

**CALDIE SOĞUK İŞ TAKIM ÇELİĞİNİN
İŞLENEBİLİRLİĞİNİN DENEYSEL OLARAK
İNCELENMESİ**

**2017
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ**

Mustafa Taha ÖZCAN

**CALDIE SOĞUK İŞ TAKIM ÇELİĞİNİN İŞLENEBİLİRLİĞİNİN
DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

Mustafa Taha ÖZCAN

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü**

**İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Aralık 2017**

Mustafa Taha ÖZCAN tarafından hazırlanan “CALDIE SOĞUK İŞ TAKIM ÇELİĞİNİN İŞLENEBİLİRLİĞİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Ali KALYON
Tez Danışmanı, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir. 08/12/2017

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Halil DEMİR (KBÜ)



Üye : Yrd. Doç. Dr. Şaban BÜLBÜL (NEÜ)



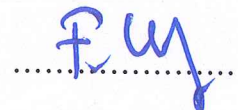
Üye : Yrd. Doç. Dr. Ali KALYON (KBÜ)



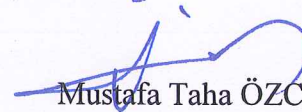
15.12/2017

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

Prof. Dr. Filiz ERSÖZ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdür V.



“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”


Mustafa Taha ÖZCAN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

CALDIE SOĞUK İŞ TAKIM ÇELİĞİNİN İŞLENEBİLİRLİĞİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Mustafa Taha ÖZCAN

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Yrd. Doç. Dr. Ali KALYON

Aralık 2017, 74 sayfa

Bu çalışmada kesici uç cinsinin, kesme hızının ve ilerleme miktarının sertleştirilmiş Caldie soğuk iş takım çeliğinin işlenebilirliği üzerindeki etkileri incelenmiştir. Deneysel çalışmalarda kullanılan iş parçasına ısıtma işlemi uygulanmıştır. İş parçası sertliği 60 HRC sertliğe çıkartılarak sert tornalama deneyleri gerçekleştirilmiştir. Sert tornalama deneylerinde iki farklı kesici uç (seramik, CBN) kullanılarak yapılmıştır. Deneysel çalışmada kesme derinliği 0.1 mm sabit tutulmuştur. İşleme parametreleri olarak seçilen kesme hızı için üç farklı (90, 120, 150 m/dak), ilerleme miktarı için üç farklı (0.05, 0.1 ve 0.15 mm/dev) işleme seviyeleri seçilmiştir.

Kesme parametrelerinin, kesme kuvvetlerine ve ortalama yüzey pürüzlülük değerlerine etkileri ölçülmüştür. Sertleştirilmiş iş parçasından 20 cm³ talaş hacmi kaldırılarak kesici uca meydana gelen aşınmalar incelenmiştir. Deney tasarımı Taguchi L₁₈ dikey dizini deney seti kullanılarak yapılmıştır. Taguchi tekniği

kullanılarak ideal kesme şartları için kontrol faktörleri belirlenmiştir. Kontrol faktörlerinin sonuçlara etkisi varyans analizi (ANOVA) yardımıyla hesaplanmıştır.

Deneysel çalışma sonucunda ilerleme miktarının esas kesme kuvveti ve ortalama yüzey pürüzlülük değerleri üzerinde en etkili işleme parametresi olduğu belirlenmiştir. Ayrıca kesme hızı ve ilerleme miktarı değerlerinin yüksek kullanıldığı deney şartlarında kesici takımında oluşan aşınmanın daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. CBN kesici takımın kullanıldığı deneysel çalışmalarda seramik kesici takıma göre daha iyi ortalama yüzey pürüzlülük değerleri ve daha az takım aşınması elde edilmiştir.

Anahtar Sözcükler : Caldie, işlenebilirlik, CBN, seramik, Taguchi.

Bilim Kodu : 914.3.028

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE MACHINABILITY OF CALDIE COLD WORK TOOL STEEL

Mustafa Taha ÖZCAN

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Manufacturing Engineering

Thesis Advisors:

Assist. Prof. Dr. Ali KALYON

December 2017, 74 pages

In this study, the effects of the cutting insert type, the cutting speed and the feed rate on the machinability of the hardened Caldie cold work tool steel were investigated. Heat treatment was applied to the workpiece used in the experimental work. Hard turning experiments were carried out after workpiece hardness has been increased to 60 HRC hardness. In hard turning experiments, two different inserts (ceramic, CBN) were used. In experimental work, cutting depth is kept constant at 0.1 mm. Three different machining levels (0.05, 0.1 and 0.15 mm/min) were selected for the cutting speed and (90, 120, 150 mm/rev) for the feed rate were selected as the machining parameters.

The effects of cutting parameters on cutting forces and average surface roughness values are measured. The wear on the cutting insert was investigated by removing 20 cm³ of chip volume from the hardened workpiece. The experimental design was

carried out using the Taguchi L₁₈ orthogonal array. Using Taguchi technique, control factors for ideal cutting conditions were determined. The effect of the control factors on the results was calculated with the help of analysis of variance (ANOVA).

As a result of the experimental study, it was determined that the feed rate is the most effective processing parameter on the cutting force and average surface roughness values. It has also been observed that the wear on the cutting tool is higher in the test conditions where the cutting speed and feed rate values are used at high levels. Experimental studies using CBN cutting tool have resulted in better average surface roughness values and less tool wear than ceramic cutting inserts.

Key Words : Caldie, machinability, CBN, ceramics, Taguchi.

Science Code : 914.3.028

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının araştırılmasında, planlanmasında ve yürütülmesinde ilgi ve desteğini esirgemeyen, bana vakitlerini ayırarak çok kıymetli bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren; yüksek lisans tez danışmanım çok değerli hocam sayın Yrd.Doç.Dr. Ali KALYON'a sonsuz teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Deneysel çalışmalarım sırasında yardımını esirgemeyen Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği lisans öğrencileri Recep BAŞAK ve Ali Kemal GÖRHAN'a teşekkür ederim.

Bu tez KBÜBAP-17-YL-192 no'lu Bilimsel Araştırma Projesi kapsamında Karabük Üniversitesi tarafından desteklenmiştir, bu vesileyle Karabük Üniversitesi Rektörlüğüne teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	4
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	4
BÖLÜM 3	8
TAKIM ÇELİKLERİ.....	8
3.1. TAKIM ÇELİKLERİNİN GENEL ÖZELLİKLERİ	8
3.1.1. Suda Sertleşebilen Takım Çelikleri	9
3.1.2. Şok Dirençli Takım Çelikleri	9
3.1.3. Sıcak İş Takım Çelikleri	10
3.1.4. Yüksek Hız Takım Çelikleri.....	10
3.1.5. Kalıp Takım Çelikleri	11
3.1.6. Özel Amaçlı Takım Çelikleri.....	11
3.1.7. Soğuk İş Takım Çelikleri.....	11
3.1.7.1. Yağda Sertleştirilmiş Soğuk İş Takım Çeliği	12
3.1.7.2. Havada Sertleştirilmiş Orta Alaşımli Soğuk İş Takım Çelikleri	13
3.1.7.3. Yüksek Karbonlu Ve Yüksek Kromlu Soğuk İş Takım Çelikleri ..	13

3.2. CALDIE SOĞUK İŞ TAKIM ÇELİĞİ..... 13

BÖLÜM 4 15

TALAŞLI İMALAT VE İŞLENEBİLİRLİK 15

4.1. GİRİŞ..... 15

4.2. TALAŞLI İMALAT 16

4.2.1. Tornalama 17

4.2.1.1. Talaş Kaldırma Mekanizması 18

4.2.2. Talaş Oluşumuna Etki Eden Faktörler..... 20

4.3. TALAŞLI İMALAT İŞLEMİNDE KESME KUVVETLERİ 21

4.4. KESİCİ TAKIM GEOMETRİSİ..... 22

4.5. KESİCİ TAKIM MALZEMELERİ 24

4.5.1. Yüksek Hız Çeliği..... 25

4.5.2. Sementit Karbür..... 25

4.5.3. Kaplamalı Sementit Karbür 25

4.5.4. Sermet..... 26

4.5.5. Seramik..... 26

4.5.6. Çok Sert Kesici Takımlar 27

4.6. TAKIM AŞINMASI..... 27

4.6.1. Aşınma..... 27

4.6.2. Takım Aşınma Türleri 30

4.6.2.1. Adhezyon (Yapışma) Aşınması 30

4.6.2.2. Abrazyon (Sürtünme) Aşınması 30

4.6.2.3. Difüzyon Aşınması 31

4.6.2.4. Oksidasyon aşınması..... 31

4.6.2.5. Yorulma 32

4.6.3. Takım Aşınma Çeşitleri..... 32

4.6.3.1. Yan Kenar (Yanak) Aşınması 34

4.6.3.2. Krater Aşınması 34

4.6.3.3. Plastik Deformasyon..... 34

4.6.3.4. Çentik Aşınması..... 35

4.6.3.5. Termal Çatlaklar 35

	<u>Sayfa</u>
4.6.3.6. Mekanik Yorulma Kırılmaları	36
4.6.3.7. Çıtlama.....	36
4.6.3.8. Kırılma	36
4.6.3.9. Yapışma	37
4.6.3.10. Talaş Vurması	37
4.7. TAKIM AŞINMASI KONTROLÜ.....	37
4.8. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ	38
4.9. SERT TORNALAMA.....	40
BÖLÜM 5	41
MALZEME METOD.....	41
5.1. DENEYSEL NUMUNELER	41
5.2. DENEYLERDE KULLANILAN MAKİNE VE TEÇHİZAT.....	41
5.3. STEREO MİKROSKOP	45
5.4. TARAMALI ELEKTRON MİKROSKOBU (SEM) İNCELEMELERİ.....	45
5.5. DENEY TASARIMI	45
BÖLÜM 6	47
DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE TARTIŞMA	47
6.1. İŞLENEBİLİRLİK TESTİ SONUÇLARININ İNCELENMESİ.....	47
6.1.1. Esas Kesme Kuvveti Sonuçlarının İncelenmesi	47
6.1.2. Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü Optimizasyonu	52
6.1.3. Kesici Takım Aşınma Davranışlarının Değerlendirilmesi	55
BÖLÜM 7	65
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	65
KAYNAKLAR	68
ÖZGEÇMİŞ	74

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 4.1. Tornalama işlemi için kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği.....	18
Şekil 4.2. Dik kesme modeli	19
Şekil 4.3. Plastik deformasyon bölgeleri.....	19
Şekil 4.4. Kesme parametrelerinin kesme kuvvetleri üzerine etkisi	21
Şekil 4.5. Tornalama işleminde kesme kuvvetleri	22
Şekil 4.6. Sağ ve sol yan kesici takım ve kesme uçları.....	24
Şekil 4.7. Nötr kesici takım ve kesme yönleri	24
Şekil 4.8. Takımda meydana gelen aşınma türleri	28
Şekil 4.9. Aşınma türleri	29
Şekil 4.10. Adhezyon aşınması	30
Şekil 4.11. Abrazyon (sürtünme) aşınması	31
Şekil 4.12. Difüzyon aşınması	31
Şekil 4.13. Kesici takım aşınma türleri	33
Şekil 4.14. Takım aşınma kontrolünün yapılacağı bölgeler.....	38
Şekil 5.1. TDJNR 2525M15 kater.....	43
Şekil 5.2. DDJNR 2525M15 kater	44
Şekil 5.3. KYOCERA DNGA150604T02025 Seramik kesici uç.....	44
Şekil 5.4. KYOCERA DNGA150404S01225 CBN kesici uç	44
Şekil 6.1. Kistler 9257B tipi dinamometre ile zamana bağlı kesme kuvvetleri.....	48
Şekil 6.2. Esas kesme kuvvetinin kesme parametrelerine göre değişimi.....	49
Şekil 6.3. Esas kesme kuvveti için kesme parametrelerinin S/N oranları.....	50
Şekil 6.4. Ortalama yüzey pürüzlülüğünün kesme parametrelerine göre değişimi..	53
Şekil 6.5. Ortalama yüzey pürüzlülüğü için değişkenlerin S/N oranları.....	54
Şekil 6.6. Ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin kesme parametrelerine göre değişimleri.....	57
Şekil 6.7. Sert tornalama sonrası aşınan kesici uçlar.	58
Şekil 6.8. Seramik kesici uç SEM görüntüsü, kesme hızı 150 m/dak, ilerleme miktarı 0.15 mm/dev.....	61
Şekil 6.9. CBN kesici uç SEM görüntüsü, kesme hızı 150 m/dak, ilerleme miktarı 0.15 mm/dev.....	62

Şekil 6.10. Ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) için kesme parametrelerinin
(kontrol faktörleri) S/N oranları..... 62



ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1. Caldie soğuk iş takım çeliğinin mekanik özellikleri.....	14
Çizelge 5.1. Caldie soğuk iş takım çeliğinin kimyasal kompozisyonu.....	41
Çizelge 5.2. BSD torna tezgahının teknik özellikleri.....	42
Çizelge 5.3. Kistler 9257B dinamometrenin teknik özellikleri.....	42
Çizelge 5.4. Mahr yüzey pürüzlülük cihazının teknik özellikleri	43
Çizelge 5.5. İşlenebilirlik deneyleri faktör ve seviyeleri	46
Çizelge 5.6. İşlenebilirlik deneyleri faktör ve seviyeleri	46
Çizelge 6.1. Esas kesme kuvveti ve S/N oranları.....	48
Çizelge 6.2. Esas kesme kuvveti faktörleri için S/N oranları	51
Çizelge 6.3. Esas kesme kuvveti için S/N oranları için ANOVA analizi.	51
Çizelge 6.4. Ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri ve S/N oranları	52
Çizelge 6.5. Ortalama yüzey pürüzlülüğü faktörleri için S/N oranları.	55
Çizelge 6.6. Ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri için ANOVA analizi	55
Çizelge 6.7. Ortalama yüzey pürüzlülük sonuçlarının değerlendirilmesi.....	56
Çizelge 6.8. Ortalama yüzey pürüzlülüğü faktörleri için S/N oranları	63
Çizelge 6.9. Ortalama yüzey pürüzlülüğü ANOVA analizi.....	64

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

- μm : Mikron
 $^{\circ}\text{C}$: Derece
N : Newton
V : Kesme hızı
f : İlerleme miktarı
a : İlerleme miktarı
 α : Takım talaş açısı
 ϕ : Kayma açısı
 β : Sürtünme kuvveti
 F_c : Esas kesme kuvveti
 F_r : Radyal kuvvet
 F_f : İlerleme kuvveti
 F_R : Bileşke kesme kuvveti
 R_a : Ortalama yüzey pürüzlülüğü

KISALTMALAR

- HRC : Hardness Rockwell C (Rockwell C Sertlik)
ASTM: American Society for Testing and Materials (Amerikan Test ve Malzeme Topluluğu)
SEM : Scanning Electron Microscopy (Tarama Elektron Mikroskop)
EDS : Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (Enerji Dağılımlı X-Işını Spektroskopisi)
CBN : Cubic Boron Nitride (Kübik Bor Nitrür)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Uzun yıllardır talaşlı imalatta verimliliği artırma isteği; iş parçası ölçü tamlığı, iş güvenliği, gelişmiş teknolojiye sahip otomasyon, bilgisayar destekli tezgahlar, esnek imalat sistemleri vb. tekniklerin gelişmesini sağlamıştır. Takım tezgahlarındaki teknoloji ilerlemelerle beraber parçaların hassas, verimli, güvenilir ve seri imalata dayalı olarak üretilebilmesi karbür, sermet, seramik ve kübik bor nitrid (CBN) gibi yeni takım malzemelerinin geliştirilmesine olanak sağlamıştır. Endüstriyel alandaki ilerlemelere bağlı olarak talaşlı imalat işlemleri endüstrinin çekirdeğini oluşturmaktadır. Bir ürünün üretimi; ürünün tasarlanması, işlem planlaması, işleme süreçlerini ve kalite kontrol gibi prosesleri kapsayan bir süreçtir. İşlenebilirlik, işlem planlama ve işleme süreçlerinin belirlendiği kısımdır. Bu sebeple işlenebilirliği anlayabilmek ve verimli üretim planlaması yapmak mühendisler açısından oldukça önemli bir noktadır. Ürün tasarlarken malzemen seçimi tasarım hedefine karşılık gelmesi ve üretim giderlerinin azaltılması açısından önem arz etmektedir. Öncelikli hedef olan işleme giderlerinin azaltılması, kesici takım çalışma süresini artırmak ve iyi bir yüzey kalitesi elde etme hedefi, talaşlı imalat alanında sürekli çalışmaların yapılmasını zorunlu kılmaktadır.

Talaşlı üretimde karşı karşıya gelinen en büyük sorunlardan biri, kesici takım aşınmasının zamanında belirlenememesidir. Kesme ömrünü tamamlamış kesici takım ile talaşlı imalat operasyonlarında, parçanın ölçüsel ve boyutsal tamlığını elde etmenin zorlaşacağı gibi takım tezgâhına verebileceği olumsuz etkiler dikkate alınmalıdır. Bununla beraber, keskinliğini yitirmiş kesiciye uygulanan direnç kuvvetlerinin artması, kesme operasyonu için ihtiyaç duyulan talaş kaldırma kuvvetlerinin artmasına sebep verecektir. Takımın aşınması, yüzey pürüzlülüğü değerine etki eden en önemli parametrelerden biridir. Bu nedenle, kesici takımın aşınması kesme operasyonun verimliliğine olan etkisinden dolayı dikkatle göz önünde bulundurulması gereken

parametrelerden biridir. Kesme işlemi sırasında oluşan ısı, sürtünme, kuvvet ve benzeri parametrelerden ötürü kesici üzerinde bazı olumsuz etkiler olabilmektedir. Bu etkenler, kesici uçun yan yüzeyinde aşınmaların gerçekleşmesine sebep olmaktadır. Kesici ucun yan yüzeyinde gerçekleşen aşınmalar yüzey kalitesinde olumsuzluklara sebep verebileceği gibi aynı zamanda imalata kesici değişikliği yapılmadan devam edilmesi üretim ve takım maliyetini arttıran bir başka durumdur. Kesici takımın ömrünü tamamladıktan sonra değiştirilmesi gerekmektedir. Kesici takımın değiştirilmesi için kesicinin takım ömrünün bilinmesi gerekmektedir. Takımların kesme süresi bütün malzemelerde aynı değildir. Her malzeme kesici takımı aynı seviyede aşındırmaz. Malzeme veya kesici takımdan birinde değişiklik olursa kesici takımın kesme süresi değişmektedir. Deneylerde farklı işleme parametreleri ve seviyeleri kullanılarak kesici takımların kesme süreleri ölçülebilmektedir. En fazla takım ömrünün elde edildiği kesme parametrelerinin iş parçası üzerinde oluşturacağı yüzey kalitesinin belirlenmesi de gerekmektedir.

