeme üzerinden koparken kötü bir yüzey kalitesi ve kesme kenarı kopmasına sebebiyet veren durumlar; uygun olmayan kesme hızı, kesme sıcaklığı ve düşük karbonlu çelik ve Al gibi yapışkan talaş oluşumuna sebebiyet verecek malzeme seçimi olarak söyleyebiliriz.

Bu durumların azalması veya oluşmaması için yapılabilecek önlemleri maddelersek;

- Kesme hızı değiştirilir
- Kaplamalı bir takım seçilir
- Daha pozitif bir geometri seçilir
- Kesme sıvısındaki yağ oranı ve kesme sıvısı basıncı artırılması

olarak söyleyebiliriz.

İş parçasının malzemesine bağıli olarak oluşan BUE oluşumlarını önleyebilmek için, alınabilecek önlem ve çözüm önerilileri;

- Düşük kesme hızı (v_c)
- Düşük ilerleme hızı (f_z)
- Negatif kesme geometrisi
- Zayıf yüzey kalitesi



Şekil 3. 27. Talaş Yığılması (BUE) (Anonim) .

g-)Termal Çatlaklar: Kesme kuvvetinin stabil kalmayıp, kuvvetteki ani değişimlerin yarattığı veya yüksek talaş-akım sıcaklığının meydana getirdiği aşınma türüdür (Şekil 3.28). Kesme kuvveti büyüklüğündeki ve kesme yönündeki değişimler, kesici uç mukavemetinden ve tokluğundan fazla ise bu tip aşınma gözlenir.

Kesme kenarına dik ve kesme kenarına paralel olarak oluşan 2 tip çatlama mevcuttur. Soğutma sıvısı kullanıldığında oluşan değişken ısı yüklerinden kaynaklı kesme kenarına dik oluşan çatlaklar ve mekanik yük değişimlerinden kaynaklı kesme kenarına paralel olarak meydana gelen çatlaklar olarak söyleyebiliriz. Meydana gelen bu çatlamlar, takımın hasa uğramasını ve bu hasarlardan kaynaklı olarak takım ömrüne negatif etkiler yaratır.

Daha tok bir uç seçimi, kesme hızının azaltılması ve takımın parçaya giriş gönünün değişmesiyle bu aşınma en aza indirilebilir (Özdemir ve ark., 2003; Başaltın, 2010).

Darbeli işleme ve değişken beslemeli kesme sıvısından kaynaklı tanecik kompası ve kötü yüzey kalitesinden kaynaklı oluşan bu tür küçük çatlakları: Termal şoklara dayanıklı daha tok kesici uç seçimi yaparak, kesme sıvısını fazla uygulayarak veya hiç uygulamayarak bu aşınma türünün önüne geçilebilir.



Şekil 3. 28. Termal Çatlak (Anonim)

h-) Kenar Tanecik Kopması / Kırılması: : Şekil 3.29’da gösterildiği gibi takım kenarında meydana gelen ve takımın ömrünü tamamladığının belirtisi olan, en tehlikeli aşınma şeklidir.

Yüksek kesme hızı ve talaş kaldırma anındaki yaşanan zorluklar altında, takım geometrisinde meydana gelen değişim, kesme kenarı üzerinde meydana gelen farklı gerilme çeşitleri sonucu ve kesme kuvvetlerindeki artışlardan kaynaklı olarak takım kesici kenarının giderek zayıflamasıyla takım ucun sahip olduğu mukavemet değeri aşılmasıyla meydana gelir (Özbek, 2013).

İlk kullanım anında takımda meydana gelen beklenmedik takım kırılmaları, takımların maruz kaldığı hasarlar veya takımların uygun bir şekilde taşınmamasından kaynaklı meydana gelen çatlamalardan kaynaklanmaktadır (Başaltın, 2012).

Bu aşınma türünün oluşmasını önlemek için, alınabilecek önlem ve kesme işleminde dikkat edilmesi gereken hususları maddelersek;

- Daha tok bir kesici takım seçimi
- Daha güçlü bir kesme kenarına sahip takım
- Kesme hızı arttırılır (V_c)
- Pozitif bir geometri seçimi
- Kesmenin başlangıcında ilerleme azaltılır
- Daha tok bir malzemeye sahip kesici takım seçimi
- Daha güçlü geometriye sahip takım seçimi
- Kesme hızı arttırılır (V_c) veya pozitif bir geometri seçilir
- Kesme başlangıcından itibaren ilerleme azaltılır



Şekil 3. 29. Tanecik Kopması (Anonim).

ı-) Talaş Vurması: Geriye dönük kıvrık şekilde oluşan talaşların, kesme kenarına uzak bir noktada talaş yüzeyine çarpmasıyla meydana gelir. Bu oluşum, talaş kontrolünün yanlış yapılmasından kaynaklı olarak yaşanmaktadır. Meydana gelen bu talaş darbesini, kesici takım burun yarıçapı, kesme derinliği, ilerleme hızı parametrelerinde değişiklik yapılarak önlenabilir.

3.5. Yüzey Pürüzlülüğü

Talaşlı imalatlarda iş parçası yüzeyinde uygulanan işlem sonrası izler meydana gelir. Kesici tipi, işlem görececek malzeme türü, talaşlı işleme metodu, talaşlı işlemede belirlenen işleme parametreleri, ısı, kimyasal faktörler, fiziksel faktörler, iş parçası ile kesici arasındaki bağıl hareketten dolayı anma (nominal) yüzey çizgisinin alt ve üst kısımlarında sapmalar oluşturarak bu izleri meydana getirirler. Düzensiz bir şekilde oluşan bu sapmalar yüzey pürüzlülüğünü meydana getirir.

Talaşlı imalatta yüzey pürüzlülüğü, kalite kriterleri arasında önemli bir yeri vardır. İmalatçı ürettiği üründe minimum seviyede yüzey pürüzlülüğe ulaşmayı hedefler. İyi bir yüzey kalitesi ve boyutsal tamlık kesme parametrelerini seçiminde optimizasyon imalatla kalite ve planlı bir prosesin oluşturulması bakımından önemlidir (Memiş, 2015).

İşlem görececek malzemenin yüzeyi pürüzsüz görünse de, kesme işlemi esnasında oluşan sürtünme ve sürtünmeden kaynaklı oluşan ısıdan kaynaklı olarak parça yüzeyinde gözle görünmeyecek şekilde de girinti ve çıkıntılar oluşur, bu girinti ve çıkıntılar yüzeyde pürüzler meydana getirir. Bu girinti ve çıkıntıların ortalama değeri yüzey pürüzlülüğünü ifade eder. Ortalama yüzey pürüzlülük değeri R_a olarak ifade edilir. Bu değer gözle görülmeyecek derecede küçük bir değerdir. R_a değerinin küçük olması yüzeyin o kadar pürüzsüz kaliteli bir yüzey olduğunu belirtir. Yüzey kalitesi standartlarına TS 2040'ta bir sınır getirilmiş ve ortak bir dil oluşturulmuştur. TS 930 nolu standart yayında da yüzey kaliteleri izlemiştir (Baba, 2014).

İmalat işleminde amaç sadece işlenecek iş parçasını belirlenen şekil ve forma sokmak değildir. Üretilen parçanın, teknik resminde belirlenen uygun olarak hem boyut hem de yüzey pürüzlülüğü değerlerine an az sapmalarla ürün üretmektir (Ceviz, 2015).

Talaşlı imalatla ürün üretmenin amacı, işlem görecektir olan iş parçasını sadece belirlenen şekil ve formlara sokmak değildir. İşlenecek parçayı belli bir işlem kalitesinde üretmektir. Ürünün parçada belirtilen boyutsal ölçüler ve yüzey kalitesine yakınlığı işlem kalitesini belirler. Yüzeyin dokusunun düzgünlüğü ile yüzey pürüzlülüğü doğru orantılıdır. Yüzey pürüzlülüğü, işlem sonrası elde edilen yüzey ile (gerçek yüzey), parçanın sıfır pürüzlülüğe sahip olduğunu varsaydığımız ideal yüzey arasındaki sapmaların sayısal olarak ifadesidir. Gerçek yüzey ile ideal yüzey arasındaki sapma değeri büyüdükçe pürüzlü bir yüzey elde edilir. Bu sapmalar ne kadar küçükse yüzey ideal yüzeye yaklaşacak şekilde pürüzsüz yüzey elde edilir. Varsayılan referans bir çizginin alt ve üst kısmında düzensiz olarak meydana gelen sapmalar yüzey pürüzlülüğünü meydana getirir (İlhan, 2014).

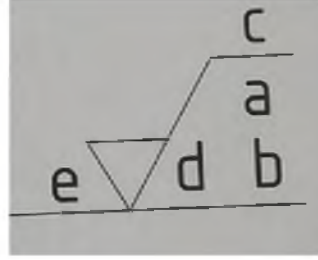
Birbirleriyle sürtünme halinde çalışan makine elemanlarının yüzey pürüzlülükleri, makinenin çalışması esnasında performansı etkileyen bir durumdur. Yüzeyleri pürüzlü olan parçaları, sürtünmelerden dolayı hem çok gürültü çıkartır hem de çabuk yıpranırlar. Hassas işlenmiş, yüzeyleri pürüzsüzlüğe daha yakın değerde olan makine parçalar birbirleriyle daha uyum içinde çalışırlar. Bu durum makine verimine ve parça ömürlerine olumlu yönde etki oluşur (Şeremet, 2019).

Yüzey pürüzlülük değerleri aynı olan fakat farklı metotlarla işlenmiş olan malzemelerin, işleme sırasında parça yüzeylerindeki işleme izlerindeki dağılım ve yön farklılıklarından dolayı, bu parçalarda korozyon direnci, aşınma direnci, yorulma ve sürtünme dirençleri de farklılıklar gösterir. Bundan dolayı işlenecek parçanın yüzey pürüzlülük değeriyle beraber işleme metodu da belirlenmelidir. Kaliteli işlenmiş bir yüzeyle sahip malzemenin bahsi geçen mukavemet değerlerinde de artışlar gözlenir (Kirik, 2010). İşleme esnasında meydana gelen tırlama veya tezgahta meydana gelen titreşimler, iş malzemesinde mevcut olan hasarlar, takım aşınması veya düzensiz talaş oluşumu işleme esnasında iş parçası yüzeyinin bozulmasında etkilidir

Talaş kaldırmada malzeme taşınımı ve talaş akma olayları çok karmaşıktır, bu karmaşıklıktan dolayı talaş kaldırmanın modellenemesinde çok değişkene ihtiyaç vardır. Bu karmaşık duruma girilmeden, işlem görecektir parçanın yüzey pürüzlülüğünün kısmen kontrollü kesme hızı, ilerleme hızı ve talaş derinliği gibi 3 temel talaş kaldırma

parametresiyle sağlanabilir. Genel yüzey pürüzlülük değeri ilerleme hızı ve talaş derinliği parametreleriyle doğru orantılı, kesme hızı ile ters orantılıdır (Neşeli, 2013) .

İşlem görecekt parça TS 2040 EN ISO 1302 standartlarına uygun olarak, pürüzlülük değeri, yüzey kalitesi, imalat yöntemi, imalat yöntemine göre parça üzerinde oluşacak işleme izleri, teknik resimde yüzey işleme sembolü (Şekil 3.30) üzerinde önceden belirtilir (Şeremet, 2019; Kirik, 2010).