Sert malzemelerin işlenmesi tekniği, sertliği 45 ve 70 HRC arasında veya daha fazla sertliğe sahip malzemelerin , talaşlı imalatı anlamına gelmektedir. Sert işleme ile ilave tavlama, kaba işleme ve son taşlama işlemine gerek olmamaktadır. Bu durum işleme sonrası ek operasyonların ortadan kalkmasına yardımcı olmaktadır. Çok sert kesici uçların gelişmesiyle beraber ısı işlem uygulanmış malzemelerin yüksek hızlarda işlenmesi, kalıp imalatında önemli bir teknoloji olmuştur. Özellikle frezeleme işlemlerinde yüksek hızda işleme, talaş kaldırma operasyonlarının yaklaşık olarak % 50 seviyesinde yerine geçmiştir. CBN takımlarla sertliği artırılmış iş parçalarının frezeleme işleminde yaklaşık olarak 1000 m/dak kesme hızıyla işlenmeleri tavsiye edilmektedir. Kesici takım ve tezgah teknolojisindeki ilerlemelerle birlikte sertliği 55 ve 70 HRC arasında olan sert malzemelerin tek bir operasyonla işlenmesi en çok üzerinde araştırma yapılan çalışma konuları arasındadır.

Sert veya sertleştirilmiş iş parçalarını işlemede yaşanan en büyük sorun işleme sırasında kesici uçların hızlı bir şekilde aşınması, çatlaması veya kırılmasıdır. Bu sebeple takım maliyetleri, üretimde önemli bir maliyet artışına neden olmaktadır. Sert metal malzemelerin talaşlı imalatı yöntemlerinde kullanılmak üzere geliştirilen kesicilerin maliyetlerinin fazla olması ve ileri teknoloji kullanılarak üretilmesi bu

kesicilerin kullanıldığı yerleri sınırlamaktadır. Ancak sert işleme teknikleri kalıp üretim alanında ve çok hassas makine parçalarının imalatında işleme sürelerini, maliyeti önemli oranda düşürdüğü ve sonrasında ısıtılma uygulamalarından ötürü gerçekleşen boyutsal tutarsızlıkları (çarpılma, çekme, büzülme vb.) ve mikro yapısal değişimleri (bozulmaları) ortadan kaldırdığı için, sert malzeme işleme kabiliyetine sahip kesicilerin kullanım yerlerinin yaygınlaşması hızlı bir şekilde artmaktadır.

Bu çalışmada seramik ve CBN (kübik bor nitrür) kesici uçlar kullanılarak, sertliği ısıtılma işlemi uygulanarak 60 HRC sertliğe getirilen Caldie soğuk iş takım çeliğinin tornalama operasyonlarıyla işleme sonrasında elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri ve esas kesme kuvvetleri araştırılmıştır. Sertleştirilmiş iş parçalarından 20 cm³ talaş hacmi kaldırılarak kesici uçlarda oluşan aşınmalar ve iş parçası ortalama yüzey pürüzlülük değeri ölçümleri yapılmıştır. Deney tasarımı Taguchi tekniği kullanılarak yapılmıştır. İşleme sonrası ortalama yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvveti değerleri üzerinde optimizasyon çalışmaları yapılmıştır. Ayrıca ANOVA analizi kullanılarak kesme parametlerinin kesme kuvveti ve ortalama yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etki oranları belirlenmiştir.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Sert tornalama, yüksek sertlik ve aşınma direncine sahip kesici takımların kullanılarak sertlikleri 50-70 HRC arasında olan iş parçalarının düşük talaş derinliğinde iyi bir yüzey kalitesine sahip olmaları için uygulanan bir talaşlı imalat tekniğidir [1]. Zamandan tasarruf, yüzey kalitesindeki artış, sıcaklıktan dolayı parçada oluşan çarpılmaların ortadan kalkması, kolay bir imalat metodu olması ve taşlama işlemi gibi ek bir proses gerektirmemesi sert tornalama işleminin avantajları olarak sayılabilir. Sert tornalama teknolojisi endüstride rulmanlar, hareket ileten miller, akslar ve çeşitli motor parçalarının imalatında yaygın olarak kullanılmaktadır [2, 3]. Talaşlı imalatı yapılan malzemenin sert olması sebebiyle tercih edilen kesiciler, yüksek aşınma direnci, yüksek sertlik, yüksek çentik dayanımı, yüksek termal iletkenlik, fiziksel ve kimyasal kararlılık gibi özelliklere sahip olmaları gerekmektedir. Sert tornalama tekniği kullanılırken en çok tercih edilen kesiciler, seramik ve kübik bor nitrür'dür (CBN) [4].

Seramik kesici uçlar sahip oldukları mekanik özellikleri sebebiyle, endüstriyel uygulamaların çoğunda sıklıkla kullanılmaktadır. Seramik kesici takımlar yüksek termal şok direnci, yüksek sıcaklıklarda dayanım, düşük yoğunluk, yüksek sertlik, aşınma direncine sahiptir [5]. Seramik kesici takımlar, diğer kesici takımlara göre daha sert ve dolayısıyla da daha kırılğan bir yapıya sahip olmalarından dolayı, sürekli olarak talaş kaldırma işlemlerinin olduğu yerlerde, sert metallerin işlenmesinde kullanılmaktadır.

Sert tornalama tekniği uygulanırken kullanılan kesme parametrelerinin belirlenmesi önemli bir noktadır. Uygun olmayan veya doğru olarak belirlenmeyen işlenebilirlik parametrelerinin işleme süresi ve maliyet yönünden olumsuz sonuçlar doğurmaktadır. Kesme parametreleri için seçilen kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesme derinliği

değerleri kesme kuvvetlerine etki etmektedir. Kesme kuvvetleri kesme sırasında oluşan ısıya ve ısıya bağlı takım aşınmasına, iş parçasının yüzeyinin tamlığına ve işleme sonrası ölçü toleranslarına etki etmektedir. Son yıllarda sert tornalama işlemlerinde kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğünü incelemek için farklı deneysel metotlar kullanılarak çalışmalar yapılmıştır. Sert tornalama tekniğinin uygulandığı çalışmalardan bazıları CBN ve PCBN kesici takımlarla gerçekleştirilmiştir [6–10]. Bu konuda yapılan diğer çalışmalarda seramik kesici ucun sert tornalama işlemlerindeki performansı değerlendirilmiştir.

Gaitonde et al. çalışmalarında 59-61 HRC sertliğindeki AISI D2 soğuk iş takım çeliğini seramik kesici uçlarla sert tormalamışlardır. Deneysel çalışmalarını full faktöriyel deney setini kullanarak yapmışlardır. Deneysel çalışmalarının sonucunda artan kesme derinliğinin, kesme kuvvetlerini arttırdığını belirtmişlerdir. Ayrıca düşük kesme derinliğinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde olumlu etkisi olduğunu belirtmişlerdir [11]. Elbah ve arkadaşları çalışmalarında ısıl işlem uygulanarak sertliği 60 HRC sertliğe çıkarılan AISI 4140 çeliğini sert tekniği kullanarak tormalamışlardır. Deneysel çalışmalarında kesici uç olarak seramik takım kullanmışlardır. Deney tasarımını Taguchi L₂₇ deney seti kullanarak yapmışlardır. Deneysel çalışmalarının sonucunda RSM ve ANOVA analizlerini yaparak ilerleme miktarı ve kesme derinliğinin yüzey pürüzlülüğünü en çok etkileyen kesme parametreleri olduğunu belirtmişlerdir [12]. Asiltürk ve Akkuş çalışmalarında Taguchi L₉ deney setini kullanarak 51 HRC sertliğe sahip AISI 4140 çeliğini seramik kesicilerle sert tormalamışlardır. İlerleme miktarının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki en etkili parametre olduğunu belirtmişlerdir. İlerleme-kesme miktarı ve kesme derinliği-kesme hızı parametre etkileşiminin yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkisi olduğunu belirtmişlerdir [13]. Lalwani et al. çalışmalarında sertliği 50 HRC olan sertleştirilmiş MND 250 çeliğini kaplamalı seramik takımla sert tormalamışlardır. Deneysel çalışmalarını yanıt yüzey metodu (RSM) kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Kesme parametreleri olarak kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesme derinliği seçilmiştir. Deneysel çalışmalarının sonucunda ilerleme miktarı ve kesme derinliğinin kesme kuvvetini etkileyen başlıca parametreler olduğunu bulmuşlardır. İlerleme miktarının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki en önemli ve etkili parametre olduğunu bulmuşlardır [14]. Finides ve arkadaşları yaptıkları çalışmalarında 50 HRC sertlikteki sıcak iş çeliğini X38CrMoV5-1 seramik kesici

takımlar kullanarak tornalamışlardır. İşleme parametreleri olarak ilerleme miktarı 0,08 ve 0,16 mm/dev, kesme derinliğini 0,15 ve 0,3 mm, kesme hızını 125 ve 250 m/dak olarak seçmişlerdir. Deneysel çalışmalarının sonucunda kesme derinliğininin radyal kuvveti daha fazla etkiliğini belirtmişlerdir. İlerleme miktarının yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en önemli parametre olduğunu belirtmişlerdir [15]. Meddour ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmalarında sertliği 59 HRC olan AISI 52100 çeliğini seramik kesici takımlar kullanarak sert tornalamışlardır. Deneysinde kesme hızı, kesme derinliği, ilerleme miktarı ve kesici uç yarıçapının işleme parametreleri olarak kullanılmışlardır. Deneysel çalışma sonucunda elde ettikleri verileri RSM ve ANOVA analiz tekniklerini kullanarak değerlendirmişlerdir. Çalışmalarının sonucunda kesme kuvvetlerinin en fazla kesme derinliğinden, çok düşük oranda da ilerleme miktarından etkilendiğini belirtmişlerdir. Düşük ilerleme miktarı ve büyük uç yarıçapının yüzey pürüzlülüğünün üzerinde olumlu etkileri olduğunu belirtmişlerdir [16]. Aouici ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmalarında sert tornalama tekniğini kullanarak kesme hızının, ilerleme miktarının ve kesme derinliğinin yüzey pürüzlüğü ve kesme kuvveti üzerindeki etkisini deneysel olarak araştırmışlardır. Kaplamalı seramik kesici takımlarla sertleştirilerek sertliği 60 HRC'ye çıkartılan AISI D3 soğuk iş takım çeliğini sert olarak tornalamışlardır. Deneysleri full faktöriyel deney tasarımı kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Deneyslerinin sonucunda kesme kuvvetini en fazla etkileyen işleme parametrelerinin ilerleme miktarı ve kesme derinliği olduğunu belirtmişlerdir. Optimum kesme parametrelerini belirlemek için RSM analiz tekniği kullanmışlardır. Optimizasyon işlemi sonucunda düşük kesme derinliğinin, yüksek kesme hızının ve ilerleme miktarının 0.12 ve 0.13 arasındaki işleme değerlerinin yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri için optimum işleme parametreleri olduklarını bulmuşlardır [17]. Azizi et al çalışmalarında AISI 52100 çeliğini kaplamalı seramik kesiciler ile sert tornalamışlardır. Deney tasarımını Taguchi L_{27} dikey dizinini kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Deney sonuçlarını ANOVA analizi ile doğrulamış ve de işleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetlerine etkilerini sayısal olarak belirlemişlerdir. İstatiksel analiz sonucunda ilerleme miktarı, iş parçası sertliği ve kesme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkin parametreler olduğunu bulmuşlardır. Kesme derinliği, iş parçası sertliği ve ilerleme miktarının kesme kuvvetine, kesme hızından daha fazla etki eden parametreler olduğunu belirtmişlerdir. Optimizasyon çalışması sonucu kesme hızının 170 m/dak, ilerleme miktarının 0.08 mm/dev, kesme

derinliğinin 0.1 mm ve parça sertliğinin 56.51 HRC seçildiği parametrelerin hem yzey pürüzlülüğü hem de kesme kuvveti için en ideal işleme şartları olduğunu belirtmişlerdir [18].

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde takım çeliklerinin sert tornalama tekniği kullanılarak işlenmesiyle elde edilen çıktılar üzerinde (ortalama yzey pürüzlülüğü ve kesme kuvveti) giriş parametrelerinin (kesme hızı, ilerleme miktarı, talaş derinliği, kesici uç yarıçapı vb.) etkilerinin araştırıldığı birçok çalışma yapıldığı görülmektedir. Literatürde Caldie soğuk iş takım çeliğinin seramik ve CBN kesiciler ile sert tornalanması ile ilgili eksiklikler olduğu görülmektedir. Yapılan bu deneysel çalışmada, maliyetleri azaltmak ve zamandan tasarruf etmek amacıyla Taguchi L₁₈ deney tasarımı kullanılarak işleme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Isıl işlem uygulanarak, sertliği 60 HRC sertliğe ıkarılan Caldie soğuk iş takım çeliği seramik ve CBN kesici uçlar kullanarak sert tornalanmıştır. İlerleme miktarı ve kesme hızının ortalama yzey pürüzlülüğü ve esas kesme kuvvetine etkileri araştırılmıştır. Ayrıca seramik ve CBN kesici uçlarda sert tornalama sonrası kesici uçta gerçekleşen aşınma mekanizmaları incelenmiştir.

BÖLÜM 3

TAKIM ÇELİKLERİ

3.1. TAKIM ÇELİKLERİNİN GENEL ÖZELLİKLERİ

Çelikler, belirli oranda karbon ihtiva eden demir-karbon alaşımı olarak tanımlanır. Çelikte karbon değeri yüzde birkaç seviyelerinden başlar ve % 2 gibi seviyeye kadar ulaşabilir ancak bazı durumlarda % 2 den fazla karbon içeren yüksek alaşımli çelikler, yüksek orandaki alaşım elementleri nedeni ile çelik olarak isimlendirilir. Kimyasal bileşimine göre çelikler “alaşimsız çelikler” ve “alaşımli çelikler” olmak üzere iki gruba ayrılır. Alaşımli çeliklerde, kendi içinde düşük ve yüksek alaşımli çelikler olmak üzere iki alt gruba ayrılmaktadırlar. Alaşım elementleri düşük alaşımli çeliklerde toplamda % 5 gibi bir seviyede olurken genellikle takım çelikleri ve paslanmaz çelikler gibi yüksek alaşımli çeliklerde bu değerin daha üzerinde olmaktadır [19].

Takım çelikleri, toplam çelik üretiminin küçük bir bölümünü oluşturmaktadır. Diğer çelik ürünlerinin ve mühendislik malzemelerinin üretiminde kullandıkları için önemli bir yere sahiptirler. Takım çelikleri sıcak ve ya soğuk haldeki iş parçasını kesme, dövme, delme, eğme, bükme, form verme, ekstrüzyon ve benzeri uygulamalarla şekil verilen takım ve kalıpların yapımında kullanılan çeliklerdir [19]. Takım çeliklerinden istenilen özelliklerden bazıları yüksek aşınma direnci, yüksek sertlik, yüksek tokluk, yüksek sıcaklık mukavemeti, yüksek işlenebilirlik, yüksek sertleşebilirlik ve homojen mikroyapıdır. Diğer sınıflardaki çeliklere göre daha ağır çalışma koşullarına kullanılan takım çeliklerinden, düşük veya yüksek sıcaklıklardaki kullanımları sırasında, yüksek hızlarda ve yüksek gerilmelerde deforme olmadan, kırılmadan ve aşınmadan sürekli aynı seviyede performansı göstermeleri istenmektedir. Takım çelikleri üstün özelliklerini krom, molibden, vanadyum ve volfram ve kobaltdan almaktadırlar. Bileşiminde mangan, nikel, ve silisyum yanı sıra

alüminyum, titanyum ve zirkonyum gibi tane küçültücü elementlerde bulunmaktadır [19]. Takım çelikleri metal veya metal olmayan malzemelerin talaşlı, talaşsız şekillendirmesinde kullanılır [20].

Takım çelikleri kolayca kesilebilme ve talaşlı işlemeden sonra iyi bir yüzey kalitesi elde edilebilme özelliğine sahiptirler. Takım çeliklerinin işlenebilirliğine etki eden faktörler, tavllanmış durumdaki sertlik, çeliğin mikroyapısı ve sert karbürlerin miktarları olmaktadır. Diğer alaşımlı çeliklerle kıyaslandığında, takım çeliklerinin işlenmesi önemli oranda daha zor olmaktadır [21].

Takım çeliklerinin işlenebilirliği artan karbür ve alaşım miktarıyla azalmaktadır. Çünkü karbon ve alaşım miktarları arttıkça düşük tavlama sertlikleri elde etmek zorlaşmaktadır. Karbonun vanadyum, krom ve molibden gibi kararlı karbür oluşturu elementleriyle birlikte varlığı, tavlamadan sonra çözelti dışında kalan çok sayıda sert karbür parçacıklarını oluşturması dolayısıyla işlenebilirliği azalttığı bilinmektedir [21].

3.1.1. Suda Sertleşebilen Takım Çelikleri

Suda sertleşebilen takım çelikleri, bazı yüksek karbonlu tipleri sertleşebilirliği ve aşınma dayanımını arttırmak amacıyla düşük miktarlarda krom ve vanadyum içermelerine rağmen genel olarak sade karbonlu (alaşımsız) çelikler olmaktadır. Karbon oranları %0,6 ila %1,4 arasında değişmektedir [21].

Suda sertleşen takım çelikleri düşük sertleşme kabiliyetine sahiptirler. Küçük boyutlu olmayan takımlarda, su verme sonrası yüzeyde yüksek ve iç kısımlarda düşük sertlik elde edilebilmektedir. Diğer takım çeliklerine göre talaşlı işlemeye daha uygun olan suda sertleşen takım çeliklerinin dekarbürizasyon dirençleri yüksektir [22].

3.1.2. Şok Dirençli Takım Çelikleri

Şok dirençli takım çelikleri tekrarlı darbelere dayanım kabiliyeti ve tokluğun önemli olduğu durumlar için geliştirilmiştir. Karbon yüzdeleri genellikle yüksek değildir. Asıl

alaşım elementleri silisyum, krom, tungsten ve molibden olmaktadır. İçerisindeki krom sertleşebilirliği arttırmakta ve aşınma dayanımı iyileştirmektedir. Siliyum, ferritin mukavemetini yükseltmektedir [22].

řok dirençli takım çeliklerinde çalışma koşullarının gerektirdiği sertlik değerine, darbe ve řok direncini dūřürmeden ulaşmak mümkün olabilmektedir. Yüksek sıcaklıklarda ve aşınmaya maruz kalınan uygulamalarda kullanılmaya elverişli olmamaktadırlar. Aynı zamanda bu çeliklerin talaşlı işlenebilirliği de iyi değildir. Tokluđu yüksek olan řok dirençli takım çelikleri, zımba ve kesici bıçak gibi darbeli yüklemelere maruz kalan kalıp ve takımların yapımında sıklıkla kullanılmaktadırlar [22].

3.1.3. Sıcak İş Takım elikleri

Oda sıcaklığında veya düşük sıcaklıklarda şekillendirilmeyen demir, elik ve diğer metallerin ısıtılarak şekillendirilmesi sıcak iş takım çeliklerine olan ihtiyacı doğurmuştur. Bu elikler soğuk iş takım çeliklerine göre daha düşük temper öncesi sertliğe sahip olmakla birlikte bu sertlik 600°C temper sıcaklıklarına kadar sabit kalır ve değişmez. Sıcak iş takım çeliklerine krom, molibden, tungsten, vanadyum, nikel ve kobalt elementlerinin uygun bir şekilde ilavesiyle elde edilebilir. Uygun bir elik seçimi, uygun talaşlı imalat, uygun ısıl işlem ve uygun kullanımının önemi en çok sıcak iş takım elikklerinde ortaya çıkmaktadır. Bu dört kademedен biri veya daha fazlasının eksik uygulanması durumunda kalıpta çatlama, kırılma, erken aşınma vs. kaçınılmaz olur [22].

3.1.4. Yüksek Hız Takım elikleri

Yüksek hız takım çelikleri sıklıkla diğer takımların işlenme ve talaşlı imalatında kullanılmaktadırlar. Yüksek hız çeliklerinin öncelikli kullanım alanları kesme takımlarının yapımı olmasına rağmen ekstrüzyon kalıplarında, sa işleme zımbaları ve kalıplarında kullanılmaktadırlar. Takım elikleri içinde en yüksek alaşımlı olan çeliklerdir. Genellikle büyük miktarlarda tungsten veya molibdenle birlikte krom, vanadyum ve kobalt içermektedirler. Bu elikler 400 °C-600 °C aralığında çalışmaya elverişlidirler. Yüksek hız takım çeliklerinin yüksek sıcaklıklarda

yumuşama direnci çok yüksek olmaktadır. Bu yüksek sıcaklıklardaki yumuşamaya karşı gösterdiği direnç yeteneği kırmızı sertlik olarak adlandırılmaktadır. Yüksek hız takım çeliklerinin aşınma ve şok dirençleri yüksek olmaktadır. Abrasiv aşınma direncinin önemli olduğu uygulamalarda içerisinde vanadyum ihtiva eden yüksek hız takım çelikleri tercih edilmesi tavsiye edilmektedir [22].

3.1.5. Kalıp Takım Çelikleri

Kalıp takım çelikleri esas alaşım elementi olarak krom ve nikel, yardımcı elementler olarak molibden ve alüminyum içerirler. Bu çeliklerin çoğu, takım çeliği kalitesinde üretilen alaşımli sementasyon çelikleri olmaktadır. Genellikle tavlı durumdaki çok düşük sertlikleri ve pekleşmemeleri ile bilinirler. Bu durumdan faydalanarak sert bir cismi bu malzemenin yüzeyine bastırarak istenilen kalıp boşluğu oluşturulabilir [21].

3.1.6. Özel Amaçlı Takım Çelikleri

Özel amaçlı takım çelikleri sınıfına giren çeliklerin bileşimi, suda sertleşen takım çelikleri ile aynı olmaktadır. Fakat özel amaçlı takım çeliklerinin bileşiminde aşınma direncini ve sertleşebilirliği artırıcı olarak belirli oranlarda krom, vanadyum, molibden ve nikel bulunmaktadır. Genellikle yağda su verilerek sertleştirilen takım çelikleri, yüksek aşınma direnci ve tokluğun istendiği kalıp ve makine parçası yapımında kullanılmaktadır [22].

3.1.7. Soğuk İş Takım Çelikleri

Soğuk iş takım çelikleri, takım çeliklerinin önemli bir sınıfını oluşturur ve diğer takım çeliklerine göre daha geniş bir kullanım alanına sahiptir. Soğuk iş takım çelikleri genel olarak 200°C altındaki sıcaklıklarda bulunan iş parçalarının, talaşlı ve talaşsız şekil verme işlemlerinde (kesme, form verme, sıvama, eğme, bükme vb.) kullanılan takım çelikleridir. İhtiva ettiği alaşım elementleri ve karbon oranlarına bağlı olarak yüksek sertlik, yüksek aşınma dayanımı, yeterli aşınma dayanımı ile birlikte yüksek tokluk, sertleşebilirlik ve ısıtılarda boyut kalıcılığı gibi özelliklerin kullanım amacına göre sağlanması mümkündür [22].

Soğuk iş takım çelikleri DIN 17350'ye göre alaşımsız soğuk iş takım çelikleri ve alaşımlı soğuk iş takım çelikleri olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır.

Alaşımsız soğuk iş takım çelikleri iş parçası dış yüzeyinin sıcaklığının 200 °C'yi aşmayacak uygulamalarda kullanılmaktadırlar. Bu malzemelerin sertlikleri 200 °C sıcaklığın üzerinde hızlı bir şekilde düşmektedirler. Alaşımlı soğuk iş takım çeliklerinin sertleşme kabiliyeti ve aşınma dirençleri bakımından alaşımsızlara göre üstünlükleri çok belirgin olabilmektedir. Sertleşme derinliği özellikle mangan, krom, molibden ve nikel gibi elementlerle arttırılmaktadır.

Soğuk iş takım çelikleri, kazıma bıçakları, kesme takımları, sütunlu ve yassı kesme tezgahları, kağıt ve plastik bıçakları, delme zımbaları, hassas delme, çekme takımları, derin çekme takımları, tel boru ve çubuk çekme takımları, talaşlı imalat takımları, destek parçaları ve tutucu kalıpları, kabartma takımları, kıvrırma ve ezme kalıpları, el aletleri, plastik işleme takımları, basınçlı hava takımları, germe kovanları, makine kovanları, sinter presleme takımları, soğuk ekstrüzyon takımları imalatında sıklıkla kullanılmaktadır [23].

Soğuk iş takım çeliklerinde kullanım alanına göre, aşınma dayanımı veya tokluk, yorulma direnci, işlenebilirliği ve boyutsal kararlılığı önem arz etmektedir. Sürekli aşınmaya maruz kalan ani darbenin olmadığı kalıp ve takımlarda, tokluk özelliğine bakılmadan yüksek sertliğe erişebilen çelikler tercih edilmelidir. Bu tür kalıplarda darbe olmadığından tokluğu düşük olabilmektedir. Ancak aşınmanın ve darbenin beraber olduğu kalıplarda, yüksek tokluğa sahip çelikler tercih edilmelidir [23].

Soğuk iş takım çelikleri sertleşme ortamına bağlı olarak yağda sertleştirme, havada sertleştirme, yüksek karbon olarak üç sınıfta incelenmektedir.

3.1.7.1. Yağda Sertleştirilmiş Soğuk İş Takım Çeliği

Yağda sertleştirilmiş soğuk iş takım çelikleri soğuk iş takım çelikleri arasında en fazla kullanım alanına sahip olan çeliklerdir. Bu çeliklerin özellikleri yüksek su verme sertliğini, düşük su verme sıcaklıklarında yüksek sertleşebilirliği, su verme sonrasında

girintili çıkıntılı kesitlerde çatlağın bulunmamasını ve kesme işlemleri için keskin uçların korunmasını içermektedir.

3.1.7.2. Havada Sertleştirilmiş Orta Alaşımli Soğuk İş Takım Çelikleri

Havada sertleştirilmiş orta alaşımli soğuk iş takım çelikleri yaklaşık olarak %1 karbon, %2 mangan, en fazla %5 krom ve %1 molibden içermektedirler. Bileşiminde mangan ve molibden gibi alaşım elementlerinin bulunması iş malzemesinin sertliğini arttırmaktadır. Bu nedenle havada sertleştirilmiş orta alaşımli soğuk iş takım çeliklerinin hepsi yüksek sertleşme kabiliyetine sahip olmaktadır. Havada su verme ile sertleşebilir ve ısıl işlemde boyutsal kararlılık gösterirler.

3.1.7.3. Yüksek Karbonlu Ve Yüksek Kromlu Soğuk İş Takım Çelikleri

Yüksek karbonlu ve yüksek kromlu soğuk iş takım çeliğini yüksek oranda karbon (%1.4-2.5) ve %12 düzeyinde kromdan oluşmaktadır. Ayrıca molibden, vanadyum, volfram ve kobalt gibi alaşım elementlerini de içermektedir. Bu sınıftaki çelikler molibden içerenler havada soğutma ile sertleşebilirken, molibden içermeyenler yağda su verilerek sertleştirilirler.

3.2. CALDIE SOĞUK İŞ TAKIM ÇELİĞİ

Caldie soğuk iş takım çeliği İsveçli takım çeliği üreticisi olan Uddeholm Tooling tarafından patentli olarak üretilen standart dışı soğuk iş takım çeliğidir. Uddeholm Caldie, aşağıda belirtilen özellikler ile karakterize edilen bir krom, molibden ve vanadyum alaşımli takım çeliği olmaktadır [24]. Aşağıda Caldie soğuk iş takım çeliğinin özellikleri sırasıyla belirtilmektedir.

- Ağız dökülmesi ve kırılmaya karşı dirençlidir
- İyi aşınma dayanımı gösterir
- Yüksek sertliğe sahiptir
- Çok iyi ısıl işlem özelliklerine sahiptir
- İyi işlenebilirlik kabiliyeti vardır

- Çok iyi parlatılabilirlik özelliğine sahiptir
- Erozyon uygulamaları ile işlenebilirliği iyidir
- Kaplamaya elverişlidir
- İyi kaynaklanabilirlik özelliği vardır

Caldie soğuk iş takım çeliği ağız dökülmesi ve kırılmanın çok sık görüldüğü uygulamalarda, oluşan eksikleri ortadan kaldırmak için kullanılmaktadır. Yüksek sertlikte kullanılmaya uygun olduğundan çok yüksek basma mukavemeti sağlamaktadır. Yüksek sertlikte, yüksek toklukta kullanılması Caldie soğuk iş takım çeliğini kesme, form verme, soğuk dövme, toz presleme ve özellikle yüksek mukavemetli saç uygulamalarında tercih edilmesini sağlamaktadır [25]. Çizelge 1’de Caldie soğuk iş takım çeliğine ait yüksek sertlikteki mekanik özellikleri verilmektedir.

Çizelge 3.1. Caldie soğuk iş takım çeliğinin mekanik özellikleri.

Sertlik (HRC)	Basma Dayanımı (MPa, N/mm²)
58	2230
60	2350
61	2430

BÖLÜM 4

TALAŞLI İMALAT VE İŞLENEBİLİRLİK

4.1. GİRİŞ

İmalatın hedefi, hammadde ile bitmiş ürün arasındaki dönüşümün sağlanmasıdır. Bu dönüşümün sürekli bir şekilde sağlanabilmesi için birçok üretim yöntemi kullanılmaktadır. Kullanılan bu yöntemler talaşlı ve talaşsız imalat olarak iki gruba ayrılmaktadır. Bu iki grup arasında kullanılan yöntem ve uygulamalar bakımından farklar vardır. Talaşlı imalat yöntemlerinde (frezeleme, taşlama, tornalama) hammadde ürün dönüşümü sırasında hammadde üzerinden talaş kaldırılması, talaşsız imalat yöntemlerinde (kaynak, döküm, dövme) ise hammadde üzerinden talaş kaldırmadan bu dönüşüm gerçekleştirilmektedir [26].

Makine parçalarının büyük çoğunluğu talaşlı imalat tekniği kullanılarak imal edildiğinden dolayı ekonomik faktörler üzerinde bu yöntem önemli bir etkiye sahip olmaktadır. Bu sebeple talaş kaldırmayı etkileyen faktörleri iyileştirmek aynı zamanda maliyetleri düşürmek anlamına gelmektedir. Talaş kaldırmayı etkileyen faktörler; kesici takım, işlenen malzeme, kesme parametreleri ve tezgah durumu gibi başlıklar altında incelenmektedir. Talaşlı imalatı etkileyen faktörler içerisinde, malzemeye göre kesici takım seçimi önem arz etmektedir. Malzeme için seçilen kesici takımın performansı yüksek olursa, takımla işlenen parça sayısı artar bu durum verimli bir üretim ortamının oluşmasını sağlar [27].

Talaşlı imalat işlemlerinde işleme parametrelerinin malzemeye uygun seçilmemesi durumunda kesicilerin kırılması, hızlı aşınması ve deformasyonu gibi istenmeyen olumsuzluklara sebep olabilmektedir. Bu durum, tezgahın bekle zamanının artmasına, iş parçasının ölçü tamlığını yitirmesine veya işin kalitesinin yeni bir işlem gerektirecek derecede yetersizliği gibi ekonomik kayıplara neden olacaktır [27].

Metal kesme işlemleri teknolojisi, talaşlı imalat ile ilgisi olan bütün endüstri dallarından yapılan katıklar ile sürekli olarak geliştirilmiştir. Karbon takım çeliklerinin yerine yüksek hız ve sementit karbür kesici takımlar kullanılarak kesme hızları önemli derecede geliştirilmiştir. Bu işlemler sonucu makine takım imalatçıları kesici takımdan en üst düzeyde fayda sağlayacak şekilde kesici takım tasarlamaya başlamışlardır. Bunun sonucu olarak otomatik makineler, bilgisayar kontrollü makineler kullanılarak işçilik maliyetleri azaltılmıştır. Takım tasarımcıları ve talaşlı imalat uzmanları kesici takım ömrünü ve kesme hızlarını arttırmak amacıyla kesici takım geometrilerini iyileştirmek için çalışmalar yapmaktadır. Aynı zamanda soğutma sıvısı üreticileri soğutma sıvıları ve yağlayıcıların özelliklerini iyileştirerek kesici takım ömrünü ve yüzey kalitesini artırmaya yönelik çalışmaktadırlar [27].

4.2. TALAŞLI İMALAT

Talaşlı imalat, üretim yöntemleri arasında çok önemli bir paya sahiptir. Talaşlı imalat işleminde iş parçasının istenilen ölçü ve boyutsal tamliğini sağlamak için üzerindeki fazlalıkların uygun takım tezgahları (matkap, torna, freze) ve kesici uçlar vasıtasıyla talaşlar şeklinde uzaklaştırılması, istenilen boyut ve yüzey kalitesinin sağlanması işlemidir. İşlenen malzeme metal olduğunda imalat metodu metal kesme ismini alır [28].

Talaşlı imalat bir grup sıralı operasyonel işlemlerden oluşmaktadır. Bu operasyonların ortak özellikleri kesici bir takım ile iş parçasından talaş kaldırmanın gerçekleştirilmesidir. Operasyonun uygulanması için takım ile iş arasında bağlı harekete ihtiyaç duyulmaktadır. Birçok talaş kaldırma operasyonunda kesme hızı olan birinci hareket ve ilerleme olarak adlandırılan ikinci hareket ile gerçekleşmektedir. Kesici takım ve iş parçasının yüzeyinden içeri girmesi (talaş derinliği) bağlı hareket ile birleşerek bitmiş iş parçasının istenilen geometrisini oluştururlar.

Talaşlı imalat yöntemleriyle çok çeşitli malzemeler şekillendirilebilir. Polimer ve polimer esaslı kompozitler de talaşlı imalat tekniği işlenebilmektedir. Talaşlı imalat operasyonlarıyla düz ve dairesel geometriler oluşturulabilmektedir. Talaşlı imalat işleminin birden fazla sırasıyla uygulanarak hemen hemen bütün karmaşık geometriler

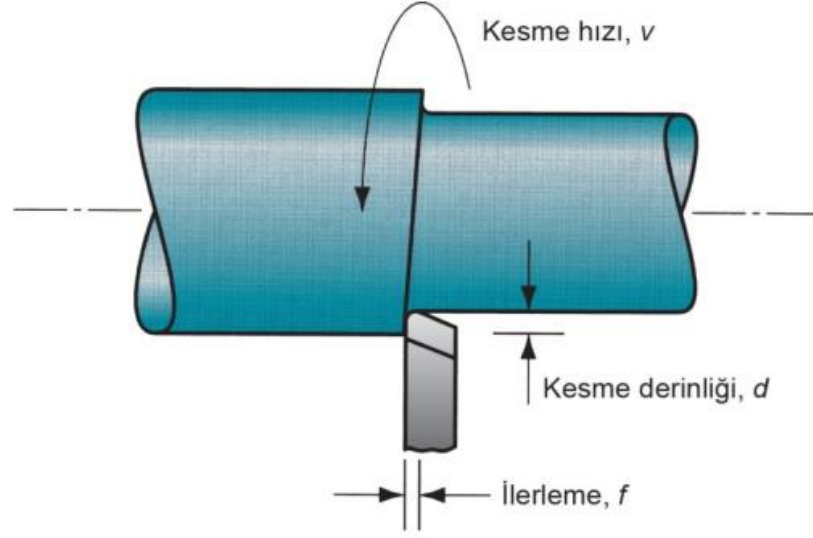
elde edilebilmektedir. Talaşlı imalat operasyonları kullanılarak işparçası ölçülerinde çok hassas toleranslar elde edilebilir ve çok iyi yüzey kalitesi oluşturulabilir.