Şekil 3. 30. Yüzey İşleme Sembolü (TS 2040 EN ISO 1302)

a: Tek yüzey durum özelliği Ra sembolüyle beraber μm cinsinden pürüzlülük değeri(leri) veya μm cinsinden uygun değer(leri) ile birlikte diğer pürüzlülük değerleri (Rz, W, v.b.) sembolleri

b: a ve b konumu. İki veya daha fazla yüzey durumu özelliği. Yüzeyin birinci durumu a'daki gibidir. Yüzeyin ikinci durumu b konumundadır. μm cinsinden pürüzlülük değeri(leri) veya μm cinsinden uygun değer(leri) ile birlikte diğer pürüzlülük değerleri (Rz, W, v.b.) sembolleri

c: Üretim metodu, işleme, kaplama veya üretim işlemine ait diğer kurallar v.b.

d: İşleme izlerinin yönü

e: İşleme payı (mm)

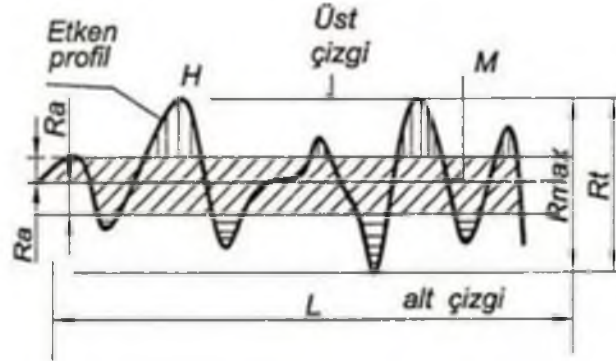
3.5.1. Yüzey pürüzlülüğü değerlendirilmesinde kullanılan parametreler

Yüzey kalitesinin ölçme ve değerlendirmede, üç boyutlu ölçüm gerçekleştirip, bu ölçümü iki boyutta dönüştürülüp, elde edilen verilerin bir grafik ortamında değerlendirilmesi mümkündür. Yüzey kalitesinin belirlenmesi aşamasında uygulanan bu metot tarzı, elde edilen grafiklerin kolayca yorumlanamaması bakımından pratik bir metot olarak değildir. Yüzeyin kalitesinin değerlendirilmesinde yüzeyin fonksiyonel özelliklerine ihtiyaç duyulup, bunlar üzerinden yer alan bazı ilişkileri sayısal bazlı olarak değerlendirirler (Neşeli, 2013).

Belli kriterlere göre yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi yapılır. Bu kriterlere göre yüzeydeki pürüzler, belli bir numune boyutunda, genel olarak geometrik bir referans profilinde, yüzeye dik olan bir kesit üzerinde ve profil ortalama çizgisine göre değerlendirilme yapılır (Akın, 2014).

Çeşitli geometrik yönlerle oluşan yüzey pürüzlülüğü, sadece bir yön temel alınarak ölçüm yapıldığı sürece yüzey geometrisi tam olarak açıklanamaz. Yüzey kalitesi değerlendirmesinde 2 yöntem kullanılmaktadır. Bunlar; Ortalama Çizgi (M) ve Zarf Sistemi (E) yöntemleridir. Gelişmiş ülkelerin çoğunda ortalama çizgi (M) yöntemi kullanılmaktadır.

(M) sistemi kullanan ülkelerde (Şekil 3.31), yüzey pürüzlülük ölçme değerini belirlenmesinde bazı ülkeler ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a), bir kısmı da en büyük pürüzlülük değerini (R_{max}) dikkate almışlardır. Yüzey pürüzlülüğü ‘değerlendirme uzunluğu’ olarak ifade edilen bir standart aralıkta ölçüm yapılarak yüzey pürüzlülük değeri ölçümü yapılmaktadır (Neşeli, 2013).



Şekil 3. 31. M Sistemine göre yüzey pürüzlülük profil (Anonim)

L: Sınırlandırılan uzunluk (mm)

H: Geometrik profil üst sınırı

M: Profil ortalama çizgisi

R_a : Ortalama pürüzlülük değeri (μm)

R_t (R_{max}): En büyük pürüzlülük değeri (μm)

R_z : Ardışık beş R_a değerinin ortalama değeri (μm)

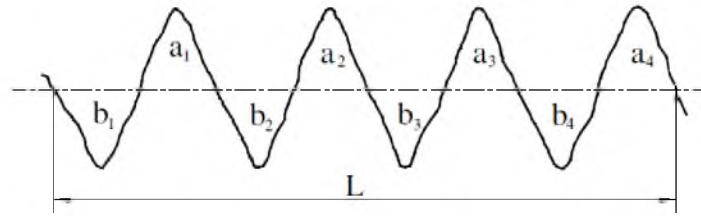
a) Örnek uzunluk (l: mm): Yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesinde alınan etken uzunluktur.

b) Profil ortalama çizgisi (M): Etken profilin alt ve üst sınır noktalarının ortasından paralel geçen çizgidir. Bu çizgi, alt ve üst alanları eşit yapacak şekilde geçmelidir

c) Geometrik profil alt sınır çizgisi: Geometrik profil alt sınır çizgisi etken profilin alt sınırından geçen ve profile (V) noktasından değen çizgidir

d) Geometrik profil üst sınır çizgisi: Geometrik profilin üst sınır çizgisi etken profilin üst sınırında geçen ve profile (T) noktasından değen çizgidir (Akın, 2014). Pürüzlülük ölçümü yapılacak yüzeyde, yapılan ölçüm sonucunda pürüzlülük yükseklikleri ve pürüzlülük değerleri belirlenmesi

e) Ra: Orta eksenin, yani M çizgisinin altında ve üstünde kalan profil sapmalarının (Şekil 3.32) alanların aritmetik ortalamasını veren değerdir (Eşitlik 3.12).



Şekil 3. 32. Orta eksen altında ve üstünde kalan alanlar (Anonim)

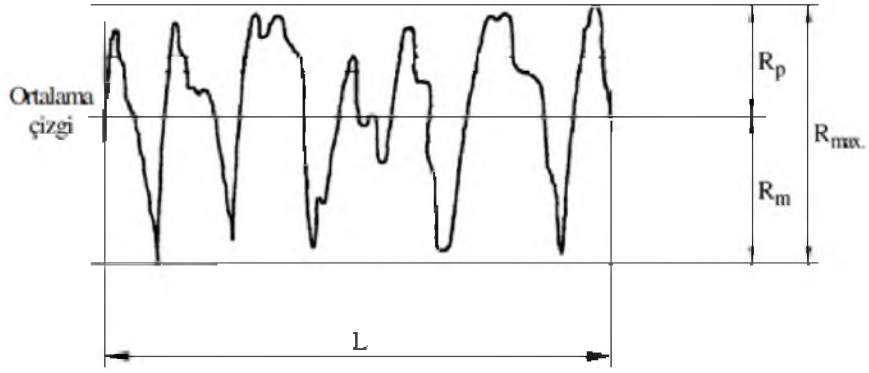
$$R_a = \frac{a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + b_1 + b_2 + b_3 + b_4}{L} = \frac{\sum Alan(a) + \sum Alan(b)}{L} \quad (3.12)$$

R_a değerini elde etmek için, denklem 3.13'te ki formül kullanılarak, toplam alanın örnekleme uzunluğuna oranı düşey büyötmeye bölünür ve µm dönüşümü için 10³ ile çarpılır

$$R_a = \frac{\sum alan(a) + \sum alan(b)}{L} \times \frac{10^3 \mu m}{Düşey Büyütme} \quad (3.13)$$

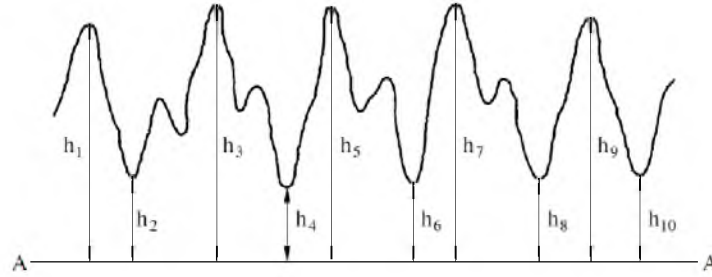
f) R_t: R_{max} olarak da ifade edilen bu parametre, örnek uzunluk içindeki maksimum alt derinlik, maksimum üst yükseklik arasındaki mesafeyi ifade etmektedir (Şekil 3.33).

Ortalama değeri (R_a) daha iyileştirmek için, en yüksek tepe ve en düşük dip değerleri hesaba katılmadığı için, örnekleme uzunluğunda bu değerlerin bir etkisi söz konusu değildir.



Şekil 3.33. Yüzey kalitesi için sayısal değerler (Anonim)

g) R_z : ISO bu değeri, örnek uzunluk boyunca en yüksek 5 tepe yüksekliği ve en derin 5 çukur derinliğinin (Şekil 3.34) ortalaması şeklinde ifade eder (Eşitlik 3.14). Bu parametre de esasen bir ortalama pürüzlülük değerini ifade eder. Hatta R_a değerine göre, daha ölçüm alanında daha uç noktaları (tepe ve çukur olarak) tanımladığından dolayı daha hassas bir ölçüm yapar.



Şekil 3.34. On nokta yükseklik hesaplaması için ortalama ölçümler (Anonim)

$$R_z = \frac{[(h_1 + h_3 + h_5 + h_7 + h_9) - (h_2 + h_4 + h_6 + h_8 + h_{10})]}{5} \quad (3.14)$$

3.5.2. Yüzey pürüzlülük ölçme yöntemleri

Dokunma Yöntemi

Mekanik Çalışma Yöntemi

X Isını Yöntemi

Elektron Mikroskobu Yöntemi

Optik Mikroskop Yöntemi

Yüzey Dinamometresi Yöntemi

Kesit Alma Yöntemi

Kapasitans Yöntemi

Hidrolik Yöntemi

Karşılaştırma Mikroskobu Yöntemi

Işık Yansıması (İnterferometri) Yöntemi

Hava Mastarı Yöntemi

Replika (Mask) Yöntemi

İnterferans Mikroskop Yöntemi

Standard Örnek Yüzeyler Yöntemi

Fotoğraf Yöntemi

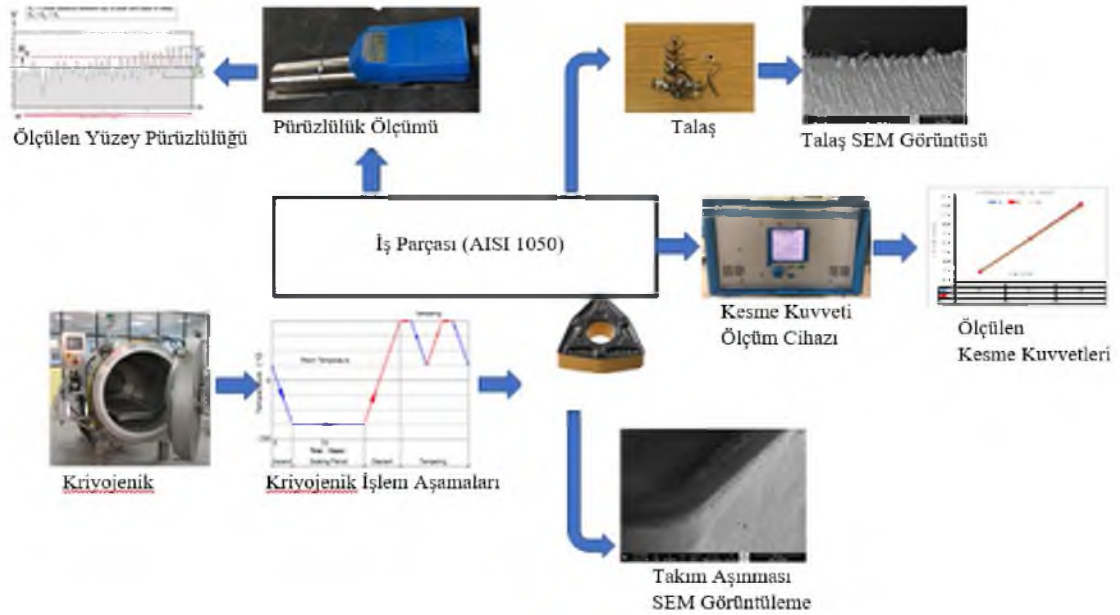
Kaydedici İndikatör Yöntemi

Işık Bantlı Mikroskop Yöntemi

Elektro- Fiber Optik Sistem Metodu

4. MATERYAL METOD

Bu çalışmada tornalama deneyleri, $-146\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de derin K.İ. uygulanmış ve K.İ. uygulanmamış CVD kaplı kesici takımlarla dört farklı kesme hızı (180, 200, 220, 240 m/dak) üç farklı ilerleme hızı (0,1-0,2-0,3 mm/dev) ve 2 mm sabit kesme derinliği parametreleri kullanılarak AISI 1050 çeliği kuru kesme şartlarında yapılmıştır. Kesme esnasında oluşan kesme kuvvetleri dinamometre yardımıyla ölçülmüştür. Tornalanmış iş parçalarının işlenmiş yüzeylerinden ortalama yüzey pürüzlülük değerleri yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı yardımıyla elde edilmiştir. Takım aşınması ve talaş morfolojileri SEM görüntüleme cihazı yardımıyla görüntülenmiştir. Gerçekleştirilen işlemlerin şematik özeti aşağıdaki Şekil 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4. 1. Yapılan Deney Adımlarını Gösteren Akış Şeması

4.1. Deneyde Kullanılan Materyaller

4.1.1. İş Parçası Malzemesi

Deneylerde iş parçası malzemesi olarak, orta karbonlu çelik sınıfında yer alan ve günümüz imalat sanayisinde yaygın bir kullanım alanı olan AISI 1050 çeliği kullanılmıştır. Kullanılan bu çeliğin kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri, Tablo 4.1 ve Tablo 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4. 1. AISI 1050 çeliğinin kimyasal bileşenleri

Malzeme	% C	% Si	% Mn
AISI 1050	0,42	-	0,60
	0,55	0,35	0,90

Tablo 4. 2. AISI 1050 çeliğinin mekanik özellikleri

Malzeme	Akma Dayanımı	Çekme Dayanımı	Uzama	Sertlik HB
AISI 1050	448 Mpa	517 Mpa	%13,6	167-197

4.1.2. Takım tezgâhı

Tornalama deneyleri, dört farklı kesme hızı (180, 200, 220, 240 m/dak), üç farklı ilerleme hızı (0,1-0,2-0,3 mm/dev) ve 2mm sabit talaş derinliğinde, kuru kesme şartlarında yapılan tornalama işlemlerini, Isparta Üniversitesi bünyesinde bulunan Yenilikçi Teknolojiler Uygulama ve Araştırma Merkezi (YETEM) laboratuvarlarındaki ALEX TECH ANL-75T markalı, C eksenli CNC torna tezgâhında (Şekil 4.2) gerçekleştirilmiştir.

**Şekil 4. 2.** ALEX TECH ANL-75T, C eksenli CNC Torna tezgâhı

Kullanılan CNC torna tezgâhına ait özellikler, Tablo 4.3'te verilmiştir

Tablo 4.3. Tornalama işlemlerinde kullanılan tezgâhın özellikleri.

Tezgah Gücü	15 Kw
X Ekseni Hız Hareketi	1200 mm/dak
Y Ekseni Hız Hareketi	1500 mm/dak
İş Mili Devir Sayısı Aralığı	35-3500 dev/dak
Maksimum Tornalama Çapı	260 mm
Maksimum Tornalama Uzunluğu	550 mm
Taret Kapasitesi	12 Takım
İşletim Sistemi	Fanuc

4.1.3. Kesici takım

Tornalamada kullanılan kesici takım olarak KORLOY firmasına ait, CVD kaplı WNMG 080408 formunda, MP talaş kırıcı formuna sahip, orta ve kaba işlemler için uygun kesici takım seçilmiştir (Şekil 4.3). Üretici firmanın önermiş olduğu kesici takım performans aralıkları a_p (Kesme derinliği): 0,50-4,50 mm f_n (İlerleme hızı): 0,15 – 0,45 mm/dev V_c (Kesme hızı): 230- 290 m/dak şeklinde önerilmiştir.



Şekil 4. 3. Kesici Takım

Gerçekleştirilen kesme deneylerinde, üretici firmanın önermiş olduğu kesme parametreleri göz önünde bulundurularak, dört farklı kesme hızı 180- 200 -220 -240 m/dak üç farklı ilerleme 0,1- 0,2 – 0,3 mm/dev ve 2 mm kesme derinliği şeklinde belirlenmiştir.

4.1.4. Kesme kuvveti ölçme cihazı

Yapılan kesme deneyleri esnasında oluşan kesme kuvvetleri YETEM laboratuvarlarındaki KISTLER Type 5070 marka dinamometre cihazıyla (Şekil 4.4) ölçülmüştür.



Şekil 4. 4. KISTLER Type 5070 Dinamometre

4.1.5. Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Cihazı

Yapılan deneyler sonucunda, iş parçasının nihai yüzeyindeki yüzey pürüzlülük değerlerini ölçümleri için, YETEM laboratuvarında bulunan Hommel T500 test (Şekil 4.5) cihazıyla ölçülmüştür. Alınan ölçümler, işlenmiş yüzeylerde ölçüm uzunluğu 4,8 mm alınarak, iş parçasını yüzeyindeki üç farklı noktadan yüzey pürüzlülük değerleri alınmıştır. Daha sonra ölçülen bu değerlerin, aritmetik ortalamaları alınarak, ortalama yüzey pürüzlülük değerleri hesaplanmıştır.



Şekil 4. 5. Hommel T 500 Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Cihazı

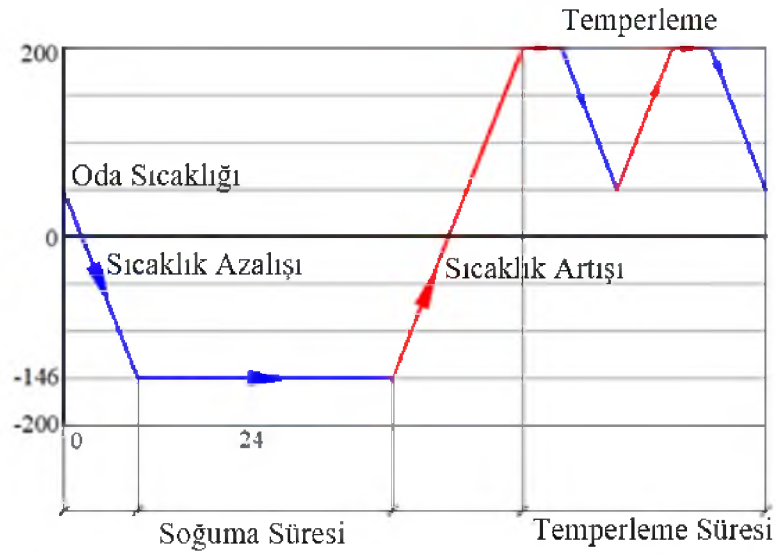
4.1.6. Takımlara uygulanan kriyojenik ısıtma işlemi

Tornalama işlemlerinde kullanılacak kesici takımlara derin K.İ. uygulanmıştır. Uygulanan derin K.İ., Alper Isıl İşlem firmasının tesislerinde bulunan K.İ. fırınında (Şekil 4.6) gerçekleştirilmiştir. Uygulanan K.İ.'de kesici takımlar, oda sıcaklığından yavaş yavaş -146°C 'ye ulaşıncaya kadar soğutma işlemi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra bu

sıcaklıkta 24 saat süreyle derin K.İ. uygulanmıştır. Uygulanan derin K.İ.'nin ardından, her bir işlem temperleme işlemi 2 saat süre ile 200 °C sıcaklıkta toplam 4 saat süreyle iki kez bu işlem gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen ısıl işlemin diyagramı Şekil 4.7'de verilmiştir.



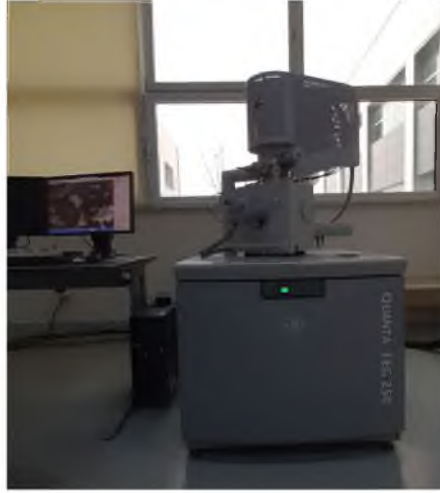
Şekil 4. 6. Isıl İşlem Fırını



Şekil 4. 7. Kesici Takıma Uygulanan K.İ.'nin Grafikselsel Gösterimi

4.1.7.SEM görüntüleme

Yapılan deneyler sırasında oluşan talaşların morfolojik yapısını incelemek ve kesici takımlarda meydana gelen takım aşınmalarını görüntülemek için, YETEM Malzeme Karakterizasyon Laboratuvar'ında bulunan FEI marka QUANTA FEG 250 model (Şekil 4.8) SEM görüntüleme cihazı kullanılmıştır.



Şekil 4. 8. FEI / QUANTA FEG 250 SEM Görüntüleme Cihazı

4.2. Kesme Deneyleri

Kesme deneyleri, kuru kesme şartlarında, belirlenen 3 farklı ilerleme hızı ve 4 farklı kesme hızı ve 2mm sabit kesme derinliği parametreleriyle gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen deney düzeneği Tablo 4.4’te verilmiştir.

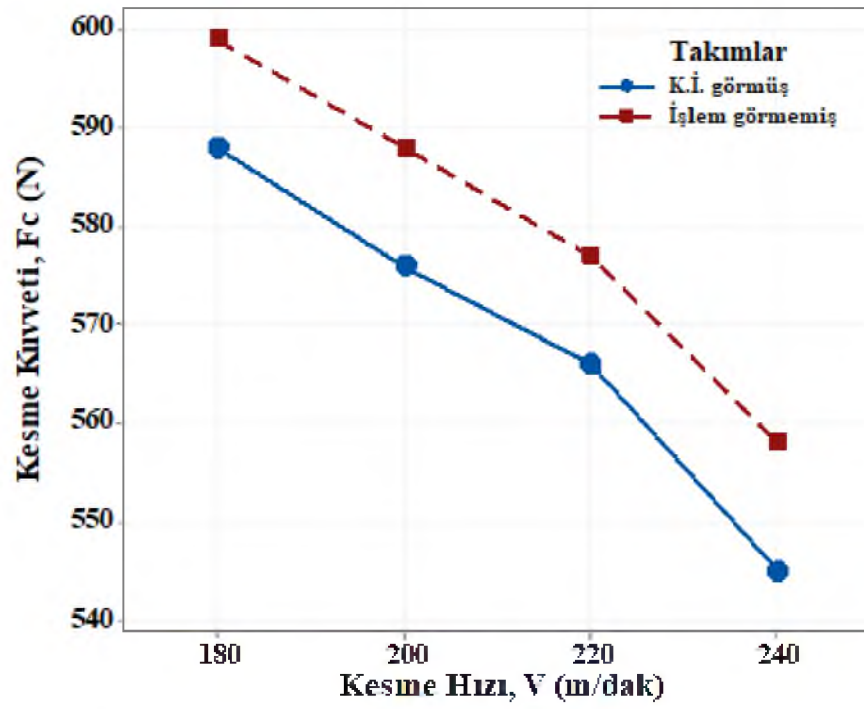
Tablo 4.4. Deney Düzenegi

Şekil tablosu ögesi bulunamadı.	Deney No	İlerleme Hızı (mm/dev)	Kesme Derinliği (mm)	Kesme Hızı (m/dak)
Kriyojenik İşlem Görmüş Kesici Takım	1	0,1	2	180
	2			200
	3			220
	4			240
	5	0,2		180
	6			200
	7			220
	8			240
	9	0,3		180
	10			200
	11			220
	12			240
Kriyojenik İşlem Görmemiş Kesici Takım	13	0,1	2	180
	14			200
	15			220
	16			240
	17	0,2		180
	18			200
	19			220
	20			240
	21	0,3		180
	22			200
	23			220
	24			240