Talaşlı imalat metodlarında üç temel kavram mevcuttur. Bunlar kesme hızı, ilerleme miktarı ve talaş derinliği olmaktadır. Kesme hızı (V), kesilmemiş iş parçası yüzeyindeki bir noktanın kesicinin önünde birim zamanda aldığı yol olarak tanımlanmaktadır ve sıklıkla m/dak olarak ifade edilmektedir. İlerleme miktarı (f), iş parçası malzemesinin her bir dönüşünde kesici takımın iş parçası eksenine paralel olarak kat ettiği mesafe olup birimi mm/dev olarak ifade edilmektedir. Talaş derinliği (a), iş parçası malzemesinden kaldırılan malzeme derinliği olarak ifade edilmektedir. İş parçası eksenine dik yönde ölçülür .

4.2.1. Tornalama

Tek uçlu bir takım kullanılarak, silindirik parçalar imal eden, çoğunlukla döner bir iş parçası ve sabit bir kesici takımın kullanıldığı bir tekniktir. En yaygın kullanım alanına sahip, geliştirilebilir, uygulamalarda parametrelerin büyük bir dikkatle belirlenmesini gerektiren, optimize edilmiş bir tekniktir [29].

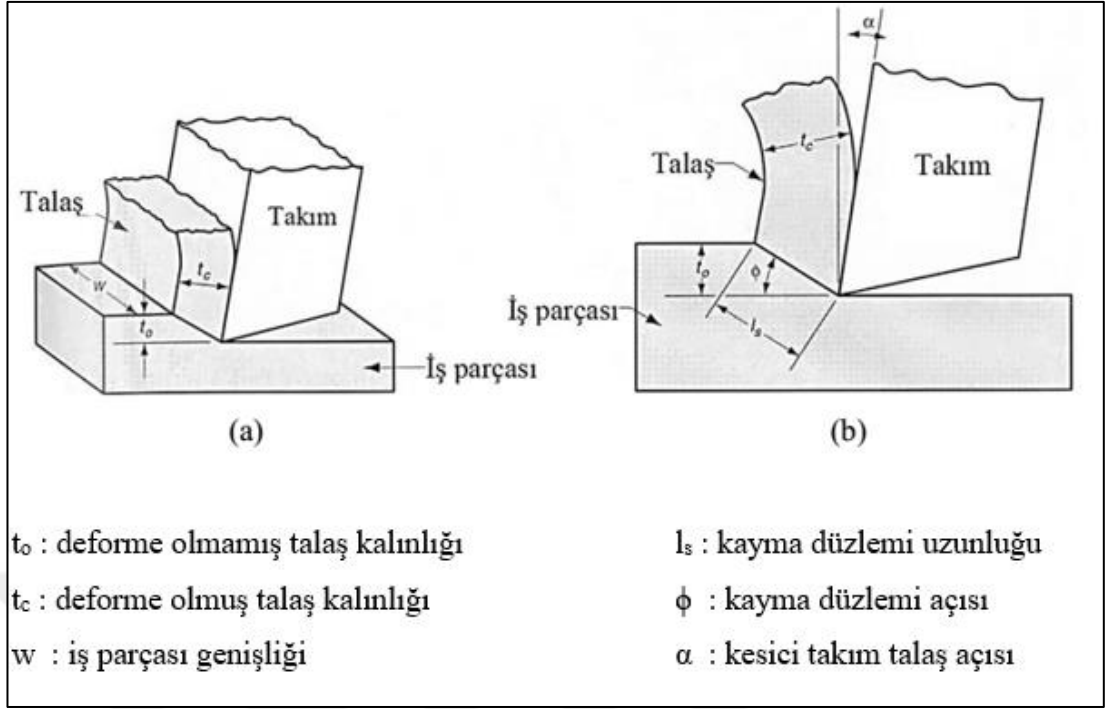
Talaş kaldırma operasyonun gerçekleşmesi için kesme takımı ile iş parçası arasında bağıl hareketin oluşması gerekmektedir (Şekil 4.1). Birincil hareket kesme hızı olmaktadır. Bir torna tezgahında iş parçası dev/dak cinsinden belirli bir ana mil hızı (n) ile döner. Bu dönme hızı iş parçasının işlendiği noktada, işlenen çapa bağlı olarak, bir kesme hızının veya çevresel hızın (V_c -m/dak) ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bu duruma ek olarak, takım iş parçası üzerinde yana doğru hareket etmelidir. Bu hareket ilerleme (f) denir. İlerleme hızı (V_f -m/dak), takımın çeşitli yönlerde hareketinde dakika ilerleme miktarıdır. Devir başına ilerleme (f -mm/dev) ise takımın iş parçasının bir devrinde yaptığı ilerleme olarak ifade edilmektedir. Kesme derinliği her zaman kesici kenara değil, takımın ilerleme yönüne dik açı yapacak şekilde ölçülür. Hız, ilerleme ve kesme derinliği toplu olarak kesme parametreleri olarak ifade edilmektedir [30].



Şekil 4.1. Tornalama işlemi için kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği [31].

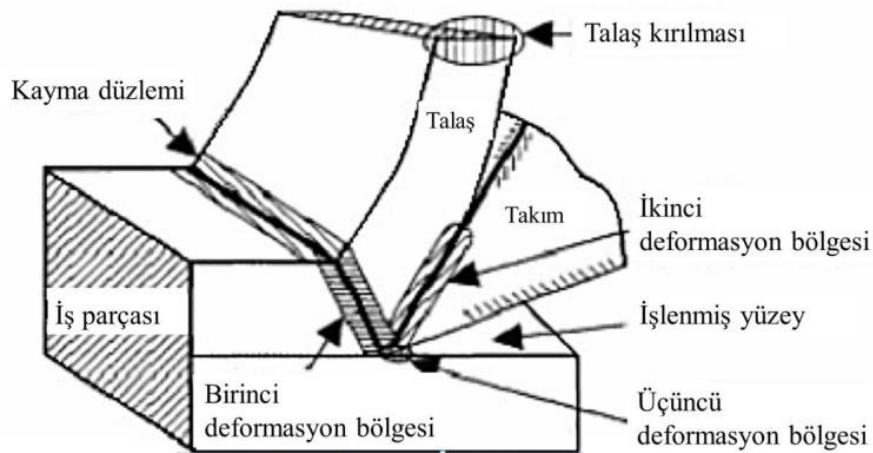
4.2.1.1. Talaş Kaldırma Mekanikliği

Talaş kaldırma tekniği, elastik, plastik ve şekil değiştirmeye dayanan sürtünme, ısı oluşumu, talaşın kırılması ve büzülmesi, işlenen malzemenin yüzeyinin sertleşmesi, takımın aşınması gibi olayların gerçekleştiği karmaşık fiziksel süreçtir. Bir malzemenin üzerinden belirli bir malzeme tabakasının kaldırılması için, takımın o malzemeye öncelikle temas etmesi gerekmektedir. Bu durum, takıma etki eden kuvvetlerin yeterli ve kesici malzemesinin iş parçasından daha sert olması durumunda gerçekleştirilmektedir [29]. Talaşlı üretim işlemleri gerçekte üç boyutlu ve karmaşık olduğundan bu işlemin mekaniğinin tanımlanmasında iki boyutlu dik kesme metodu kullanılması tercih edilmektedir (Şekil 4.2). Dik kesme modeline göre, kesici takımın iş parçasına temas ettiği noktada önce elastik sonra plastik şekil değişimi meydana gelmektedir. Kesme parametreleri ve kesici takım geometrisine bağlı olarak farklı açılarda kayma düzlemi oluşmaktadır. Daha sonra iş parçasını oluşturan tanelerin, elastikiyet modülüne bağlı olarak, taneler arası yer değiştirmesi ve kayma gerilmesinin aşılmasıyla talaş oluşumu gerçekleşir [32].



Şekil 4.2. Dik kesme modeli a) İzometrik görünüş b) Önden görünüş [32].

Talaşın malzemeden uzaklaşması mekanik bir kopma olayıdır. Gerçekleşen kopma kesme şeklinde oluşmaktadır. Genellikle kopma sünek ve gevrek olarak iki grupta incelenmektedir. Sünek kopma durumunda, kopma öncesi talaşta çok fazla plastik şekil değişimleri görülmektedir. Gevrek kopmada ise, kopmadan önce talaşta çok az plastik şekil değiştirmeleri oluşur. Dik kesme işlemi sırasında oluşan işleme sürecinde üç deformasyon bölgesi oluşmaktadır. Şekil 4.3'te bu bölgeler gösterilmektedir [32].



Şekil 4.3. Plastik deformasyon bölgeleri [32].

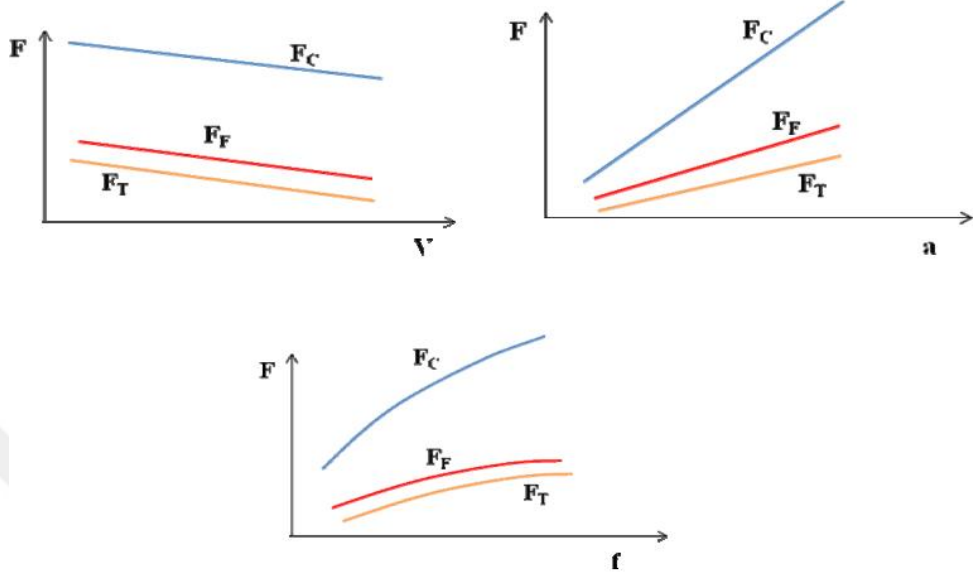
Birinci deformasyon bölgesi, iş parçasının kesici takım önündeki hareketiyle oluşan ve kayma düzleminde meydana gelen bölgedir. İş malzemesi ve kesici takım arasındaki bağıl hareket sonucu iş malzemesinde oluşan gerilme, iş malzemesini birinci deformasyon bölgesinde plastik deformasyona uğramasını sağlayarak talaş oluşumu gerçekleştirmektedir [30].

Üçüncü deformasyon bölgesinde, işlenen yüzey ile kesici takım yan yüzeyinin teması sonucunda oluşan sürtünmenin etkisiyle meydana gelen bölgedir. Bu bölge, yüzey pürüzlülüğünün olduğu ve işlenen yüzey üzerinde yüzey kalitesinin etkilendiği bölgedir. Birinci deformasyon bölgesindeki kayma düzleminde oluşmaya başlayan talaş, kesici takımın talaş yüzeyi üzerinde geçerken kayma veya yapışma sonucu ikinci defa deformasyona uğrar. Bu bölgeye, ikinci deformasyon bölgesi adı verilir. Böylece talaş kesme bölgesinden atılır. İkinci deformasyon bölgesinin kalınlığı gerilme, gerinim ve sıcaklıktan çok fazla etkilenmektedir. Bu nedenle ikinci deformasyon bölgesi, en fazla kayma gerilmesi ve kayma gerinim oranı ve talaştaki sıcaklığın en yüksek olduğu yer olarak ifade edilmektedir [30].

4.2.2. Talaş Oluşumuna Etki Eden Faktörler

Malzeme üzerinden talaş kaldırmak için kesici takımın iş parçası malzemesinden daha sert olması gerekmektedir. Kesicinin belirli bir kesme geometrisine sahip olması uygun kesme parametreleri ile iş parçasına belirli bir yük uygulamasını gerektirmektedir. İş parçası üzerine uygulanan yük, ilerleme yönünde malzemeyi deforme etmeye çalışmaktadır. İş parçası belirli bir bölgeye kadar deforme olduktan sonra bünyesinden malzeme ayrılacaktır. Ayrılan bu malzeme talaş olarak isimlendirilir. Talaş kaldırma esnasında kullanılan kesme parametreleri talaş oluşumunu doğrudan etkilemektedir. Talaş kaldırma işleminde en etkin olan üç kesme parametresinin (kesme hızı, ilerleme miktarı ve talaş derinliği) kesme kuvvetleri üzerindeki etkisi Şekil 4.4'te gösterilmektedir. Şekil 4.4'te görüldüğü gibi kesme esnasında meydana gelen her üç kuvvetten büyük olanı esas kesme kuvvetidir. Artan kesme hızına bağlı olarak iş malzemesi birinci deformasyon bölgesinde daha hızlı bir deformasyona maruz kalmaktadır. Bu duruma bağlı olarak şekil değiştirme hızı artacaktır. Bu da kesme sıcaklığının artmasını sağlar. Artan kesme sıcaklığı ise

malzemenin daha kolay kesilmesine katkıda bulunur. Bu durum kesme kuvvetlerinin düşmesine neden olur.

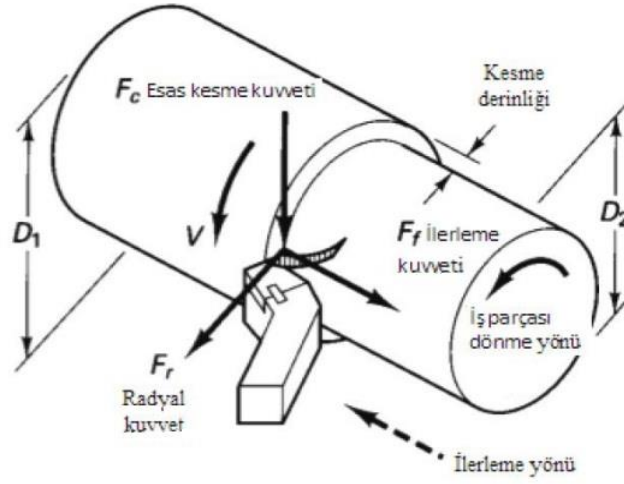


Şekil 4.4. Kesme parametrelerinin kesme kuvvetleri üzerine etkisi.

Artan ilerleme miktarı değeri birim zamanda kaldırılan talaş hacminin artmasına neden olacağı için her üç kuvvetin de artmasına neden olur. Artan talaş derinliği de kaldırılan talaş kesitinin artmasına neden olur. Bu durum kesme kuvvetlerinin artmasına neden olur.

4.3. TALAŞLI İMALAT İŞLEMİNDE KESME KUVVETLERİ

Kesme hareketinin oluşması için takım tarafından iş parçasına uygulanan bileşke kuvvet F_R , genellikle deneysel çalışma ile ölçülen ve biri kesme yönünde (esas kesme kuvveti olarak bilinen F_c), diğeri ise kesme yönüne dik durumdaki (radyal ve ilerleme kuvveti olarak bilinen F_r , F_f) iki bileşen kullanılarak hesaplanmaktadır [68]. Tornalama işlemi sırasında oluşan kuvvetler, Şekil 4.5'te şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 4.5. Tornalama işleminde kesme kuvvetleri [65].

Bileşke kesme kuvveti F_c , F_f ve F_r kuvvetlerinin vektörel toplanması ile elde edilmekte ve Eşitlik 4.1 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$F_R: \sqrt{F_c^2 + F_f^2 + F_r^2} \quad (4.1)$$

4.4. KESİCİ TAKIM GEOMETRİSİ

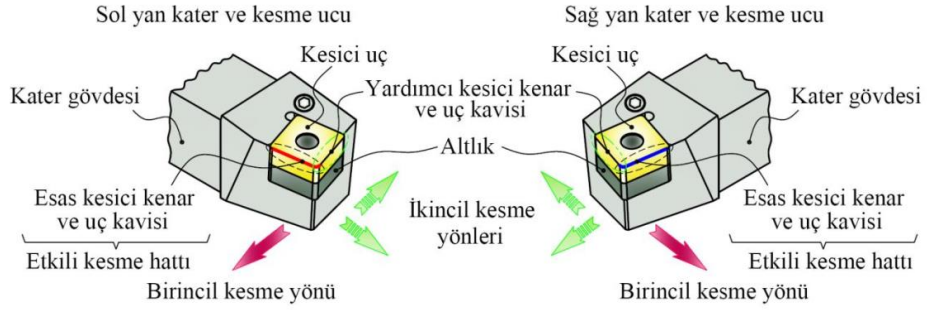
Kesici takım geometrisi, talaşlı imalat operasyonlarında kullanılan en önemli unsurlardan birisidir. Bunun nedeni, kesici takım geometrisinin aşağıda maddeler halinde belirtilen talaşlı imalat ile ilgili terimlere, doğrudan etkisi gösterilebilir.