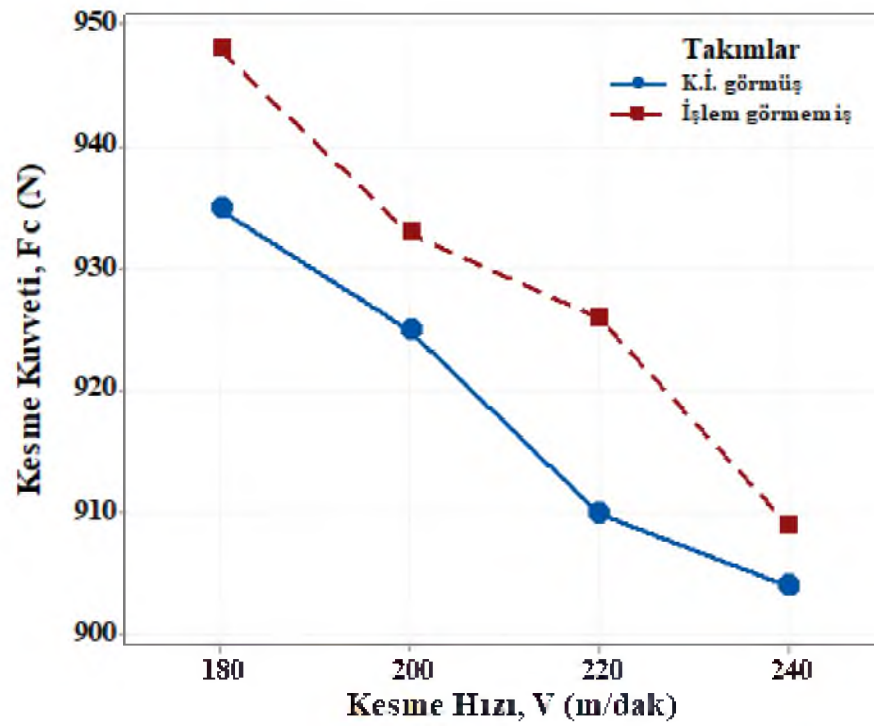
5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

5.1. Kesme Kuvvetleri

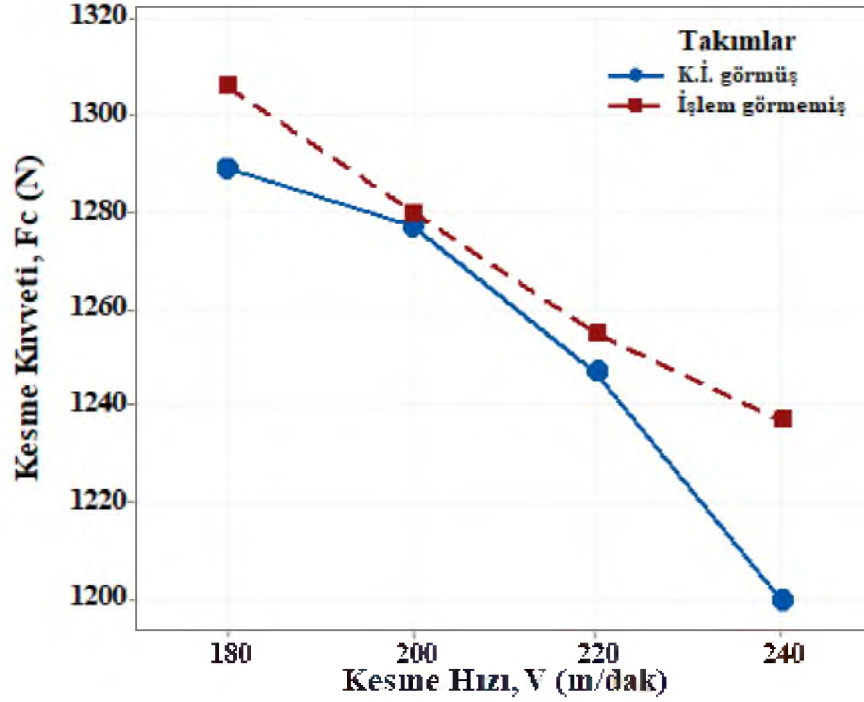
K.İ. uygulanmış ve uygulanmamış kesici takımlar ile dört farklı kesme hızı, üç farklı ilerleme ve sabit kesme derinliği parametrelerine bağlı olarak tornalanan iş parçalarının işlenmesi esnasında oluşan kesme kuvvetleri değerleri Şekil 5.1, Şekil 5.2 ve Şekil 5.3’de verilmiştir. Şekil 5.1, Şekil 5.2 ve Şekil 5.3’deki grafikler incelendiğinde kesme hızı arttıkça kesme kuvvetlerindeki değerleri azaldığı görülmüştür. Benzer bir sonuç SreeramaReddy ve ark. (2009) gerçekleştirmiş olduğu deneysel çalışmasında belirtmiştir. Bunun sebebi, kesme hızının artmasıyla birinci deformasyon bölgesinde meydana gelen takım-talaş arasındaki sıcaklığın artmasına paralel olarak, talaşın iş parçasından daha kolay bir şekilde kopmasına atfedilebilir (Gürbüz ve ark., 2017). K.İ. uygulanmış kesici takımlar ile K.İ. uygulanmamış kesici takımlardan elde edilen kesme kuvvetleri karşılaştırıldığında K.İ. uygulanmış kesici takımların kesme kuvvetlerinin daha düşük olduğu. Şekil 5.1, Şekil 5.2 ve Şekil 5.3’deki grafiklerinde açık bir şekilde görülmektedir. Bu durum, K.İ.’nin uygulandığı kesici takımlarda aşınma direncini artmasından dolayı açıklanabilir. Benzer sonuçlar literatürde yer alan araştırmacılar tarafında da elde edilmiştir (Özbek, 2020; SreeramaReddy, 2009; Özbek ve ark., 2016; Desphane ve ark., 2018; Özbek ve ark., 2014; Varghese ve ark.,2019; Sivalingam ve ark., 2018; Vadivel ve ark., 2009; Çiçek ve ark., 2012).



Şekil 5. 1. 0,1 mm/dev İlerleme Hızı



Şekil 5. 2. 0,2 mm/dev İlerleme Hızı



Şekil 5. 3. 0,3 mm/dev İlerleme Hızı

İlerleme hızına bağlı olarak Şekil 5.1, Şekil 5.2 ve Şekil 5.3'deki grafikler incelendiğinde, genel olarak ilerleme hızı arttıkça kesme kuvvetlerinde de artış meydana gelmiştir. Bu durum, ilerlemenin artmasıyla birim zamanda kaldırılacak talaş hacminin artmasına paralel olarak açıklanabilir (Demir ve ark., 2018). Tüm ilerleme hızları için, K.İ. uygulanmış ve uygulanmamış kesici takımlarla elde edilen esas kesme kuvvetleri değerleri karşılaştırıldığında, K.İ. görmüş kesici takımlarla elde edilen kesme kuvvetlerinin daha düşük değerde olduğu görülmektedir.

Kesme ve ilerleme hızlarını genel olarak ele aldığımızda, kesme hızlarındaki artış ve azalışların kesme kuvvetine etkisi, ilerleme hızına göre daha fazla etkili olduğunu söylenebilir. Bu durum K.İ.'nin kesici takıma kazandırmış olduğu aşınma direncini arttırmasına atfedilebilir. (Korkut ve ark., 2003).

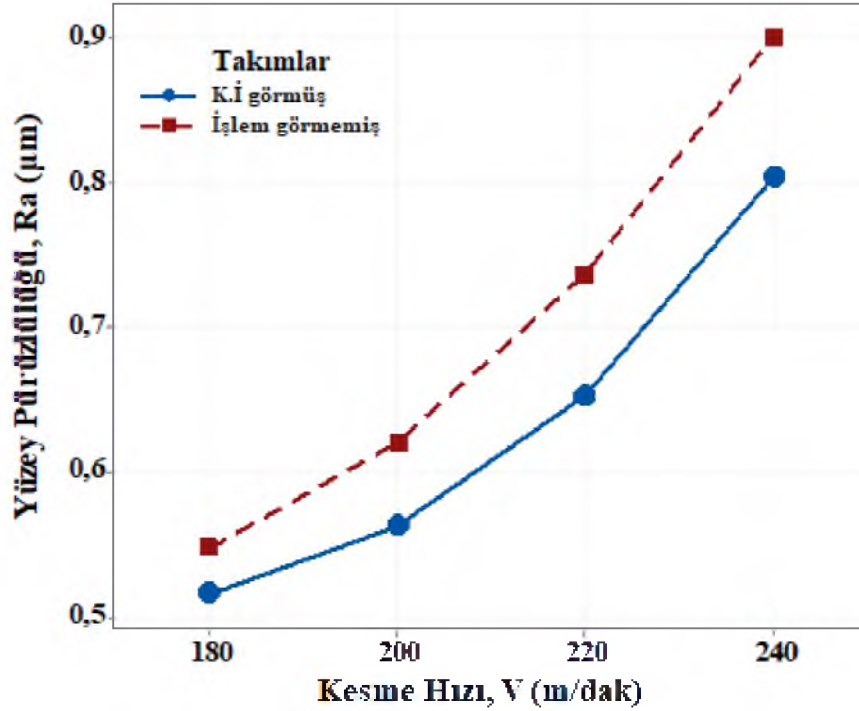
5.2. Yüzey Pürüzlülüğü

Yüzey pürüzlülüğü, işlenebilirlik karakteristiğinin değerlendirilmesi açısından önemli kriterler arasında yer almaktadır. İşleme sonrası oluşan nihai yüzey pürüzlülüğü, kesme hızı, ilerleme, çevre koşulları, operatörün uzmanlık seviyesi ve öngörülmeleyen sebeplerden etkilenebilir. Bunların yanında kesici uçların kaplamalı olup olmaması,

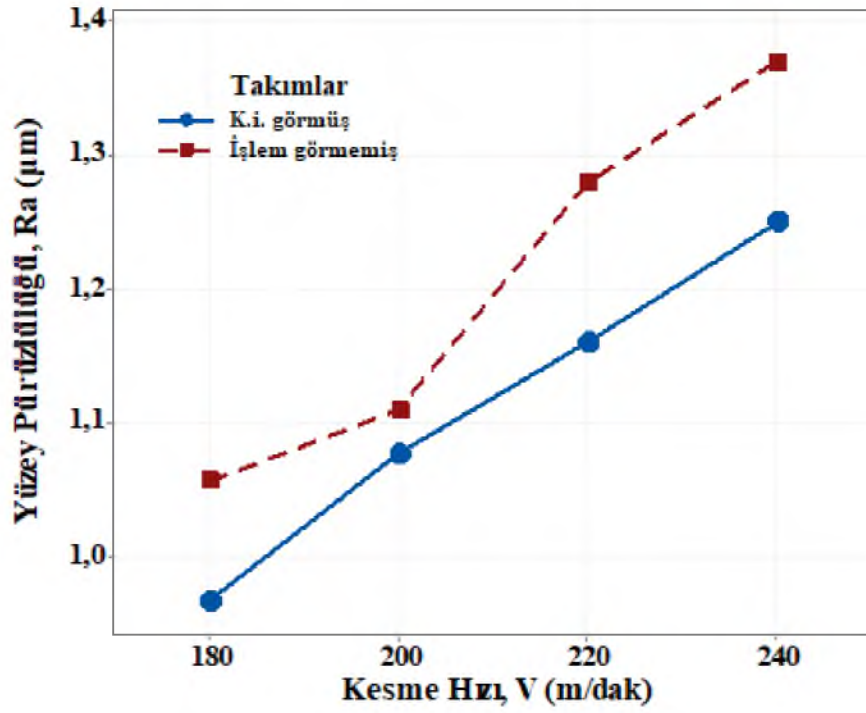
kaplamanın cinsi ve kriyojenik ısıt işlemler gibi ısıt işlemlerin uygulanması da oluşacak yüzeyin kalitesine etkilemektedir.