- **Talaş akış ve form kontrolü:** Kesici takım geometrisi talaşın akış doğrultuna etki eder. Bu durum özellikle ısının talaşla atılması, kesme kuvvetlerinin azalması ve yüzey kalitesi üzerindeki olumsuzlukların azaltılması bakımından önemlidir.
- **İşleme verimliliği:** Kesme işleminin verimliliği, birim zamanda kaldırılan toplam talaşın veya bir iş parçasının, ne kadar maliyetle üretildiği ile ilgilidir. Birim zamanda talaş kaldırma miktarını en çok etkileyen parametreler, ilerleme miktarı (f), kesme derinliği (a) ve kesme hızı (V)/devir sayısı (n) dir.

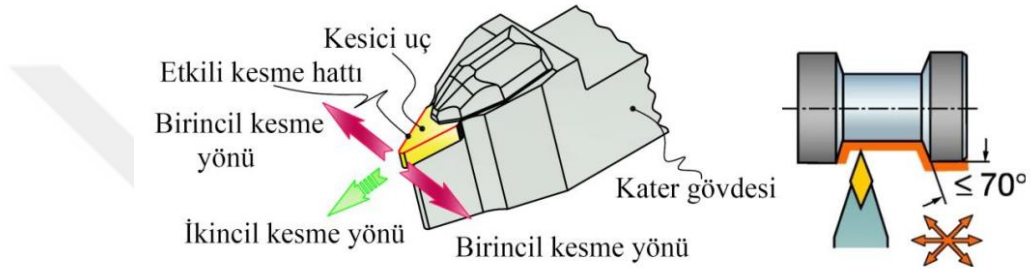
- **Takım ömrü:** Kesme kuvveti (F) ve dik bileşenlerinin (F_c , F_f , F_r) büyüklüğünde, kesici kesme hattının keskinliği, geometrisini oluşturan açılar, kesicinin yüzey bütünlüğü etkilidir. Bu kuvvetler kesici takım ömrünü, büyüklükleri ve kesme işlemi esnasında ısı oluşumunu arttırmaları nedeniyle olumsuz etkilemektedirler.
- **Kesme kuvveti:** Takım geometrisini oluşturan bileşenler (talaş açısı, kesici kenar yanaşma açısı, kama açısı, uç açısı, uç kavisi, vd.) kesme kuvveti büyüklüğü ve doğrultusuna etki ederler.
- **İş parçası kalitesi:** İşleme sonrası elde edilen kalitesi göstergeleri (yüzey bütünlüğü, kalıntı gerilmeler) kesici takım geometrisinden etkilenmektedir. Örnek olarak takım uç yarıçapı büyüdükçe ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri iyileşmektedir.

Talaşlı imalat işleminde, uygun bir şekilde kesme işleminin gerçekleşebilmesi için kesici takım uygun geometriye sahip olması istenmektedir. Çeşitli talaşlı imalat işlemleri için kesici takım geometrileri de farklılık göstermektedir. Kesici takımlar aynı anda tek kesme ağız geometrisi ile işleme yapan ve birden fazla kesme ağız geometrisi ile aynı anda veya ardışık kesme işlemini gerçekleştiren kesici takımlar olmak üzere genelde iki kategoriye ayrılmaktadırlar [31].

Tornalama işleminde genelde tek kesme ağızlı kesici takımlar kullanılmaktadır. Bu kesici takımlar, esas kesici kenarının yönüne bağlı; sağ yan, sol yan ve nötr kesici takım olarak adlandırılırlar. Esas kesici kenara bağlı olarak kesici takım, birincil ve ikincil kesme yönlerinde kullanılabilir. Fakat kesici takımın üretim amacına uygun kesme yönü, birincil kesme yönüdür. Şekil 4.6'da sağ yan ve sol yan, Şekil 4.7.'de de nötr kesici takımın kesme yönleri görülmektedir.



Şekil 4.6. Sağ ve sol yan kesici takım ve kesme uçları.



Şekil 4.7. Nötr kesici takım ve kesme yönleri.

4.5. KESİCİ TAKIM MALZEMELERİ

Talaşlı üretim sırasında oluşan yüksek sıcaklıklar ve gerilmeler sebebiyle kesici takımların etkili bir şekilde uzun süre kesme işlemi yapabilmesini yapabilmesi için kesici takım malzemelerinin aşağıda belirtilen özelliklere sahip olmaları istenmektedir [33].

- Yüksek sertlik ve sıcak sertliğe,
- Yüksek tokluğa,
- İş parçası ile kimyasal tepkime oluşturmamasına,
- Oksidasyon ve kimyasal olarak çözünmeye karşı kararlılığa,
- Isıl şoklara karşı dirence,

Talaşlı imalat yöntemlerinde kullanılan kesici takım malzemelerinden, endüstriyel anlamda günümüz imalat sektörlerinde yararlanılanlar aşağıda verilmiştir.

4.5.1. Yüksek Hız Çeliği

Yüksek hız çeliği, karbon ve düşük alaşımlı çeliklere nispeten yüksek sıcaklıklarda sertliğini koruyabilme özelliğine sahiptir. Yüksek hız çelikleri yüksek alaşımlı bir takım çeliği olup yaygın kullanıma sahip kesici malzemeleridir. Matkap, freze çakıları, kılavuz ve tığlar gibi karmaşık geometriye sahip kesicilerin imalatında kullanılmaktadır [34].

Yüksek hız çeliği kesici takımlar, sementit karbür ve seramik gibi daha sert kesici takımlardan daha iyi tokluk özellikleri gösterirler. Taşlama operasyonu ile istenilen geometriye kolayca getirilebildikleri için, üreticiler tarafından tek noktadan kesme işlemi yapan kesici takım olarak kullanılmaktadırlar. Yüksek hız çeliği takımlar, özellikle matkaplar, kesme performanslarının artırılması için TiN ile kaplanarak sıklıkla kullanılırlar [33].

4.5.2. Sementit Karbür

Sementit karbür kesici takımlar ilk olarak tungsten karbür (WC) ve kobalt (Co) parçacıklarından toz metalurjisi tekniği kullanılarak üretilmişlerdir. Sert WC parçacıklarından dolayı dökme demir ve çelik dışı metallerin işlenmesinde yüksek hız çeliğinden daha yüksek kesme hızlarında etkin bir şekilde kullanılmıştır [33].

4.5.3. Kaplamalı Sementit Karbür

Sementit karbürlerin aşınmaya dirençli TiC, TiN ve/veya Al₂O₃ gibi malzemelerle kaplanması kesici takım alanındaki en önemli gelişmelerden biri olarak kabul edilmektedir. Kimyasal veya fiziksel buhar çökeltme yöntemleriyle sementit karbür altlık üzerine birkaç mikron kalınlığında tek veya çoklu katman olarak kaplanan bu malzemeler, sementit karbür kesici takımın performansını önemli ölçüde arttırdığı bilinmektedir [33].

4.5.4. Sermet

Sermet kelimesi, seramik ve metal kelimelerinden türetilmiş olup sementit karbürlerin ortak ifadesidir. Sermet kesici takımlarda sert parçacıklar WC'ün yanı sıra TiC, TiCN ve/veya TiN esaslı seramik parçacıklardan oluşurken, birleştirici faz da Ni ve/veya Mo'den oluşmaktadır. Sermet kesiciler sementit karbür gibi toz metalurjisi, tekniği kullanılarak üretilirler. Çelik, paslanmaz çelik ve dökme demirin bitirme ve yarı bitirme işlemlerinde yüksek kesme hızlarında tercih edilirler.

Çeliklerin talaşlı imalatında kullanılan sementit karbür kesici takımlardan çoğunlukla daha yüksek hızlarda kullanılırlar. Düşük ilerleme hızları kullanılarak iyi bir yüzey elde edilerek genellikle taşlama işlemini ortadan kaldırırlar [35].

4.5.5. Seramik

Seramik kesici takımlar esas olarak alüminyum oksit (Al_2O_3) ve silisyum nitrür (Si_3N_4) olmak üzere iki gruba ayrılmaktadırlar. Sementit karbür kesici takımlarla kıyaslandıklarında yüksek sertlik ve sıcak sertlik, yüksek aşınma ve plastik deformasyon direnci ve iyi kimyasal kararlılık özelliklerine sahip olmakla birlikte düşük ısıl şok direnci ve kırılma tokluğu özelliğine sahiptirler. Al_2O_3 seramik kesici takımlar dökme demir ve çelik dökümün yüksek hızlarda işlenmesinde başarıyla kullanılabilirler. Rijit olarak bağlama gerçekleştirildiğinde, sertleştirilmiş çeliklerin bitirme işlemleri yüksek hız, düşük ilerleme miktarı ve düşük talaş derinliği kullanılarak uygulanırlar.

Üretim ve sinterlemedeki iyileştirmelerle ve tokluklarını artırıcı çeşitli elementlerin katılmasıyla seramik kesici takımlar daha iyi dayanım, ısıl şok direnci ve kırılma tokluğu gibi özellikler kazandırılmıştır böylece uygulama alanları genişlemiştir [26].

4.5.6. Çok Sert Kesici Takımlar

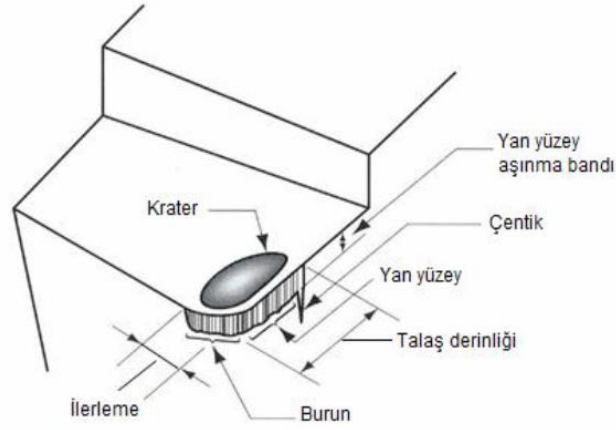
Doğal elmas (tek kristalli), çok kristalli elmas (PCD) ve kübik bor nitrür (CBN) çok sert kesici takımlar grubuna giren malzemelerdir. Doğada bilinen en sert malzeme doğal elmadır. Sementit karbür veya Al_2O_3 'ten yaklaşık olarak 3-4 kat daha sert olmaktadır. Yüksek sertliği, mükemmel aşınma direnci, düşük sürtünme katsayısı, düşük genleşme katsayısı ve ısıl şok direncini artıran yüksek iletkenliği ve iyi uç keskinliği tek kristalli elması takım malzemesi olarak kullanım alanlarını genişletmiştir. Elmas kesici takımlar yüksek sertliklerinden dolayı karbür ve seramik kesici takımlardan, aşınma direnci abrasiv aşınma mekanizmasının hakim olduğu yerlerde çok daha iyidir [33].

Yapay elmas üretiminde kullanılan aynı teknoloji ile hekzagonal bor nitrürden CBN üretimi gerçekleştirilmiştir. 3500–4500 VSD sertliği ile elmastan sonra sertlikte ikinci sırada yer alır. 1100 °C sıcaklıkta sertliği 1800–2000 VSD olup sementit karbürün oda sıcaklığındaki sertliğine karşılık gelir. Çok iyi aşınma direnci, iyi ısıl iletkenlik, düşük sürtünme ve ısıl genleşme katsayıları diğer özellikleridir [33].

4.6. TAKIM AŞINMASI

4.6.1. Aşınma

Aşınma, kesici takımda malzeme kaybıyla gerçekleşen ve ilk formuna göre oluşan farklılıktır. Bütün kesici takımlar, talaş kaldırma sırasında ömürlerin sonuna kadar aşınırlar. Talaş kaldırma işlemleri esnasında, kesici takımların, belli bir süre çalıştıktan sonra kesme işlemini gerçekleştiren yüzey veya kenarlarında meydana gelen malzeme kaybından dolayı kesme yetenekleri azalır veya ortadan kalkabilir. Kesme sırasında etkili olan büyük kuvvetler, titreşim ve vuruntular, yüksek ısı, sürtünme ve gerilemeler sonucunda takım ucunda aşınma veya kırılma gibi geometrik değişiklikler meydana gelir ve kesici takım plastik deformasyon uğrar [26]. Şekil 4.8'de takımda meydana gelen aşınmalar gösterilmektedir. Kesici takım; kırılma, plastik deformasyon ve tedrici takım aşınması sonucunda kesme kabiliyetini kaybeder.



Şekil 4.8. Takımda meydana gelen aşınma türleri [36].

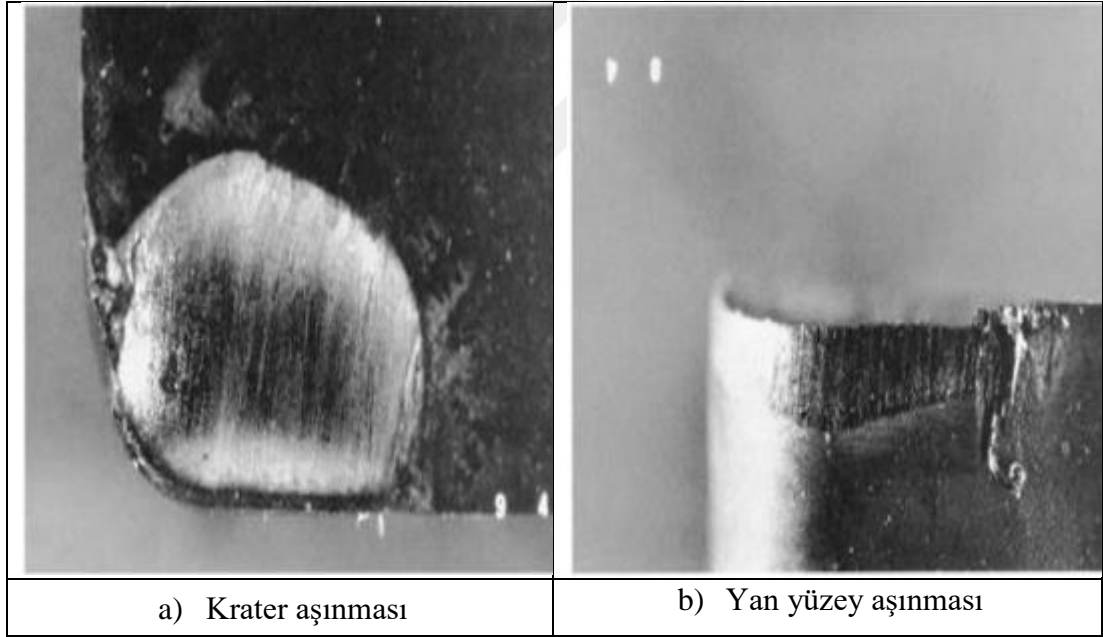
Talaş kaldırma işlemi esnasında kesici takımın aşınmasını anlayabilmek için aşağıda bahsedilen durumlardan biri veya birkaçının gözlemlenmesi gerekmektedir [26].

- Kesme kuvvetlerinin oldukça fazla yükselmesi
- Sıcaklığın artması
- Titreşimin aşırı artması
- Aşırı gürültü artışı olması
- İşlenen malzeme boyutlarında değişimin olması
- İşlenen yüzeyin bozulması

Kırılma: Kesici takıma gelen anlık yüksek kuvvetler sebebiyle oluşan kırılmalar veya sürekli olmayan kesme işlemi (frezeleme işlemi gibi) sırasında mekanik ve ısıl yorulmalar sonucu kırık oluşumundan dolayı kesici takımda kırılma ve pullanma soyulma şeklinde gerçekleşen aşınma durumudur.

Plastik deformasyon: Kesici takımda plastik deformasyon, yüksek basınç ve sıcaklığın sonucu oluşmaktadır. Plastik deformasyona uğramış kesici takım geometrisi değiştiği için kesme işlemi etkin bir şekilde yapamaz, sıcaklık artar ve talaş akışında değişiklik olur. Plastik deformasyon direnç için kesici takımın sıcak sertlik özelliğinin iyi olması istenmektedir. Bununla beraber, uç yarıçapı ve kesme geometrisi iyileştirilerek plastik deformasyon direnci artırılabilir.

Tedrici takım aşınması: Kesici takım üzerinde tedrici aşınma talaş yüzeyi ve yan yüzey olmak üzere iki bölgede görülmektedir. Talaş yüzeyindek aşınma krater aşınması ve yan yüzeydeki aşınma da yan yüzey aşınması olarak bilinmektedir. Krater aşınması, kesici takım talaş yüzeyinde talaşın hareketiyle oluşan içbükey alandır. Krater aşınmasının büyüklüğü bu alanın derinliği ve alanı ölçülerek belirlenmektedir. Yan yüzey aşınması ise yeni oluşan iş parçası ile kesici takım yan yüzeyinin sürtünmesiyle oluşmaktadır. Yan yüzey aşınması bu aşınma bandının genişliği ile ölçülmektedir. Şekil 4.9'da kesici takım aşınmaları gösterilmektedir. Kesici takımın iş malzemesi ana yüzeyi ile temasta olan yan yüzeyinde çoğunlukla daha fazla aşınma olur. Çentik aşınması olarak isimlendirilen bu aşınmanın nedeni iş malzemesinin yüzeyinin soğuk haddeleme veya daha önceki operasyonlardan dolayı sertleşmiş olması, dökümden kalan sert malzemeler ve diğer nedenler olmaktadır.



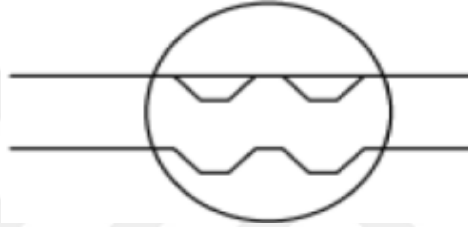
Şekil 4.9. Aşınma türleri.

Talaş kaldırma sırasında kesici kenar üzerindeki etkili olan yük faktörlerinin bir sonucu olarak, bazı temel aşınma mekanizmaları metalden talaş kaldırma işlemine etki etmektedir. Bu mekanizmalar; abrasyon aşınması, difüzyon aşınması, oksidasyon aşınması, yorulma ile aşınma ve yapışma ile aşınma olarak özetlenebilir [28].