180, 200, 220, 240 m/dak kesme hızları, 0,1- 0,2- 0,3 mm/dev ilerleme ve 2 mm sabit kesme derinliğinde gerçekleştirilen kesme deneyleri ile iş parçalarının işlenmiş yüzeyinden elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri Şekil 5.13-15'te verilmiştir. Şekil 5.4, Şekil 5.5 ve Şekil 5.6'daki yüzey pürüzlülük değerleri incelendiğinde, tüm ilerleme hızları için K.İ. görmüş kesici takımlarla ve işlem görmemiş kesici takımlar kullanılarak yapılan deneyler sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri karşılaştırıldığında, K.İ. görmüş kesici takımlarla işlenmiş yüzeylerin yüzey pürüzlülük değerleri daha düşük çıkmıştır.

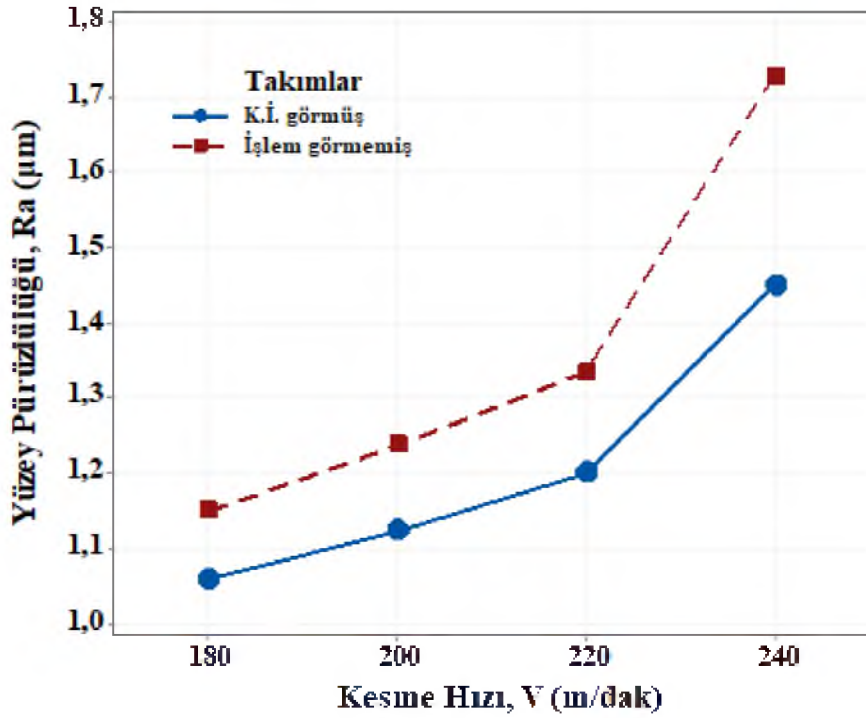
Şekil 5.4, Şekil 5.5 ve Şekil 5.6'taki grafikler incelendiğinde, ilerleme ve kesme hızı değerleri arttıkça, K.İ. görmüş ve işlem görmemiş kesici uçlarla işlenmiş olan iş parçalarının işlenmiş yüzeylerinin yüzey pürüzlülüğü değerleri arttığı görülmektedir.



Şekil 5. 4. 0,1 mm/dev İlerleme Hızı Altındaki Yüzey Pürüzlülüğü Sonuçları



Şekil 5. 5. 0,2 mm/dev İlerleme Hızı Altındaki Yüzey Pürüzlülüğü Sonuçları



Şekil 5. 6. 0,3 mm/dev İlerleme Hızı Altındaki Yüzey Pürüzlülüğü Sonuçları

Genel olarak, literatürde kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğü değerlerinin düştüğü ifade edilmektedir. Bu bağlamda, kesme hızının artışına bağlı olarak birinci deformasyon bölgesindeki sıcaklık değeri de artmaktadır. Bu da talaşın deformasyonunu

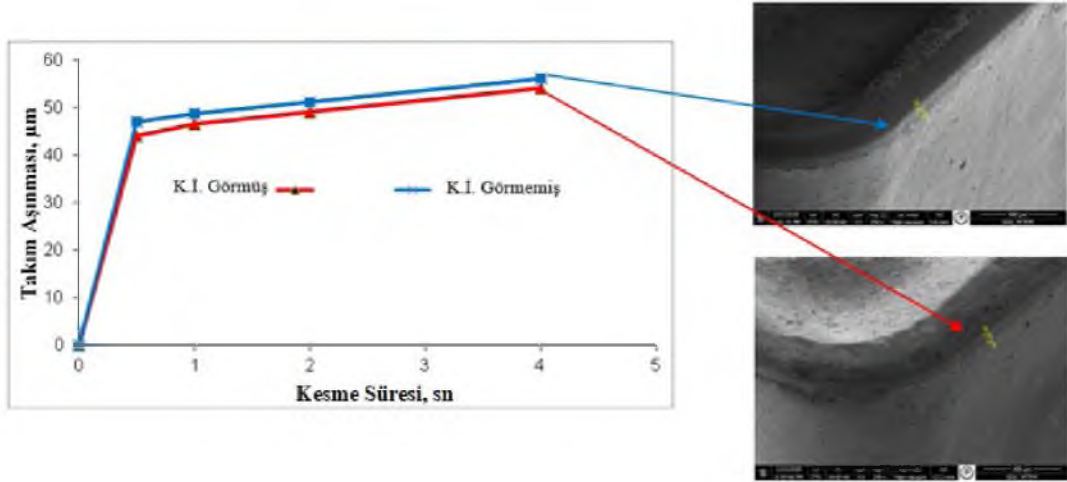
kolaylaştırmaktadır. Aynı zamanda bu durum ikinci deformasyon bölgesinde de gözlemlenebilmektedir (Sarıkaya ve ark., 2016). Ancak gerçekleştirilen bu çalışmada bu durumun tersi gözlemlenmektedir. Daha yüksek kesme hızlarında, kesici takımlar daha hızlı aşınmaktadır (Jawid ve ark., 1999). Bununla beraber, K.İ. görmemiş kesici takımlar, K.İ. görmüş takımlara göre daha hızlı aşınmaktadır.

Ortalama yüzey pürüzlülük değerleri, ilerlemenin artmasına bağlı olarak da arttığı bilinmektedir. Bu çalışmada da K.İ. uygulanmış ve uygulanmamış kesici takımlarla işlenmiş iş parçalarının yüzey pürüzlülük değerleri, ilerlemenin artmasıyla artmaktadır (Şekil 5.4, Şekil 5.5 ve Şekil 5.6). İlerlemenin artmasına bağlı olarak, kesme kuvvetleri ve aynı zamanda kaldırılacak olan talaş hacminde de bir artış oluşturmaktadır. İlerlemenin artmasıyla kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülük değerleri artmaktadır. Bu durum yüzey pürüzlülük değerini olumsuz etkilemektedir. Meydana gelen bu durumlar, literatürle paralellik göstermektedir (Yılmaz ve ark., 2020).

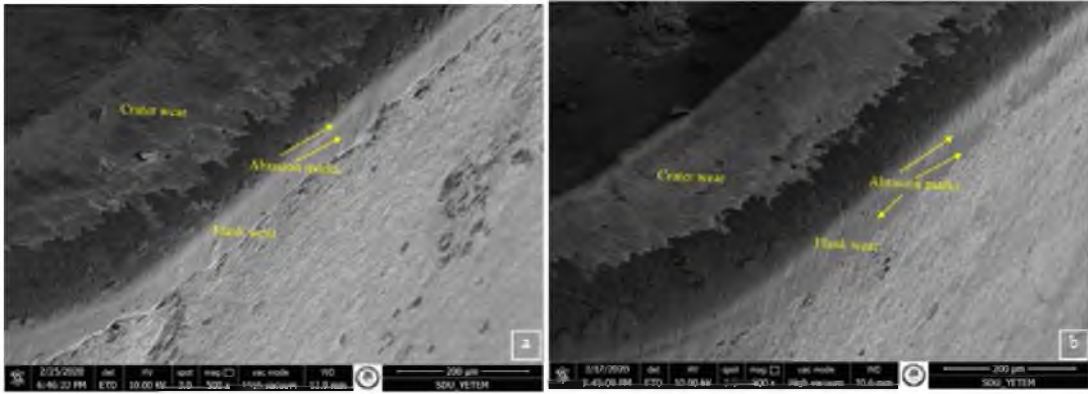
5.3.Takım Aşınması

Takım aşınması deneyleri 220 m/dak kesme hızı, 0,1 mm/dev ilerleme ve 2mm sabit kesme derinliğinde gerçekleştirilmiştir. K.İ. uygulanmış ve uygulanmamış kesici takımlarla yapılan deneyler sonucunda oluşan takım aşınmaları Şekil 5.7’de grafiksel olarak verilmiştir. Şekil 5.7’deki grafik incelendiğinde, K.İ. uygulanmış kesici takımlarda oluşan yan yüzey aşınmasının K.İ. uygulanmamış takımlara göre daha düşük değerlerde olduğu görülmektedir. Ortaya çıkan bu durum, K.İ.’nin kesici takıma kazandırmış olduğu sertlik ve aşınma direncine atfedilmektedir (Özbek, N.A., 2020; SreeramaReddy ve ark.,2009; Özbek, N.A. ve ark.,2016, 2014,; Deshpande ve ark., 2018; Varghese ve ark., 2019; Sivalingam ve ark.,2018, Akhbarizadeh ve ark.,2009; Chetan ve ark.,2017; Vadivel,K. ve ark.,2009; Firouzdor, V.ve ark, 2008; A. Çiçek, A.ve ark, 2012).

Kesme sürelerine bağlı olarak oluşan takım aşınmalarına ait SEM görüntüleri Şekil 5.8’de verilmiştir. Şekil 5.8’deki SEM görüntüleri incelendiğinde, K.İ. uygulanmış kesici takımın yan yüzeyinde meydana gelen aşınma çizgileri K.İ. uygulanmamış takımlara göre daha az olduğu görülmektedir. Bu da K.İ. uygulanan kesici takımın, K.İ. uygulanmamış takıma göre daha iyi bir aşınma direnci sergilediğini göstermektedir.