4.6.2. Takım Aşınma Türleri

4.6.2.1. Adhezyon (Yapışma) Aşınması

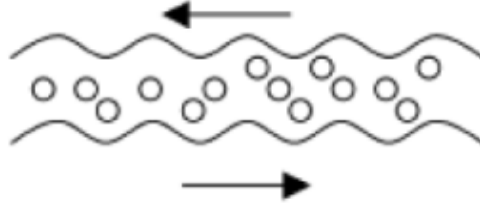
Kesici takım kenarları üzerinde meydana gelen yapışma aşınması, kesici takım ve iş parçasının temas noktalarında oluşan mikrokaynakların, kesicinin hareketi nedeniyle kırılmasının bir sonucu olarak oluşmaktadır. Mikrokaynaklar, takım ve iş parçasının temas bölgelerinde oluşan yüksek basınçlar ve sıcaklıklar nedeni ile metallerin akma sınırına gelmesi nedeniyle oluşmaktadır [37]. Adhezyon aşınmasında kesme sırasında oluşan talaşın veya küçük parçacıkların, kesme takımına yapışmasına da neden olmaktadır. Şekil 4.10'da adhezyon aşınmasının meydana gelişi gösterilmektedir [38].



Şekil 4.10. Adhezyon aşınması.

4.6.2.2. Abrasyon (Sürtünme) Aşınması

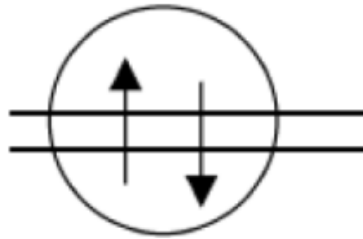
Sürtünme aşınması diğer bir tabirle abrasyon aşınması, talaş altındaki sert parçacıkların takım yüzeyi ve iş parçası arasında taşlamaya neden olarak kesici de oluşturduğu aşınma veya iki yumuşak yüzey arasına sert parçacıkların girmesi ile sürtünmeden dolayı oluşan aşınma tipidir (Şekil 4.11). Abrasyon aşınmasına sebep olan sert parçacıklar iş parçasında bulunmaktadır ve kesme işleminde talaşla birlikte takım yüzeyinde etkili olurlar. Abrasiv aşınma, çoğu zaman takım ömrünü kriteri olarak kullanılan serbest yüzey aşınmasının, çentik aşınmasının ve burun yarıçapı aşınmasının bir kaynağı olarak gerçekleşmektedir [38].



Şekil 4.11. Abrazyon (sürtünme) aşınması.

4.6.2.3. Difüzyon Aşınması

İşleme sırasında, takım ve iş parçasının birbirine temas eden yüzeylerinin, işleme sırasında oluşan sıcaklık ve basıncın etkisi sonucu kimyasal reaksiyonla birbirini aşındırması ile difüzyon aşınma mekanizması oluşmaktadır. İşleme sırasındaki yüksek sıcaklıklardan ve basınçtan dolayı, takım ve iş parçası malzemesinin atomları karşılıklı olarak birbirleri üzerine nüfuz ederler (Şekil 4.12) veya talaş malzemesiyle katı bir çözelti oluşturur. Bu işlem, iki malzeme arasında ara yüzeyde ya iş parçasının atomlarının difüzyona uğraması ya da takımın yüzey katmanıyla reaksiyon bölgesinde meydana gelerek takım yüzeyini zayıflatır ve takımın talaş talaş yüzeyinde krater aşınması oluşturmaktadır. Difüzyon aşınma hızı, takım malzemesinin iş malzemesi içinde çözülme kabiliyetine ve yüksek sıcaklıkta takım ile talaş arasındaki temas süresine bağlı olmaktadır. Difüzyon aşınma hızı, kesme hızına bağlı olarak artan kesme sıcaklığının, üssü olarak artar [38].



Şekil 4.12. Difüzyon aşınması.

4.6.2.4. Oksidasyon Aşınması

Takım bileşenlerinin atmosferdeki oksijenle reaksiyona girmesi ile takım yüzeyinde oksit tabakası oluşur. Oluşan oksit tabakası, kesme işlemi sırasında kopar ve takımda aşınmalara sebep olur. Takım bozukluk durumunun oluşmasına neden olan bu

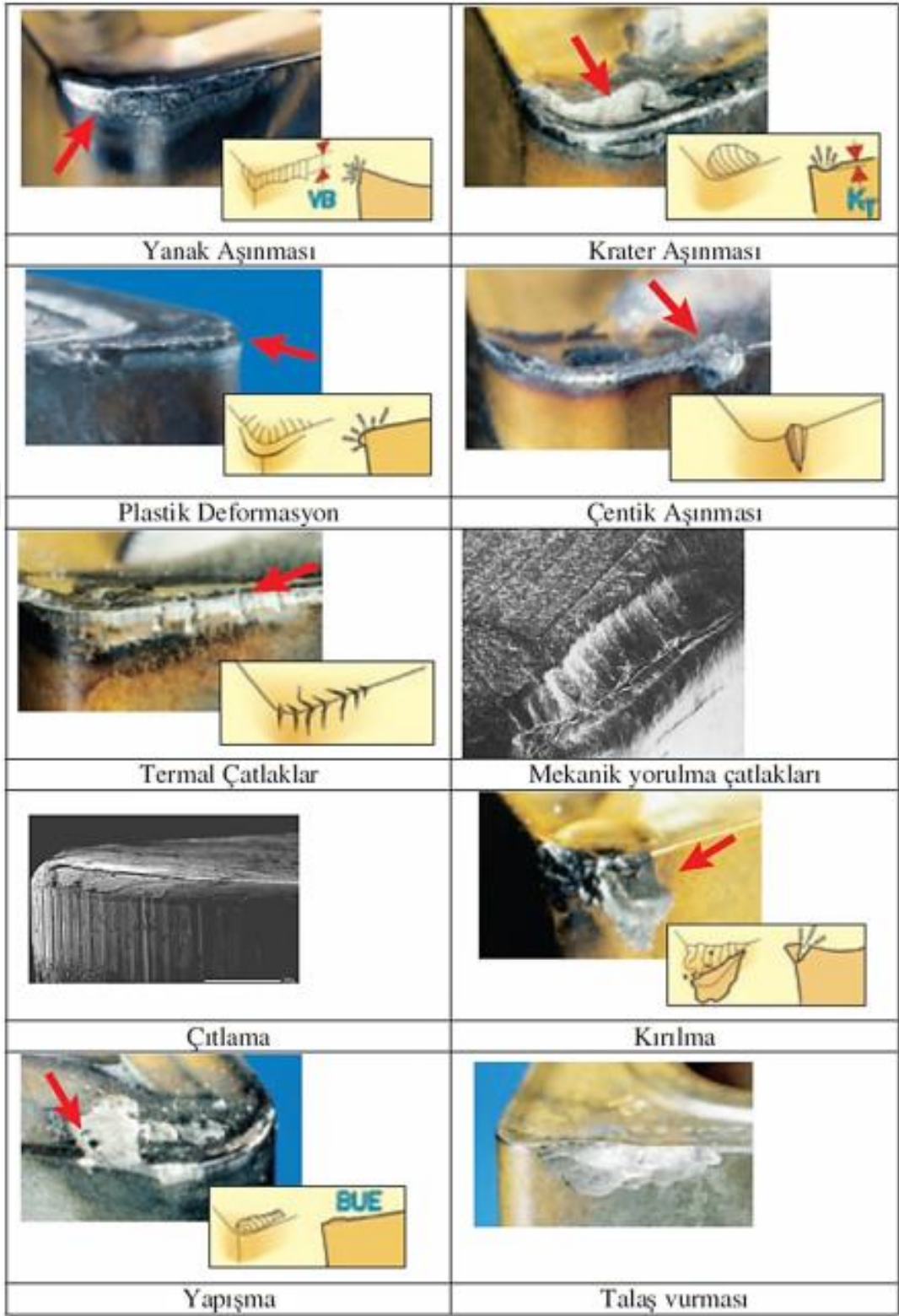
oksitletme olayına oksidasyon aşınması denmektedir. Bu aşınma sıklıkla, takım üzerinde talaşla doğrudan temasta olmayan yüzeylerde meydana gelmektedir. İş parçasının oksidasyonla aşınması nedeniyle oluşan sert oksit parçacıklar, abrazyon aşınmasını tetikler [38].

4.6.2.5. Yorulma

Yorulma talaş kaldırma sırasında oluşan termik ve mekanik olayların etkisi ile meydana gelen bir çok bozulma olayını içermektedir. Sıcaklığın değişmesi ve kesintili kesmede kesici ucun ısınması ve soğuması ile oluşan termik şoklar, ayrıca yüzeylerin yüklenmesi ve serbest kalması, kesme ağzında çatlakları ve kırılmaları meydana getirir. Ayrıca kuvvetlerin etkisi altında, ağızlarda parça şeklinde kırılmalara neden olan mekanik yorulmalar meydana gelebilir. Bu tip aşınma yüksek ilerleme miktarlarında sert malzemelerin işlenmesinde görülmektedir [39].

4.6.3. Takım Aşınma Çeşitleri

Takım aşınması tipleri ve bu aşınma çeşitlerine sebep olan aşınma mekanizmalarının bilinmesi, kesici takım ve iş parçası malzemesi için doğru işlem şartlarının belirlenmesi, verimliliği optimize etmek ve işlem operasyonlarını değerlendirmek için çok önemlidir. Oluşan aşınma tipleri ve buna neden olan aşınma mekanizmaları Şekil 4.13'de gösterilmektedir.



Şekil 4.13. Kesici takımında oluşan aşınma türleri [33].

4.6.3.1. Yan Kenar (Yanak) Aşınması

Takımın kesme kenarı ve yan yüzeyinde oluşan aşınma yan kenar aşınması olarak isimlendirilir ve bir aşınma bölgesi oluşturur. Bu aşınma bölgesinin işlenmiş yüzeyle sürtünmesiyle, talaş kaldırılan parça yüzeyinde hasar meydana gelir ve oluşan yüksek yüzey kuvvetleri nedeniyle boyutsal doğrulukta azalma ve sapmalar meydana gelmektedir [28].

Yan kenar aşınması sıklıkla kesme kenarlarının abrazyonu ile oluşmaktadır. Yan kenar aşınma bölgesi genellikle üniform genişliktedir ve kenara yakın bölgede oluşmaktadır. Yan kenar aşınmasının oluşmasının engellenmesi mümkün olmayıp, en aza indirgenmesi için bazı tedbirlerin alınması mümkün olabilmektedir [28].

Serbest yüzeyde aşınma çoğaldıkça, kesme kuvveti artacak, kesme sırasında oluşan ısı da artacağı için ortaya kötü bir yüzey kalitesi çıkacaktır. Bu yüzden yan kenar aşınmasının çabuk oluşmasından kaçınılmalıdır [40].

4.6.3.2. Krater Aşınması

Bu aşınma türü küçük talaş parçacıklarının, takım yüzeyine yapışmaları ve sonrasında koparak takım malzemesi üzerinde girintiler oluşturmaları, bu sebeple takımı zayıflatmaları şeklinde oluşmaktadır. Difüzyon aşınma mekanizmalarında kimyasal veya metalürjik etmenler rol oynamaktadır. Kesici takımın kimyasal özellikleri ve takım ile iş parçası ara ilişkisi de difüzyon aşınmasının oluşumunu belirler. Aşırı miktarda oluşan krater aşınması kesici kenar geometrisini değiştirir ve talaş biçimini bozar. Bu durum dayanımın düşmesine ve de kesme kuvvetlerinin yönlerinin farklılaşmasına sebep olmaktadır [41].

4.6.3.3. Plastik Deformasyon

Plastik deformasyon, kesici kenar üzerinde oluşan yüksek basınç ve yüksek sıcaklığın birleşimi sonucu ortaya çıkmaktadır. Yüksek hızlar ve yüksek ilerlemeler, sert iş parçası malzemesi, sıcak ve basınç anlamına gelmektedir. Takım

malzemesinin oluşan bu mekanizmalara karşı koyabilmesi ve plastik olarak şekil değiştirmemesi için yüksek sıcaklık sertliği önemlidir. Kesici kenarda bir şişmenin oluşması daha yüksek sıcaklıkların oluşmasına, geometrinin deformasyonuna, talaş akışının değişmesine sebep olacak ve kritik bir noktaya ulaşınca kadar etkisinin devam etmesini sağlayacaktır. Kenar yuvarlatmanın (uç yarıçapı) boyutu ve takım geometrisi (kesme geometrisi) bu tip aşınmanın engellenmesini sağlamaktadır [41].

4.6.3.4. Çentik Aşınması

Bu aşınma biçimi yan yüzey aşınması ve bunun yanında, iş parçası yüzeyiyle kesişen ana kesici kenardaki noktaya bitişik bölgede oluşan aşınma durumunda oluşabilen bir aşınma tipidir. Olası sebebi kırılmalı kesici takım kullanılması, zayıf kesici takım geometrisi ya da köşede oluşan sıvanmalardır. Kenar üzerinde derin oyuk, kanal, derin çukur tarzında belirtiler gözlemleniyorsa bu durum iş parçası üzerinde veya aşındırıcı bir bölge olduğunun göstergesidir. Bahsedilen aşındırıcı bölge, dövme kalıplama veya sıcak şekillendirme sonucu oluşmuş bir bölge olabilir. Tornalamada iş parçasının yüzeyinde mekanik yüklenmeler sonucu gereksiz ve beklenenin dışında sertleşmeler olması mümkündür. Bu yüzden başlangıçta sert tabaka veya kaplanmış yüzey olarak adlandırılan tabakadan toz talaş dediğimiz bir miktar talaş kaldırılması ve alttaki temiz beklenen sertlikteki tabakaya ulaşılması gerekir [41].

4.6.3.5. Termal Çatlaklar

Termal çatlaklar genellikle ısı değişimlerinden kaynaklanan yorulma aşınmasıdır. Oluşan sıcaklık değişimleri bu tip aşınmanın oluşmasına sebep olmaktadır. Termal çatlaklar kesici kenara dik olarak gerçekleşir ve bu aradaki takım malzemesi kesici kenardan koparak ayrılabilir. Bu da takımın kırılma ihtimalini artırır ve kesici kenar bozulmasına sebep olur. Yüksek kesme hızında, büyük hacimde talaş kaldırılması bu aşınma tipinin oluşmasında rol oynamaktadır. Aşınmaya dayanıklı kesici uç seçilmesi, pozitif açılı takım kullanılması, kesici ucun köşe radyüsünün artırılması, kesme hızı, ilerleme miktarının ve kesme derinliklerinin

azaltılması, bol ve sürekli soğutma uygulanması veya hiç uygulanmaması ile aşınmanın önüne geçilebilmektedir [42].

4.6.3.6. Mekanik Yorulma Kırılmaları

Mekanik yorulma kırılmaları kesme kuvvetlerindeki ani değişimler sonucunda ortaya çıkmaktadır. Mekanik yükün kendi başına çatlak oluşturacak büyüklükte olmamasına rağmen mekanik yükteki sürekli değişim çatlağa sebep olmaktadır. Kesmenin başlangıcında ve kesme kuvvetinin büyüklüğü ve yönündeki değişimler kesici ucun mukavemetinden ve tokluğundan fazla olduğunda gözlemlenmektedir [42].

4.6.3.7. Çıtlama

Kesici kenarda meydana gelen çentikler, aşınmadan ziyade kesici kenardaki küçük boyutlu kırılmalar olarak gerçekleşmektedir. Kesici kenardaki mekanik gerilmeler aşırı ise ve uç aşırı bir şekilde sıcaklık değişimlerine maruz kalıyorsa, ucun kesici kenarında küçük parçalar halinde kopmalar olacaktır. Bu durumu engellemek için, daha sünek bir sert metal kalitesi seçilmesi, büyük köşe radyüsü kullanılması, kesme hızı ve ilerleme miktarının artırılması, kesme derinliğinin artırılması, daha rijit takım kullanılması, profil takım geometrisi seçilmesi gibi seçenekler denenmelidir [43].

4.6.3.8. Kırılma

Kırılma, kesici kenarın görevinin tamamen sona ermesidir. Önceden oluşan şişkinliğin kırılması en tehlikelisi olup mümkün olduğunca bundan kaçınılması gerekmektedir. Kenar kırılması genellikle diğer aşınma tiplerinin en son noktasıdır. Geometrinin değişmesi, kesici kenarın dayanımının zayıflaması, sıcaklık ve kuvvet yükselmeleri pek çok kesici kenar hataların oluşmasına neden olacaktır. [43].

4.6.3.9. Yapışma

Sıklıkla sıcaklığa dolayısıyla kesme hızına bağlı oluşan bir aşınma tipidir. Takım yüzeyine kaynak olan malzeme sebebiyle ortaya çıkan, takım yüzeyinden parçacık kopmasına sebep olan yığılma kenar istenmeyen bir durumdur. Yığılma kenar oluşumuna neden olan sıcaklık ve kesme hızları bilindiğinden bu tür aşınma kolaylıkla engellenebilir. Çoğu talaş kaldırma tekniklerinde kesme hızları yığılma kenar oluşum alanının çok üzerindedir ve birçok kalite yığılma kenar oluşumuna engel olacak şekilde seçilir. Yığılma kenar oluşumuna izin verildiğinde yüzey kalitesi kötü olur ve bu durumun devam etmesi halinde kenarın kırılması ve kesme ömrünü tamamlaması gerçekleşebilir [43].

4.6.3.10. Talaş Vurması

Talaş vurması tok veya abrasiv talaş oluşumuna sebep olan malzemelerin seramik takımlarla işlenmesi durumunda meydana gelmektedir. Talaş vurması, talaş geriye doğru kıvrıldığında ve kesme kenarından uzakta takım yüzeyine temas ettiği durumda gerçekleşir. Böylece takım yüzeyinde çukurcuklar oluşur ve devam etmesi halinde takım hasara uğramaktadır. Talaş vurması yanlış talaş kontrolü sebebiyle oluşmaktadır. Talaş akış yönünü değiştirmek için dalma açısı, ilerleme miktarı, kesme derinliği veya takım burun yarıçapı değiştirilerek talaş vurması engellenebilmektedir [38].