Şekil 5. 7. Belli İşleme Süreleri Sonucunda K.İ. Görmüş ve Görmemiş Kesici Takımlarda Oluşan Takım Aşınmaları



Şekil 5. 8. 220 m/dak Kesme Hızı, 0,1 mm/dev ilerleme ve 2 mm kesme derinliğinde elde edilen kesici takımları SEM görüntüleri a) K.İ. Görmemiş b) K.İ. İşlem Görmüş

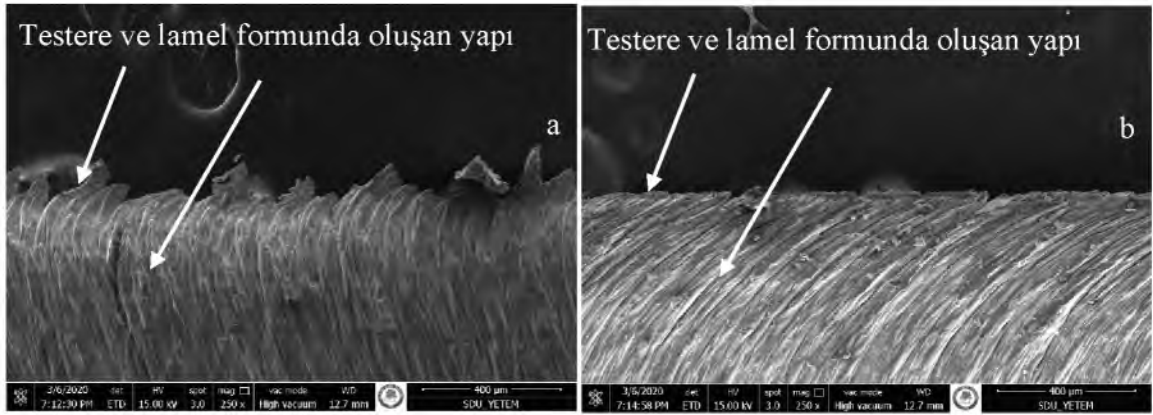
5.4. Talaş Morfolojisi

Talaş morfolojisi araştırmacılara kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü, titreşim ve BUE (Build Up Edge) oluşumu gibi işlenebilirlik parametreleri hakkında önemli bilgiler vermektedir. Bundan dolayı araştırmacılar çalışmalarında talaş morfolojisinin incelenmesine yer vermişlerdir (Demir ve ark., 2019; Yıldırım ve ark., 2020).

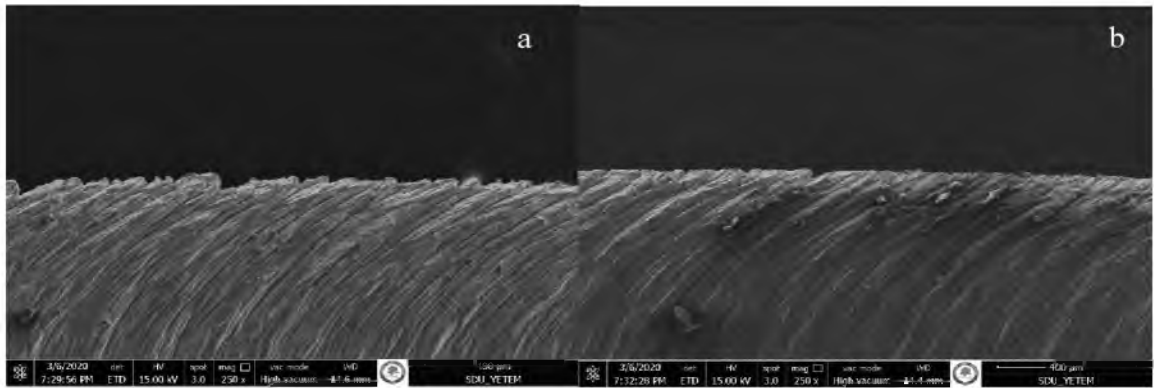
Tamizhamanii ve ark.(2012) yapmış oldukları çalışmada, kesme hızı arttıkça ve ilerleme azaldıkça, talaş kalınlığının azaldığını, uzun ve kesikli olamayan sarmal talaşlar, uzun helisel tip talaşlar ve şerit tip talaşlar meydana geldiğini belirtmişlerdir.

Yapılan bu çalışmada K.İ. görmüş ve görmemiş kesici takımlarla yapılan deneylerde 0,1 mm/dev ilerleme, 220 m/dak kesme hızı, 2 mm kesme derinliğinde işleme parametrelerine bağlı olarak işlenen iş parçalarını analiz etmek için alınan talaşlara ait SEM görüntüleri Şekil 5.9-12'de verilmiştir. Bu kesme parametrelerinde 0,5-1-2-4 dak

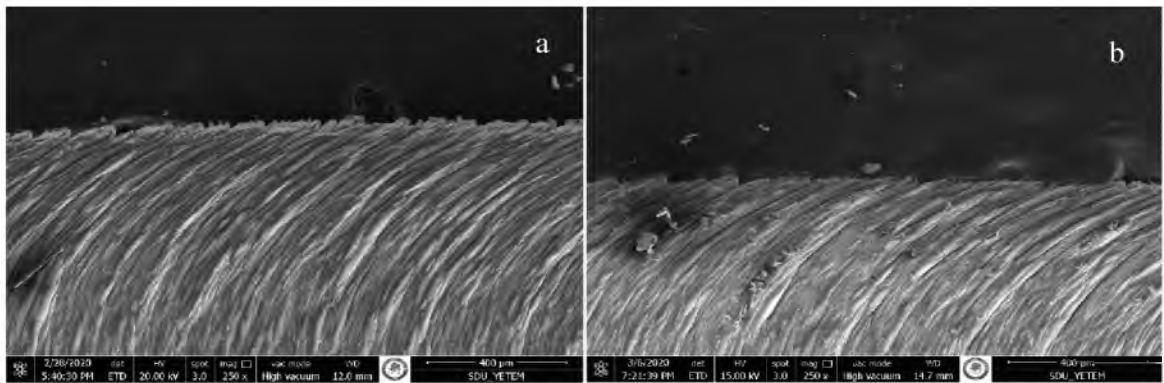
işleme zamanına bağlı olarak K.İ. uygulanmış ve uygulanmamış kesici takımlarla tornalama deneyleri gerçekleştirilmiştir.



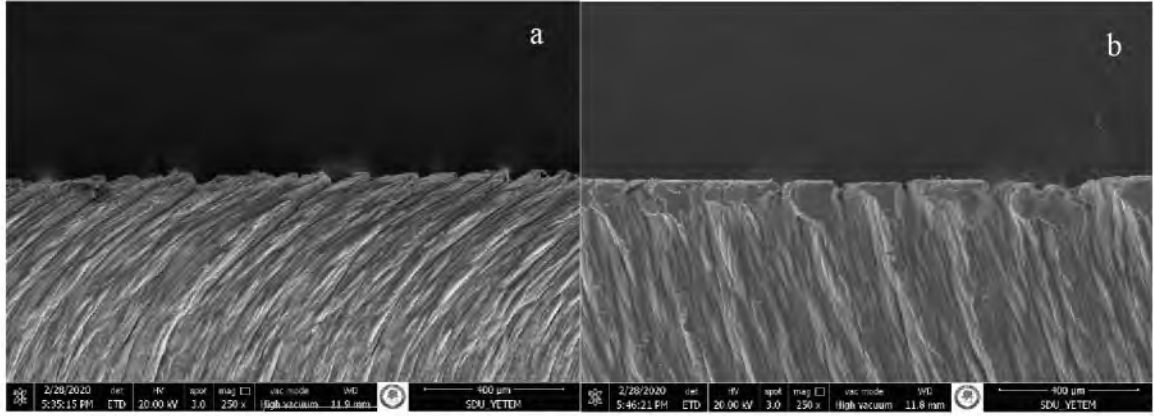
Şekil 5. 9. 0,5 dak işleme süresi sonrası talaş görüntüleri a) İşlem Görmemiş Uç b)K.İ. görmüş uç



Şekil 5. 10. 1 dak işleme süresi sonrası talaş görüntüleri a) İşlem Görmemiş Uç b)K.İ. görmüş Uç



Şekil 5. 11. 2 dak işleme süresi sonrası talaş görüntüleri a) İşlem Görmemiş Uç b)K.İ. görmüş Uç



Şekil 5. 12. 4 dak işleme süresi sonrası talaş görüntüleri a) İşlem Görmemiş Uç b)K.İ. görmüş Uç

K.İ. uygulanmış ve uygulanmamış takımlarla elde edilen talaş morfolojilerine ait SEM görüntüleri incelendiğinde, K.İ. görmemiş takımlarla işleme sonucu elde edilen talaşların morfolojik yapılarında Şekil 5.9, Şekil 5.10, Şekil 5.11 ve Şekil 5.12'deki testere formu ve daha fazla lamelli yapılar görülmektedir. Oluşan lamelli yapıların fazlalığı ve belirginliği, talaşta daha fazla tırtıklı formu yapıların olduğunu göstermektedir. Bu durum, kesici takım-talaş arasındaki sürtünmeden kaynaklı deformasyon oluşumundan dolayı, talaşın morfolojik yapısında, testere formu yapıların oluştuğunu söylenebilir. K.İ. uygulanmış kesici takımlarda, talaş-takım arasındaki sürtünme işlem görmemiş kesici takım-talaş arasındaki sürtünmeye göre daha az olduğu için, talaşın morfolojik yapısında oluşan testere formu yapılar daha küçük olduğu Şekil 5.9, Şekil 5.10, Şekil 5.11 ve Şekil 5.12'deki SEM görüntülerinden de anlaşılmaktadır.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1. Sonuçlar

Bu çalışmada, K.İ. uygulanmış ve uygulanmamış kesici takımlarla AISI 1050 çeliğinin tornalanması sonucunda, elde edilen kesme kuvvetleri, takım aşınmaları, yüzey pürüzlülüğü ve talaşların morfolojik yapıları araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- K.İ. uygulanmış kesici takımlar ile elde edilen kesme kuvvetleri, K.İ. uygulanmamış kesici takımlara göre daha düşük değerlerde olduğu görülmüştür.
- Yüzey pürüzlülüğü değerleri açısından kesici takımlar karşılaştırıldığında, K.İ. uygulanmış takımlarla elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerleri daha düşük çıkmıştır.
- Yapılan takım aşınması deneyleri sonucunda, K.İ. uygulanan kesici takımlarda daha düşük yan yüzey aşınmaları meydana gelmiştir.
- K.İ. uygulanmış ve uygulanmamış kesici takımlar ile gerçekleştirilen kesme deneyleri esnasında oluşan talaşların, morfolojik yapıları karşılaştırıldığında K.İ. görmüş kesici takımlar ile elde edilen talaşların talaş morfolojilerindeki testere formu yapıların daha az olduğu gözlemlenmiştir.
- Kesme parametrelerinin değişimine bağlı olarak da; kesme hızının artmasıyla deformasyon bölgelerindeki sıcaklık artışına bağlı olarak kesme kuvvetlerindeki meydana gelen azalma, takım aşınması ve yüzey pürüzlülük değerlerindeki azalmaların sebebidir. İlerlemenin artışıyla da kesme kuvvetlerinde artış meydana gelmesinden kaynaklı olarak, daha fazla aşınma ve yüzey pürüzlülük değerlerinde artışlar meydana geldiği söylenebilir.

Sonuç olarak K.İ.'nin kesici takımlara kazandırmış olduğu sertlik ve aşınma direnci K.İ. işlem görmemiş takımlara göre daha iyi bir işlenebilirlik performansı gösterdiği anlaşılmaktadır.

6.2. Öneriler

Sertlik ve aşınma direnci kazandırması bakımında, K.İ.'in uygulandığı malzemeye daha kalıcı mekanik özellikler kazandırmasından dolayı, mukavemet gerektiren yapılarda daha yaygın olarak kullanılması, imalat sektöründe bu alanda yapılan uygulamaların yaygınlaştırılması ve geliştirilmesi önerilmektedir. Kesici takımlara farklı K.İ. süreleri ve temperleme işlemleri uygulanarak titreşim değerleri incelenebilir. K.İ. uygulanmış kesici takımlarla işlenen iş parçalarının yüzey bütünlüğü ve kalıntı gerilmeler araştırılabilir.

KAYNAKLAR

- Akhbarizadeh, A., Shafyei, A., & Golozar, M. A. (2009) Effects of cryogenic treatment on wear behavior of D6 tool steel. *Materials & Design*, 30(8):3259-3264.
- Akın, B.. 2014, AISI 316L paslanmaz çeliklerin tornalanmasında yüzey pürüzlülüğünün incelenmesi, Yüksek Lisan Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 11-36.
- Akıncıoğlu, G., 2012, Derin kriyojenik işlem uygulanan tungsten karbür matkap kullanılarak AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin farklı parametreler ile delinebilirliğinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 12-18.
- Alava, L. A. (2008, April). Multistage: cryogenic treatment of materials: process fundamentals and examples of application, 10th Cryogenic. In *IIR International Conference, Praha, Czech Republic*, April (pp. 21-25).25-30.
- Amini, K., Akhbarizadeh, A., & Javadpour, S. (2012). Investigating the effect of holding duration on the microstructure of 1.2080 tool steel during the deep cryogenic heat treatment. *Vacuum*, 86(10), 1534-1540.
- Apaydın, D., 2009, AISI 4340 malzemenin tornalanmasında oluşan kesme kuvvetlerinin sonlu elemanlar yöntemiyle modellenmesi, Yüksek lisans tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Afyonkarahisar, 20-22.
- Aşçıoğlu, M., 2019, Duplex paslanmaz çeliklerin tornalanmasında yüzey pürüzlülüğünün incelenmesi, Yüksek lisans tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 34-36.
- Baba, F.. 2014, ST 37, AISI 1040 ve 2379 malzemelerin tornalama işleminde yüzey pürüzlülüğünün incelenmesi, Yüksek lisans tezi, *Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Düzce, 16-19.
- Bal, K. S. (2012). Performance appraisal of cryo-treated tool by turning operation (Doctoral dissertation).
- Baldissera, P., & Delprete, C. (2008). Deep cryogenic treatment: a bibliographic review. *The Open Mechanical Engineering Journal*, 2(1).
- Baldissera, P., & Delprete, C. (2009). Effects of deep cryogenic treatment on static mechanical properties of 18NiCrMo5 carburized steel. *Materials & Design*, 30(5), 1435-1440.
- Baldissera, P., & Delprete, C. (2010). Deep cryogenic treatment of AISI 302 stainless steel: Part II–Fatigue and corrosion. *Materials & Design*, 31(10), 4731-4737.
- Başaltın, M., 2010, Zamana göre takım aşınmasının işleme sesi ile deneysel incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 25-32.

- Bensely, A., Prabhakaran, A., Lal, D. M., & Nagarajan, G. (2005). Enhancing the wear resistance of case carburized steel (En 353) by cryogenic treatment. *Cryogenics*, 45(12), 747-754.
- Bensely, A., Venkateswaran, S., Subisak, A. D., Lal, D. M., Rajadurai, A., Lenkey, G. B., & Paulin, P. (2012). Influence of deep cryogenic treatment on alloy carbide precipitations and mechanical properties of AISI M2 high speed tool steel. *Cold Facts*, 28(2), 1-28.
- Bordin, A., Sartori, S., Bruschi, S., & Ghiotti, A., 2017, Experimental investigation on the feasibility of dry and cryogenic machining as sustainable strategies when turning Ti6Al4V produced by Additive Manufacturing. *Journal of Cleaner Production*, 142, 4142-4151.
- Can, A., 2013, AISI 5140 çeliğinin Sermet, pvd ile tiain-cvd ile tin kaplanmış kesici uçlarla tornalanmasında kesme değişkenleri, kaplama cinsi ve takım aşınmasının yüzey pürüzlülüğüne etkisinin deneysel incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 12.
- Candane, D., Alagumurthi, N., & Palaniradja, K. (2013). Tribological studies on deep cryogenic treated AISI T42 high speed steel using response surface methodology. *Adv Mater*, 2, 12-22.
- Candane, D., Alagumurthi, N., & Palaniradja, K. (2013). Effect of cryogenic treatment on microstructure and wear characteristics of AISI M35 HSS. *International journal of materials science and applications*, 2(2), 56-65.
- Carlson, E. (1991). Cold treating and cryogenic treatment of steel. *ASM International, ASM Handbook*, 4, 203-206.
- Ceviz, M., 2015, Kesici Takım, Kesme Hızı ve Malzeme Cinsinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkilerinin Araştırılması, Yüksek lisans tez, *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Edirne, 29-42.
- Chetan, Ghosh, S., & Rao, P. V. (2017) Performance evaluation of deep cryogenic processed carbide inserts during dry turning of Nimonic 90 aerospace grade alloy. *Tribology international*, 115:397-408.
- Chillar, R., & Agrawal, S. C. (2006, March). Cryogenic treatment of metal parts. *In AIP Conference Proceedings* (Vol. 824, No. 1, pp. 77-82). American Institute of Physics.
- Collins, D., & Dormer, J. (1997). Deep Cryogenic Treatment of a D2 Cold-work Tool Steel. *National Heat Treatment Centre*, 3, 71-74.
- Collins, D. N. (1998). Cryogenic treatment of tool steels. *Advanced materials & processes*, 154(6), 23.
- Çakır, M.C., 1999, Modern Talaşlı İmalatın Esasları , *Vipaş A.Ş.* , Bursa, 267-269.
- Çakır, M.C., 2000, Modern Talaşlı İmalat Yöntemleri , *Vipaş A.Ş.* , Bursa, 148-410.

- Çelik, E.. 2019, AISI 2507 süper dubleks paslanmaz çeliğin tornalanmasında hibrit soğutma/yağlama tekniklerinin yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklığı üzerindeki etkisi, Yüksek lisans tezi, *Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Düzce, 34-35.
- Çetin, M. H.. 2010, Bitkisel esaslı kesme sıvılarının tornalamadaki performansının araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Gebze Yüksek Teknolojisi Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, 11-18.
- Çevik, E., 2012, Tornalama işleminde kesici takım ömrünün iyileştirilmesine yönelik alternatif bir yaklaşım, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 29-31.
- Çiçek, .A, Uygur,İ., Kıvak, T., Özbek, N.A., (2012) Machinability of AISI 316 austenitic stainless steel with cryogenically treated M35 high-speed steel twist drills, *J. Manuf. Sci. Eng.* 134, 1–6
- Çiçek, A., Kara, F., Kıvak, T., & Ekici, E. (2013). Evaluation of machinability of hardened and cryo-treated AISI H13 hot work tool steel with ceramic inserts. *International journal of refractory metals and hard materials*, 41, 461-469.
- Çiçek, A., Kıvak, T., & Ekici, E. (2015). Optimization of drilling parameters using Taguchi technique and response surface methodology (RSM) in drilling of AISI 304 steel with cryogenically treated HSS drills. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 26(2), 295-305.
- Darwin, J. D., Lal, D. M., & Nagarajan, G. (2008). Optimization of cryogenic treatment to maximize the wear resistance of 18% Cr martensitic stainless steel by Taguchi method. *Journal of materials processing technology*, 195(1-3), 241-247.
- Demir, H, Ulaş, H, Binali, R. (2018). Toolox 44 malzemesinde talaş kaldırma miktarının yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması üzerindeki etkilerinin incelenmesi. *Teknolojik Uygulamalı Bilimler*, 13 (1), 19-28.
- Deshpande, R. G., & Venugopal, K. A. (2018) Machining With Cryogenically Treated Carbide Cutting Tool Inserts. *Materials Today: Proceedings*, 5(1):1872-1878.
- Dhokey, N. B., Hake, A., Kadu, S., Bhoskar, I., & Dey, G. K. (2014). Influence of cryoprocessing on mechanism of carbide development in cobalt-bearing high-speed steel (M35). *Metallurgical and Materials Transactions A*, 45(3), 1508-1516.
- Dogra, M., Sharma, V. S., Sachdeva, A., Suri, N. M., & Dureja, J. S. (2011). Performance evaluation of CBN, coated carbide, cryogenically treated uncoated/coated carbide inserts in finish-turning of hardened steel. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 57(5-8), 541-553.

- Dowdell R. L. and O. E. Harder, (1927), “The decomposition of the austenitic structure in steel. Part II, The decomposition of austenite in liquid oxygen,” *Transactions of the American Society for Steel Treating*, vol. 11, pp. 391-392, 1927.
- Erdem, Y., 2010, Çelik talaşı / silikon kompozit malzeme üretimi ve düşük hızlı darbe özelliklerinin deneysel incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 1-108.
- Erdi, O., 2012, Çelik talaş takviyeli plastik matrisli kompozitin düşük hızlı darbe davranışı, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 7-10.
- Eyigün, A., 2014, Tornalama işleminde lunet kullanımının yüzey pürüzlülüğüne etkisinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sivas, 13-19
- Firouzdor, V., Nejati, E., & Khomamizadeh, F. (2008). Effect of deep cryogenic treatment on wear resistance and tool life of M2 HSS drill. *Journal of materials processing technology*, 206(1-3), 467-472.
- Foerg, W. (2002). History of cryogenics: the epoch of the pioneers from the beginning to the year 1911. *International journal of refrigeration*, 25(3), 283-292.
- Gill, S. S., Singh, R., Singh, H., & Singh, J. (2009). Wear behaviour of cryogenically treated tungsten carbide inserts under dry and wet turning conditions. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 49(3-4), 256-260.
- Gill, S. S., Singh, J., Singh, R., & Singh, H. (2011). Metallurgical principles of cryogenically treated tool steels—a review on the current state of science. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 54(1-4), 59-82.
- Gill, S. S. (2012). Machining performance of cryogenically treated AISI M2 high speed steel tools. *Journal of Engineering Research and Studies*, 3(2), 45-49.
- Gill, S. S., Singh, H., Singh, R., & Singh, J. (2010). Cryoprocessing of cutting tool materials—a review. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 48(1), 175-192.
- Gill, S. S., Singh, H., Singh, R., & Singh, J. (2011). Flank wear and machining performance of cryogenically treated tungsten carbide inserts. *Materials and Manufacturing Processes*, 26(11), 1430-1441.
- Gill, S. S., Singh, J., Singh, H., & Singh, R. (2012). Metallurgical and mechanical characteristics of cryogenically treated tungsten carbide (WC-Co). *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 58(1-4), 119-131.
- Gill, S. S., Singh, J., Singh, R., & Singh, H. (2012). Effect of cryogenic treatment on AISI M2 high speed steel: metallurgical and mechanical characterization. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 21(7), 1320-1326.