4.7. TAKIM AŞINMASI KONTROLÜ

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

V_{Bmax} = Maksimum serbest yan yüzey aşınması

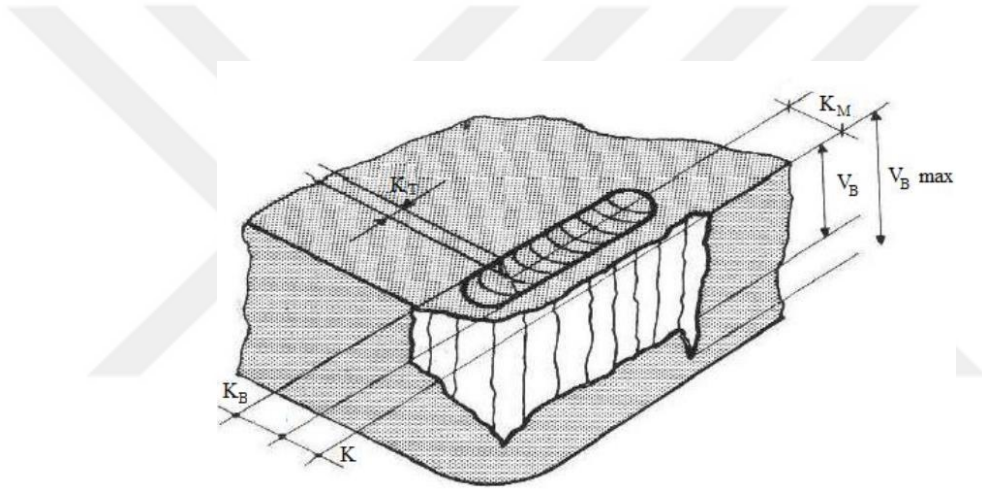
V_B = Serbest yan yüzey aşınması

K_T = Krater derinliği

K_B = Krater genişliği

K_M = Krater orta eksen mesafesi

Takım aşınması, belirli seviyeye ulaşmadan önce geçen işleme zamanına bağlı olarak geliştiğinde, muayene ve kontrol yöntemleriyle belirlenmektedir. Bir mikroskop veya büyüteç en yaygın kullanılan kontrol aletleridir. Yan yüzey aşınması esas kesme kenarından ölçülür. Ölçümü gerçekleştirmek için aşınan kısım üç bölgeye ayrılarak incelenmektedir. Toplam uzunluk dört eşit parçaya bölünür ve 1/4'lük kısımlar iki başta ve 1/2'lik kısım ortada kalacak şekilde üçe ayrılarak inceleme yapılmaktadır. Şekil 4.14'te takım aşınma kontrolünün yapılacağı bölgeler görülmektedir [44].



Şekil 4.14. Takım aşınma kontrolünün yapılacağı bölgeler [44].

4.8. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ

Talaşlı imalat sırasında işleme tekniğine, kesici takım tipine ve işleme parametrelerine bağlı olarak kimyasal, fiziksel, ısı faktörlerin ve kesici iş parçası arasındaki mekanik hareketlerin etkisi ile işlenen yüzeylerde sıklıkla istenmediği halde işleme izleri oluşmaktadır. Nominal (anma) yüzey çizgisinin altında veya üstünde düzensiz sapmalar meydana getiren bu duruma yüzey pürüzlülüğü denmektedir. Farklı parçaların bir araya gelmesiyle oluşan ürün kalitesi ve endüstriyel makinaların performansını arttırmak, yeterli seviyede hassas işlenmiş yüzeylere ihtiyaç duymaktadır. Aynı malzemenin, farklı talaşlı imalat yöntemleriyle aynı yüzey pürüzlülük değerinde işlendiği, bazı durumlarda korozyon, sürtünme, aşınma ve

yorulma dayanımı olarak farklı davranışlar gösterdiği bilinmektedir. Yüzey pürüzlülüğünün dışında, yüzeydeki işleme izlerinin yönü ve dağılımları malzemenin performansını önemli seviyede etkiler. Bu nedenle talaşlı imalat ile işlenecek parçaların bazılarında yüzey pürüzlükleri değerinin yanısıra işleme yönteminin de belirtilmesi istenir. Bununla birlikte pürüzlülük; yüzey sürtünmesine neden olan temas, aşınma, ısı iletimi, ışık yansıtma, yağ filminin tutulması ve dağıtılması kabiliyeti, kaplama veya direnç ömrü gibi parçaların çeşitli fonksiyonel özelliklerini de etkilemektedir. Bu sebeplerden dolayı, makine parçalarının yüksek veya istenen kalitede imalatı için uygun bir yüzey pürüzlülük değeri elde etmek gerekir [45].

Talaş kaldırarak şekillendirme sonucunda oluşan yüzey pürüzlülüğüne birden çok parametrenin etkisi bulunmakla beraber; talaş kaldırmada etkili olan en önemli faktörler aşağıdaki gibi özetlenmiştir:

- Bağlamadan ötürü iş parçasında gerçekleşen bozulmalar
- İlerleme mekanizmasındaki düzensizlikler
- İş parçasındaki yapı bozuklukları
- Kırılgan malzemelerin işlenmesi esnasında düzensiz talaş akışı
- Kolay şekillendirilebilir malzemelerin düşük kesme hızlarında işlendiğinde, iş parçası yüzeyindeki yırtılmalar
- Talaş akışının neden olduğu bozukluk
- Kesme hızında meydana gelen düzensizlikler
- İlerleme miktarında meydana gelen düzensizlikler
- Kesme derinliği
- Kesici takımın soğutulma ve yağlanma durumu
- Kesicinin tasarımı, geometrisi ve kesme kapasitesi
- Kalıp ve bağlama aparatları
- İşlenen malzemedan talaş kaldırma şekli
- Yatak ve takımlarda oluşacak geometrik bozukluklar, vb

4.9. SERT TORNALAMA

Yüksek sertliğe ve aşınma direncine sahip kesicilerin kullanılarak, 50 ve 70 HRC arasında sertlikteki iş parçalarının düşük kesme derinliklerinde tornalama işlemi, sert tornalama olarak adlandırılmaktadır [46]. Sert malzemelerin tornalanması, son yıllarda pek çok endüstrinin ilgisini çekmektedir. Bu işleme, taşlama işleminin yüksek maliyetinden ötürü rulmanların, hareket ileten millerin, aksların, kalıp malzemelerinin ve çeşitli motor ekipmanlarının üretiminde kullanılmaktadır [46–48].

Mevcut çalışma ortamlarında maruz kaldıkları yüke bağlı olarak, dayanımının ve sertliğinin yüksek olması gereken çelik malzemeler (50 -70 HRC) geleneksel olarak yumuşak halde işlenerek, son şekle yakın geometriye getirilmektedir. Taşlama işlemi son şekile getirilmeden önce de sertleştirme ve temperleme ısıl işlemleri uygulanmaktadır. Son geometrileri ve yüzey topografyaları, taşlama ve gerektiğinde de süper bitirme işlemleriyle sağlanmaktadır. CBN kesici takımlar kullanılarak sertleştirilmiş çelikleri doğrudan işlemenin, taşlama ile şekillendirmeye göre bir çok avantaj sağlamaktadır. Bunlar düşük üretim maliyeti, kısa üretim süresi [48, 49], yüksek miktarda talaş kaldırma kapasitesi, farklı geometrilerin tek bir kesici takımla oluşturulabilmesi [48–50], kesme sıvısının kullanımına çoğunlukla ihtiyaç duyulmaması [51, 52], yüksek parça kalitesi [53–55] ve üretilen parçaların yorulma dayanımlarının yüksek olması olarak ifade edilebilir. Taşlama opeasyonunda üretim başlamadan önce, kurulum süresinin uzun olması ve özel profilleri oluşturmak için özel taş geometrilerine ihtiyaç duyulması ve üretilen parça sayısının az olduğu durumlarda, sert tornalama işlemi tercih edilmektedir [55].

BÖLÜM 5

MALZEME METOD

5.1. DENEYSEL NUMUNELER

Bu çalışmada sertleştirilmiş Caldie soğuk iş takım çeliği seramik ve CBN kesici takımlar kullanılarak işlenmiştir. İşlenebilirlik için en iyi kesme parametrelerinin belirlenmesi amacıyla bir dizi deney gerçekleştirilmiştir. İş parçası olarak İsveçli takım çeliği üreticisi olan Uddeholm Tooling tarafından patentli olarak üretilen standart dışı soğuk iş takım çeliği olan Caldie soğuk iş takım çeliği seçilmiştir. Çizelge 5.1’de Caldie soğuk iş takım çeliğe ait kimyasal kompozisyonu gösterilmektedir. Ham ölçülerindeki iş parçaları tornalarak Ø90x110 ölçülerine getirilmiştir. İş parçalarına Böhler Uddeholm Çelik Sanayi ve Ticaret A.Ş.’de ısıtılarak sertlikleri 60 HRC sertliğe getirilmiştir. Çizelge 5.1’de Caldie soğuk iş takım çeliğinin kimyasal kompozisyonu gösterilmektedir.

Çizelge 5.1. Caldie soğuk iş takım çeliğinin kimyasal kompozisyonu.

C %	Si%	Mn%	Cr%	Mo%	V%
0.7	0.2	0.5	5.0	2.3	0.5

5.2. DENEYLERDE KULLANILAN MAKİNE VE TEÇHİZAT

İşlenebilirlik testleri Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü’nde yer alan Jonford TC35 marka, Bilgisayar Sayısal Denetimli (BSD) torna tezgahında yapılmıştır. Tezgahın teknik özellikleri Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.2. BSD torna tezgahının teknik özellikleri.

Markası	Johnford TC35
İş mili en fazla döndürme çapı	450 mm
En fazla parça bağlama boyu	1200 mm
Sürekli dönme devir sayıları	10-3500 rev/min
Kesici bağlama hane sayısı	12 Adet
İş mili gücü	10 kW
İşletim sistemi	Fanuc OT

İşleme deneylerinin ardından kesme kuvvetleri belirlenmiştir. Çizelge 5.3' te kesme kuvvetlerinin ölçümünde kullanılan Kistler 9257B dinamometrenin teknik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 5.3. Kistler 9257B dinamometrenin teknik özellikleri.

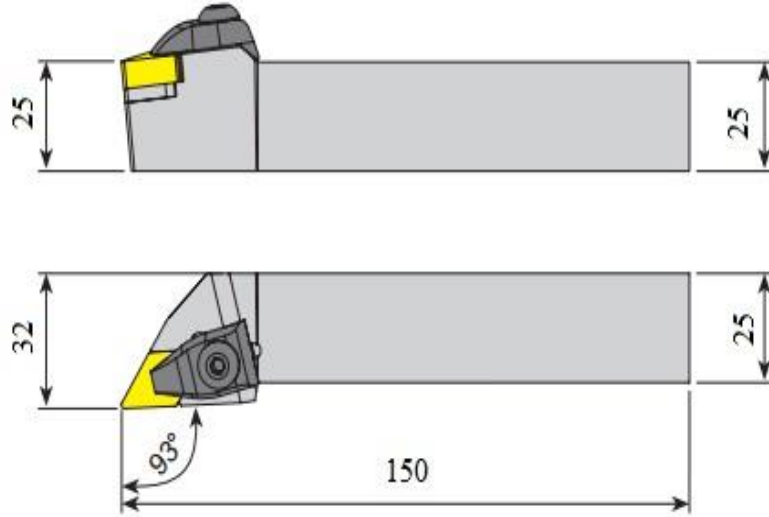
Kuvvet aralığı (kN) (Fx,Fy,Fz)	-5...10
Tepki verme (N)	<0.01
Hassasiyet (pC/N) Fx, Fy, Fz	-3.5
Doğrusallık	% 1 FSO
Histerezis	%0.5 FSO
Doğal frekans $f_0(x,y,z)$ (kHz)	3.5
Çalışma sıcaklığı (°C)	0...70
Kapasitans (pF)	220
20 °C'daki yalıtım direnci (Ω)	>1013
Topraklama sınıfı (Ω)	>108
Koruma sınıfı	IP 67
Ağırlık (kg)	7.3

İşlenen iş parçalarının yüzey pürüzlülük değerlerinin ölçümünde Çizelge 5.4' de verilen Mahr marka yüzey pürüzlük cihazı kullanılmıştır.

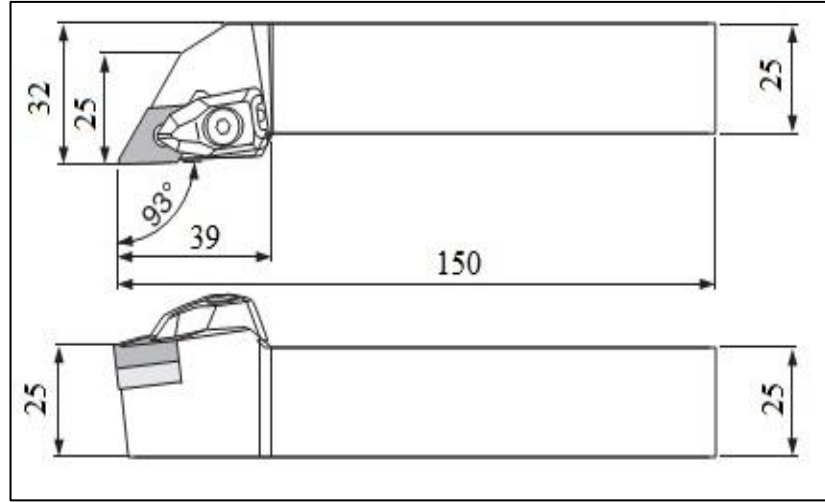
Çizelge 5.4. Mahr yüzey pürüzlülük cihazının teknik özellikleri.

Model	Mahr (Marsurf PS1)
Ölçme Yöntemi	İzleyici Uçlu (Stylus)
Tarama Hızı	0.5 mm/sn (ölçme yaparken) 1 mm/sn (geri dönerken)
Ölçme kuvveti	4 mN (0.4gf)
Uç malzemesi	Elmas
Ölçme sıcaklığı	20 °C ±1 °C
Numune Uzunluğu	0.8 mm
İzleyici Uç yarıçapı	5µm
Tarama boyu	1.75 – 5.6 – 17.5mm (ISO)

İşlenebilirlik testlerinde kullanılan takım tutucu deneylerin yapılacağı BSD tezgahının kesici takım bağlama başlığı yuvasına ve dinamometre kesici takım bağlama yerine uygun olarak seçilmiştir. Seramik kesici uçları bağlamak için TDJNR2525M kater, CBN kesici uçları bağlamak için DDJNR2525M kater seçilmiştir. Katerlere ait ölçüler Şekil 5.1 ve Şekil 5.2’de gösterilmektedir.

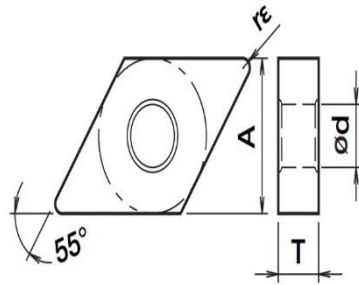


Şekil 5.1. TDJNR 2525M15 kater.



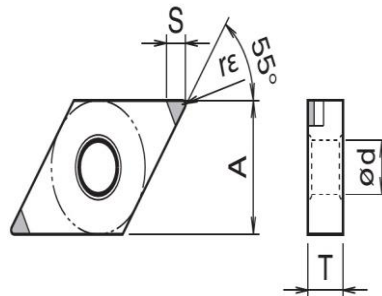
Şekil 5.2. DDJNR 2525M15 kater.

Deneylerde, sonuçları etkileyecek değişkenleri minimize edebilmek ve kullanımdaki pratikliği sebebi ile güncel takım malzemesi olarak sert metal uçlar tercih edilmiştir. Seramik uçlar DNGA150604 boyut ve toleransındadır. CBN uçlar DNGA150404 boyut ve toleransındadır. Uçlara ait özellikler Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'de gösterilmektedir.



A	12.7
T	6.35
Ø	5.16
rε	0.4

Şekil 5.3. KYOCERA DNGA150604T02025 Seramik kesici uç.



A	12.7
T	4.76
Ø	5.16
rε	0.4
S	2.3

Şekil 5.4. KYOCERA DNGA150404S01225 CBN kesici uç.

5.3. STEREO MİKROSKOP İNCELEMERİ

İşlenebilirlik deneyleri sonrası kesici uçta meydana gelen takım aşınmaları Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Bölümü metalografi laboratuvarında bulunan Nikon SMZ745 marka Stero mikroskop kullanılarak incelenmiştir

5.4. TARAMALI ELEKTRON MİKROSKOBU (SEM) İNCELEMELERİ

İşlenebilirlik deneyleri sonrası kesici uçta meydana gelen takım aşınmaları, Karabük Üniversitesi Demir Çelik Enstitüsünde bulunan ZEISS ULTRA PLUS (FEG) tarama elektron mikroskopunda (SEM) incelenmiştir.

5.5. DENEY TASARIMI

İşlenebilirlik deneylerinde sertleştirilerek 60 HRC sertliğe getirilen Caldie soğuk iş takım çelikleri, iki farklı kesici uç kullanılarak 15 mm kesme uzunluğunda kuru ortamda sert tormalanmıştır. Taguchi L₁₈ deney seti (2¹x3²) kullanılarak işlenebilirlik deneyleri gerçekleştirilmiştir. Kalite karakteristiğini belirlerken, ölçülen kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü değerlerinin en az olması istendiğinden dolayı “en küçük-en iyi” yaklaşımı kullanılmıştır.

$$S/N(\eta) = -10 \cdot \log\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i^2\right) \quad (5.1)$$

Taguchi tekniğine göre yapılan ideal işleme seviyesi belirleme çalışmalarında ilk olarak işlenebilirlik kriterleri (Fc ve Ra) üzerinde doğrudan etkisi olan kesme parametreleri belirlenmiştir. Bu amaçla, A-Kesici takım, B-Kesme hızı (m/dak), C-İlerleme miktarı (mm/dev) olmak üzere 3 parametre belirlenmiştir. Bu faktörlerin seviyeleri ise kesici takım firması ve literatürdeki bitirme tormalama işlemleri dikkate alınarak belirlenmiştir. Deneylerde kullanılan faktör ve seviyeleri Çizelge 5.5’te verilmiştir. Taguchi L₁₈ dikey dizinine göre yapılan deney tasarımı Çizelge 5.6’te verilmiştir.