- Gogte, C. L., Iyer, K. M., Paretkar, R. K., & Peshwe, D. R. (2009). Deep subzero processing of metals and alloys: evolution of microstructure of AISI T42 tool steel. *Materials and Manufacturing Processes*, 24(7-8), 718-722.
- Gu, K., Wang, J., & Zhou, Y. (2014). Effect of cryogenic treatment on wear resistance of Ti-6Al-4V alloy for biomedical applications. *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials*, 30, 131-139.
- Gürbüz, H., Gönülaçar, Y. E., & Baday, Ş. (2020). Effect of MQL flow rate on machinability of AISI 4140 steel. *Machining Science and Technology*, 24(5), 663-687.
- İlhan, M.. 2015, Talaş kaldırma işlemlerinde minimum miktarda yağlama (MQL) uygulamasının kesme hızı ve yağlama debisinin yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri üzerindeki etkilerinin incelenmesi, Yüksek lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 39-46.
- İşbilir, Ö., 2008, Talaş kaldırmada değişken ken yüklemenin takım ömrüne etkisinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 26-33.
- Kaçal, F.. 2018, Isıl işlem görmüş böhler K340 soğuk iş takım çeliğinin tornalanmasında işlenebilirlik özelliklerinin araştırılması, Yüksek lisans tezi, *Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kütahya, 13-18
- Kalia, S. (2010). Cryogenic processing: a study of materials at low temperatures. *Journal of Low Temperature Physics*, 158(5), 934-945.
- Kalsi, N. S., Sehgal, R., & Sharma, V. S. (2014). Effect of tempering after cryogenic treatment of tungsten carbide-cobalt bounded inserts. *Bulletin of Materials Science*, 37(2), 327-335.
- Karayel, B., 2015, Ç 4140 malzemesinin tornalanmasında ilerleme, kesme hızı ve kesici takımın yüzey pürüzlülüğü, takım ömrü ve aşınmaya etkileri, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 25-30.
- Gharibi, A., Kaynak, Y., "The influence of depth of cut on cryogenic machining performance of hardened steel," *Jornial of the faculty of engineering and architacture of Gazi Üniversitesi*, vol.34, pp.582-596, 2019
- Kıder, M. S.. 2016, Tornalama işleminde kesme parametrelerinin karşılaştırmalı optimizasyonu, Yüksek lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 13-16.
- Kıvak, T., 2012, Kesici takımlara uygulanan kriyojenik işlemin ti-6Al-4V alaşımının delinebilirliği üzerindeki etkilerinin araştırılması, Yüksek lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 36-38.
- Kirik, A.. 2010, Tornalamada kesme parametrelerindeki değişime göre yüzey pürüzlülüğünün tahmini için model geliştirme, Yüksek lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 20-38.

- Koçak, H., 2011, GGG 90 küresel grafitli dökme demirin işlenebilirliğinin kesme kuvvetleri yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması açısından değerlendirilmesi , Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 24-38.
- Korkut, İ , Dönertaş, M . (2003). Kesme parametrelerinin frezelemede oluşan kesme kuvvetleri üzerindeki etkileri, *Politeknik Dergisi* , 6 (1) , 385-391
- Kuntoğlu, M.. 2016, Tornalamada akustik emisyon ve kesme kuvveti sinyalleri kullanarak takım kırılması ve ilerleyen takım aşınmasının tahmin edilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 15-20
- Lal, D. M., Renganarayanan, S., & Kalanidhi, A. (2001). Cryogenic treatment to augment wear resistance of tool and die steels. *Cryogenics*, 41(3), 149-155.
- Levine, J. (2001). Cryoprocessing equipment. *Heat Treating Progress(USA)*, 1(7), 42-44.
- Lulay, K. E., Khan, K., & Chaaya, D. (2002). The Effect of Cryogenic Treatments on 7075 Aluminum Alloy. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 11(5), 479-480.
- Memiş, F., 2015. AISI 2205 (EN 1.4462) paslanmaz çeliğin CNC torna tezgahında işlenmesinde yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetlerinin deneysel araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* , 21-30.
- Molinari, A., Pellizzari, M., Gialanella, S., Straffelini, G., & Stiasny, K. H. (2001). Effect of deep cryogenic treatment on the mechanical properties of tool steels. *Journal of materials processing technology*, 118(1-3), 350-355.
- Moore, K., & Collins, D. N. (1993). Cryogenic treatment of three heat-treated tool steels. In *Key Engineering Materials* (Vol. 86, pp. 47-54). Trans Tech Publications Ltd.
- Murthy, N. H., & Krishna, M. (2010). Performance analysis of cryogenically treated carbide drills in drilling white cast iron. *International Journal of applied engineering research*, 1(3), 553.
- Musfirah, A. H., Ghani, J. A., & Haron, C. C. (2017). Tool wear and surface integrity of inconel 718 in dry and cryogenic coolant at high cutting speed. *Wear*, 376, 125-133.
- Neşeli, S.. 2013, Tirlama titreşimleri üzerine süreç sönmüleme etkisinin analitik olarak araştırılması ve tornalamada kararlı kesme derinliği ile süreç sönmüleme değerlerine bağlı parametre optimizasyonu, Yüksek lisans tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 46-68.
- Nordquist, W. N. (1953). Low temperature treatment of metals. *Tooling and Production Magazine*, 7, 72-100.
- Oral, N.. 2018, Ti-6Al-4V Eli alaşımının tornalanmasında yüksek basınçlı jet soğutmanın kesme kuvvetlerine ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi, Yüksek lisans tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, 17-20.

- Oyman, E., 2012, Kaplama Türünün ve Kesme Parametrelerinin Talaş Şekli Üzerindeki Etkisinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Afyonkarahisar, 41-45.
- Öndin, O.. 2019, PH 13-8 MO çeliğinin tornalanmasında MQL sisteminde kullanılan bitkisel esaslı kesme yağına çok duvarlı karbon nanotüp ilavesinin işleme çıktıları üzerindeki etkisi, Yüksek lisans tezi, *Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Düzce, 25-26.
- Özay, Ç., 2009, Teğetsel tornalama-frezeleme yönteminde işleme parametrelerinin teorik ve deneysel olarak araştırılması, Doktora Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 8-27.
- Özbek, N.A., 2013, AISI 316 östenitik paslanmaz çeliklerin işlenmesinde kesici takıma uygulanan kriyojenik işlemin takım ömrü üzerine etkilerinin araştırılması, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 48-57.
- Özbek, N. A., Çiçek, A., Gülesin, M., & Özbek, O. (2016) Effect of cutting conditions on wear performance of cryogenically treated tungsten carbide inserts in dry turning of stainless steel. *Tribology International*, 94, 223-233.
- Özbek, N. A., Çiçek, A., Gülesin, M., & Özbek, O. (2014) Investigation of the effects of cryogenic treatment applied at different holding times to cemented carbide inserts on tool wear. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 86, 34-43.
- Özcan, E., 2001, CNC tezgahlarda kullanılan kesici takımlarda takım aşınmasının kesme performansına dinamik etkileri, Doktora Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 168.
- Özdemir, K., 2008, İlk aşınma bölgesinde takım aşınmasını etkileyen parametrelerin deneysel analizi, Yüksek Lisans Tezi, *Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa, 19-28.
- Özdemir, U., & Erten, M. (2003). Talaşlı imalat sırasında kesici takımda meydana gelen hasar mekanizmaları ve takım hasarını azaltma yöntemleri. *Journal of Aeronautics and Space Technologies*, 1(1), 37-50.
- Öztürk, O.. 2017, CNC tornalama işleminde sanal adaptif kontrol sistemi geliştirilmesi, Yüksek lisans tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 10-12.
- Podgornik, B., Leskovšek, V., & Vižintin, J. (2009). Influence of deep-cryogenic treatment on tribological properties of P/M high-speed steel. *Materials and Manufacturing Processes*, 24(7-8), 734-738.
- Poomani, A., Mohan, B., Senthilkumar, A., Rajadurai, A., Sornakumar T., 2009, Effectiveness of Cryogenic treatment on the Performance of Cermet Cutting Tool While Machining AISI 4340 Steel, *International Journal of Materials Sciences*, 4 (3), 215-228

- Reddy, T. S., Ajaykumar, B. S., Reddy, M. V., & Venkataram, R. (2007). Improvement of tool life of cryogenically treated P-30 tools. In *Proceedings of international conference on advanced materials and composites (ICAMC-2007) at the national institute for interdisciplinary science and technology, CSIR, Trivandrum, India*, 457-460.
- Reitz, W., & Pendray, J. (2001). Cryoprocessing of materials: a review of current status, A review of current status. *Materials and Manufacturing Processes*, 16(6), 829–840.
- Seah, K. H. W., Rahman, M., & Yong, K. H. (2003). Performance evaluation of cryogenically treated tungsten carbide cutting tool inserts. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 217(1), 29-43.
- Senthilkumar, D., & Rajendran, I. (2011). Influence of shallow and deep cryogenic treatment on tribological behavior of En 19 steel. *Journal of Iron and Steel Research, International*, 18(9), 53-59.
- Shirbhate, A. D., Deshpande, N. V., & Puri, Y. M. (2012). Effect of cryogenic treatment on cutting torque and surface finish in drilling operation with AISI M2 high speed steel. *Int. J. Mech. Eng. Rob. Res*, 1(2), 50-58
- Singh, L. P., & Singh, J. (2011). Effects of cryogenic treatment on high-speed steel tools. *J Eng Technol*, 1(2), 88-93.
- Sivalingam, V., Sun, J., Yang, B., Liu, K., & Raju, R. (2018) Machining performance and tool wear analysis on cryogenic treated insert during end milling of Ti-6Al-4V alloy. *Journal of Manufacturing Processes*, 36, 188-196.
- SreeramaReddy, T. V., Sornakumar, T., VenkataramaReddy, M., & Venkatram, R. (2009) Machinability of C45 steel with deep cryogenic treated tungsten carbide cutting tool inserts. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 27(1): 181-185.
- Sweeney Jr, T. P. (1986). Deep cryogenics: the great cold debate. *Heat Treat.*, 18(2), 28-32.
- Uzun, M.. 2014, Kriyojenik işlem görmüş soğuk iş takım çeliğinin aşınma davranışının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Afyon, 7-9.
- Şeremet, M.. 2019, AISI 4140 ıslah çeliğinin seramik kesici takımlarla tornalanmasında oluşan titreşimin yüzey pürüzlülüğüne etkisinin deneysel analizi, Yüksek Lisans Tezi, *Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Düzce, 22-24.
- Taylan, F., 2009, Sert malzemelerin frezelenmesinde takım aşınma davranışlarının belirlenmesi, Doktora Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, 37-48.

- Thornton, R., Slatter, T., & Lewis, R. (2014). Effects of deep cryogenic treatment on the wear development of H13A tungsten carbide inserts when machining AISI 1045 steel. *Production Engineering*, 8(3), 355-364.
- Vadivel, K., & Rudramoorthy, R. (2009). Performance analysis of cryogenically treated coated carbide inserts. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 42(3-4), 222-232.
- Varghese, V., Ramesh, M. R., & Chakradhar, D. (2019) Influence of deep cryogenic treatment on performance of cemented carbide (WC-Co) inserts during dry end milling of maraging steel. *Journal of Manufacturing Processes*, 37, 242-250.
- Yamanoğlu, O.. 2015, Soğuk iş takım çeliklerinin aşınma direnci üzerinde kriyojenik işlemin etkisi, Yüksek lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 5.
- Yıldız, T.. 2015, Ti6Al4V alaşımının tornalanmasında işleme parametrelerinin ortalama yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvveti üzerindeki etkisinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 28-29.
- Yılmaz, E.,(2010), Dış tornalama işlemlerinde, takım tutucu malzemesinin ve sertliklerinin (hrc) yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetlerine etkisinin gri ilişkisel analiz yöntemi ile belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 4-5.
- Yılmaz, B., Güllü, A., (2020). AISI 1050 çeliğin tornalanmasında kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve talaş oluşumu üzerine etkilerinin araştırılması. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 26 (4) , 628-633.
- Yong, A.Y.L., Seah, K.H.W., Rahman, M., “Performance of cryogenically treated tungsten carbide tools in milling operations”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 32: 638-643 (2007).
- Yun, D., Xiaoping, L., & Hongshen, X. (2008). Classic contributions: cryogenic treatment Deep cryogenic treatment of high speed steel: microstructure and mechanism. *International Heat Treatment and Surface Engineering*, 2(2), 80–84.
- Xuan, F. Z., Huang, X., & Tu, S. T. (2008). Comparisons of 30Cr2 Ni4 Mo Vrotor steel with different treatments on corrosion resistance in high temperature water. *Materials & Design*, 29(8), 1533-1539.