Çizelge 5.5. İşlenebilirlik deneyleri faktör ve seviyeleri.

Faktörler	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
A-Kesici takım	Seramik	CBN	
B-Kesme hızı (m/dak)	90	120	150
C-İlerleme miktarı (mm/dev)	0.05	0.1	0.15

Çizelge 5.6. İşlenebilirlik deneyleri faktör ve seviyeleri (Taguchi L₁₈ (2¹x3²)).

Deney	Değişkenler	Faktör A	Faktör B	Faktör C
1	A ₁ B ₁ C ₁	Seramik	90	0.05
2	A ₁ B ₁ C ₂	Seramik	90	0.1
3	A ₁ B ₁ C ₃	Seramik	90	0.15
4	A ₁ B ₂ C ₁	Seramik	120	0.05
5	A ₁ B ₂ C ₂	Seramik	120	0.1
6	A ₁ B ₂ C ₃	Seramik	120	0.15
7	A ₁ B ₃ C ₁	Seramik	150	0.05
8	A ₁ B ₃ C ₂	Seramik	150	0.1
9	A ₁ B ₃ C ₃	Seramik	150	0.15
10	A ₂ B ₁ C ₁	CBN	90	0.05
11	A ₂ B ₁ C ₂	CBN	90	0.1
12	A ₂ B ₁ C ₃	CBN	90	0.15
13	A ₂ B ₂ C ₁	CBN	120	0.05
14	A ₂ B ₂ C ₂	CBN	120	0.1
15	A ₂ B ₂ C ₃	CBN	120	0.15
16	A ₂ B ₃ C ₁	CBN	150	0.05
17	A ₂ B ₃ C ₂	CBN	150	0.1
18	A ₂ B ₃ C ₃	CBN	150	0.15

Deney sonuçlarına %95 güven aralığında varyans analizi (ANOVA) uygulanarak F_c ve R_a üzerinde değişkenlerin etki seviyeleri belirlenmiştir. Deney sonuçlarının değerlendirilmesi, elde edilen veriler kullanılarak çizilen grafikler ve istatistiksel analizler yardımıyla yapılmıştır. Her iki kesici uç ile yapılan işleme sonrası ölçülen kesme kuvveti ve ortalama yüzey pürüzlülüğü üzerinde yapılan değerlendirmeler grafiksel olarak gösterilmiştir. Kesici uçta meydana gelen aşınmaları incelemek için iş parçasından 20 cm³ talaş hacmi kaldırıldıktan sonra kesici uçlar Stereo mikroskopta ve SEM görüntüleri alınarak incelenmiştir.

BÖLÜM 6

DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE TARTIŞMA

Deneysel çalışmalarda iki farklı kesici uç kullanılarak 60 HRC sertliğe getirilmiş iş parçaları sert tornalanmıştır. Tornalama işlemi sanayide sıklıkla kullanılan önemli bir imalat yöntemidir. Yaygın kullanımından dolayı işleme maliyetleri, iş parçası ortalama yüzey pürüzlülüğü, işleme zamanı ve kesici uç ömrü açısından önem arz etmektedir. Uygun olmayan işlenebilirlik parametrelerinin seçimi zaman, maliyet ve iş parçasının doğrusallığı açısından olumsuz etki etmektedir. Bu sebeple, optimum işlenebilirlik parametrelerinin belirlenmesi talaşlı imalat süreçleri için büyük öneme sahiptir.

Mevcut çalışmada, sert tornalama deneylerinde talaşlı imalat süreçlerinde en önemli parametreler arasında yer alan esas kesme kuvveti ve ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri ölçülmüştür. Deneysel sonuçların değerlendirilmesi, elde edilen veriler kullanılarak çizilen üç boyutlu grafikler ve istatistiksel analizler kullanılarak yapılmıştır.

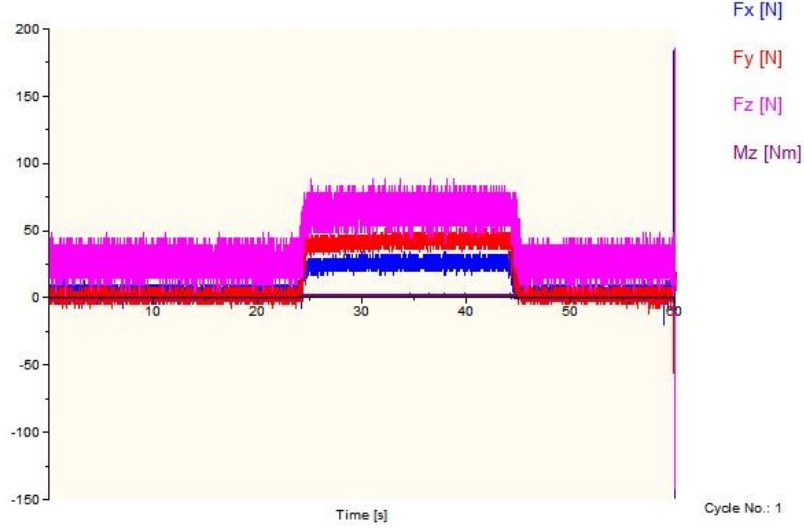
6.1. İŞLENEBİLİRLİK TESTİ SONUÇLARININ İNCELENMESİ

6.1.1. Esas Kesme Kuvveti Sonuçlarının İncelenmesi

Kesme kuvvetleri, ölçümü için yapılan testler sonucunda DynoWare yazılımından elde edilen esas kesme kuvveti (F_c) olarak değerlendirilmiştir.

Şekil 6.1'deki örnek grafikte görüldüğü gibi, kesme işlemi sonunda kesme kuvvetlerinin kararlı olduğu bölgenin başlangıç ve bitiş değerler esas alınarak, ortalama F_c , F_r ve F_f kuvvetleri belirlenebilmektedir.

Dinamometre kartezyen kuvvet bileşenlerinde (F_x , F_y , F_z) ölçümler gerçekleştirilerek; $F_x:F_f$, $F_y:F_r$ ve $F_z:F_c$ 'ye karşılık gelen kuvvetler gösterilmektedir.



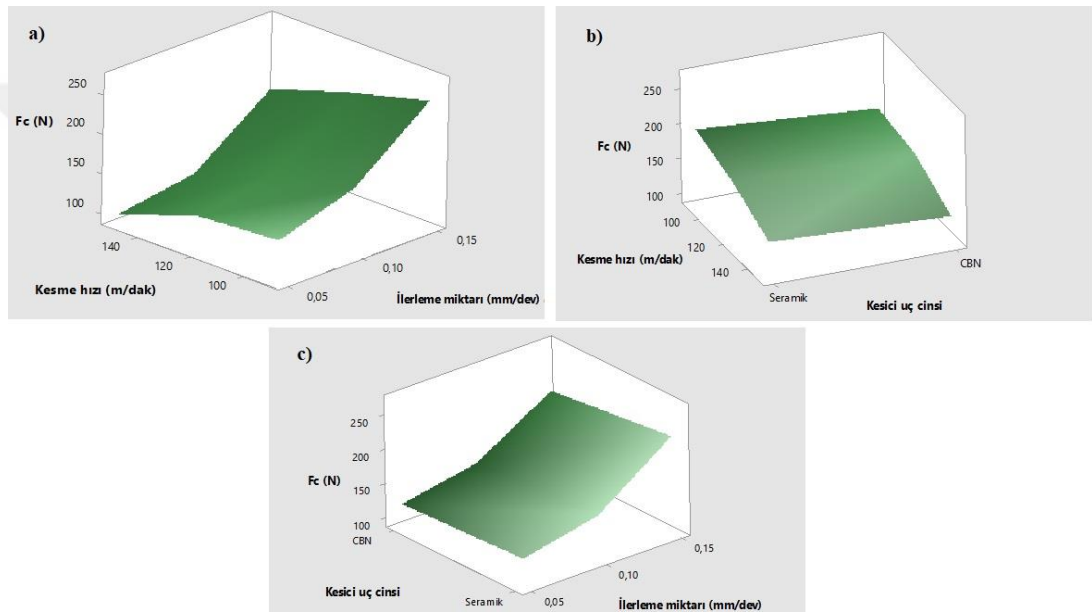
Şekil 6.1. Kistler 9257B tipi dinamometre ile zamana bağlı kesme kuvvetleri.

İşlenebilirlik deneyleri sonucunda sert tornalama sonrası elde edilen esas kesme kuvveti (F_c) değerleri ve bunların “en küçük-en iyi” prensibine göre hesaplanan S/N oranları Çizelge 6.1’de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Esas kesme kuvveti ve S/N oranları.

Deney	Değişkenler	Kesici uç cinsi	Kesme hızı (m/dak)	İlerleme miktarı (mm/dev)	F_c (N)	S/N (dB)
1	A ₁ B ₁ C ₁	Seramik	90	0.05	142.84	-43.09
2	A ₁ B ₁ C ₂	Seramik	90	0.1	176.76	-44.94
3	A ₁ B ₁ C ₃	Seramik	90	0.15	267.2	-48.53
4	A ₁ B ₂ C ₁	Seramik	120	0.05	139.06	-42.86
5	A ₁ B ₂ C ₂	Seramik	120	0.1	156.6	-43.89
6	A ₁ B ₂ C ₃	Seramik	120	0.15	226.11	-47.08
7	A ₁ B ₃ C ₁	Seramik	150	0.05	104.18	-40.35
8	A ₁ B ₃ C ₂	Seramik	150	0.1	124.93	-41.93
9	A ₁ B ₃ C ₃	Seramik	150	0.15	193.31	-45.72
10	A ₂ B ₁ C ₁	CBN	90	0.05	139.68	-42.90
11	A ₂ B ₁ C ₂	CBN	90	0.1	164.64	-44.33
12	A ₂ B ₁ C ₃	CBN	90	0.15	226.58	-47.10
13	A ₂ B ₂ C ₁	CBN	120	0.05	128.57	-42.18
14	A ₂ B ₂ C ₂	CBN	120	0.1	153.8	-43.73
15	A ₂ B ₂ C ₃	CBN	120	0.15	216.49	-46.70
16	A ₂ B ₃ C ₁	CBN	150	0.05	96.78	-39.71
17	A ₂ B ₃ C ₂	CBN	150	0.1	107.68	-40.64
18	A ₂ B ₃ C ₃	CBN	150	0.15	182.2	-45.21

Çizelge 6.1.'de elde edilen deneysel sonuçlar incelendiğinde en düşük esas kesme kuvveti $A_2B_3C_1$ kodlu deneyde elde edilmiştir. CBN kesici uçun kullanıldığı, kesme hızının 150 m/dak ve ilerleme miktarının 0.05 mm/dev olduğu işleme şartlarında esas kesme kuvveti 96.78 N olarak ölçülmüştür. Esas kesme kuvvetinin en yüksek elde edildiği deney şartı $A_1B_1C_3$ şeklindedir. Seramik kesici uçun kullanıldığı, kesme hızının 90 m/dak ve ilerleme miktarının 0.15 mm/dev olduğu işleme şartlarında esas kesme kuvveti 267.2 N olarak elde edilmiştir. Şekil 6.2'de sert tornalama sonrasında ölçülen esas kesme kuvvetinin, kesme hızı ve ilerleme miktarına verilmiştir.



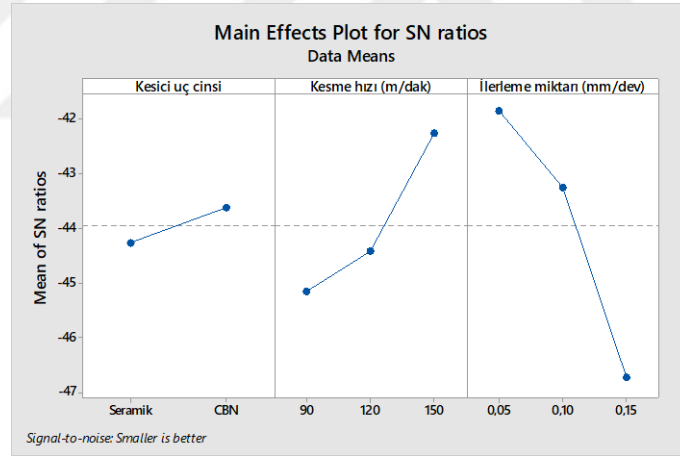
Şekil 6.2. Esas kesme kuvvetinin kesme parametrelerine göre değişimi.

Şekil 6.2.a. grafik incelendiğinde kesme hızının artmasıyla birlikte, esas kesme kuvvetinin azaldığı görülmektedir. Kesme hızının artmasıyla kesme kuvvetinde gerçekleşen düşüşün nedeni artan kesme hızı ile birinci deformasyon bölgesinde artan sıcaklığın talaş oluşumunu kolaylaştırmasıdır. Aynı zamanda akış bölgesinde oluşan yüksek sıcaklık ve azalan temas yüzeyi alanı esas kesme kuvveti değerinin düşmesine neden olmaktadır [33, 56].

İlerleme miktarının artmasına bağlı olarak esas kesme kuvveti artmaktadır. İlerleme miktarının artması, biçimlenmemiş talaş kesitinin büyümesine neden olduğundan,

oluşan talaşın deforme edilmesi için ihtiyaç duyulan güç artmakta ve böylece artan ilerleme miktarı esas kesme kuvvetinin artmasına sebep olmaktadır [57].

Şekil 6.2.b ve Şekil 6.2.c'de kesici uç cinsine göre kesme kuvvetine ve ilerleme miktarına bağlı olarak esas kesme kuvvetindeki değişimler gösterilmektedir. Grafikler incelendiğinde kesici uç cinsinin esas kesme kuvveti üzerinde önemli bir etkisi görülmektedir. İlerleme miktarının önemli ölçüde esas kesme kuvveti üzerinde etkisi olduğu söylenebilir. Kesme hızı yine esas kesme kuvveti üzerinde etkili olmaktadır. Şekil 6.2.b ve Şekil 6.2.c incelendiğinde işleme uzunluğunun kısa olması, kesici uçların kesme kabiliyetlerini korumasından dolayı kesici uç tipinin kesme kuvvetleri üzerinde çok az etkisi olduğu görülmektedir. CBN kesici uçların kullanılması seramik kesicilere göre daha az esas kesme kuvvetinin elde edilmesine neden olduğu söylenebilir. Şekil 6.3'te esas kesme kuvveti için kesme parametrelerinin S/N oranları gösterilmektedir.



Şekil 6.3. Esas kesme kuvveti için kesme parametrelerinin S/N oranları.

Taguchi metodu için seçilen “en küçük-en iyi” prensibine göre tüm faktörlerin S/N değerinin en büyük olduğu seviye, ideal seviyeyi göstermektedir. Şekil 6.3'te verilen S/N oranları grafiği, Caldie soğuk iş takım çeliğinin sert tornalanmasında elde edilen esas kesme kuvveti üzerinde en etkili faktörlerin sırasıyla ilerleme miktarı, kesme hızı ve kesici uç cinsi olduğunu göstermektedir.

Faktörler ve seviyelerinin esas kesme kuvveti (F_c) üzerindeki etkilerinin daha net görülebilmesi için, Şekil 6.3'deki S/N oranı değerleri tablolaştırılmıştır. Çizelge 6.2'de verilen değerler, faktörlerin her bir seviyesinin esas kesme kuvveti (F_c) üzerindeki değişim etkisini ortaya koymaktadır. Çizelge 6.2'de koyu olarak gösterilmiş değerler, değişkenlerin optimum seviyelerini belirtmektedir. Deneyler sonucunda bileşke kesme kuvveti (F_c) değerleri için en etkili faktörler ve seviyeler; kesici uç cinsi (2), kesme hızı (3), ilerleme miktarı (1) şeklindedir. Bu faktörlerin bileşke kesme kuvveti değişimi üzerindeki katkısının kesin olarak belirlenmesi, için varyans analizi (ANOVA) yapmak daha sağlıklı sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır.

Çizelge 6.2. Esas kesme kuvveti faktörleri için S/N oranları.

Seviye	Kesici uç cinsi	Kesme hızı (m/dk)	İlerleme (mm/dev)
1	-44,27	-45,15	-41,85
2	-43,62	-44,41	-43,25
3		-42,26	-46,73
Delta	0.66	2,89	4,88

Caldie soğuk iş takım çeliğinin sert tornalanması deneylerinde elde edilen esas kesme kuvvetleri kullanılarak hesaplanan S/N oranları için % 95 güven düzeyinde yapılan varyans analizi (ANOVA), Çizelge 6.3'te verilmiştir. Çizelge 6.3'te verilen (herbir faktör için hesaplanan) P değerinin $P < 0,05$ olması durumunda, ilgili faktör F_c için önemli olduğu kabul edilmektedir. Çizelgede, bileşke kesme kuvvetine etki eden faktörlerin etki oranları (PCR) yüzde olarak verilmektedir. Esas kesme kuvveti üzerinde etkili olan faktörler, sırasıyla % 74,5 PCR değeri ile ilerleme miktarı, % 21.61 PCR ile kesme hızı ve 1.89 ile kesici uç cinsi şeklindedir. S/N oranları için yapılan ANOVA analizinde belirleme katsayısı (R^2) % 98,02 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 6.3. Esas kesme kuvveti için S/N oranları için ANOVA analizi.

Faktörler	SD	KT	KO	F Değeri	P Değeri	PCR (%)
Kesici uç cinsi	1	729.2	729.2	11.49	0.005	1.899
Kesme hızı (m/dk)	2	8301.2	4150.6	65.38	0.000	21.616
İlerleme miktarı (mm/dev)	2	28610.1	14305.1	225.34	0.000	74.501
Hata	12	761.8	63.5			1.984
Toplam	27	38402.4				100

6.1.2. Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü Optimizasyonu

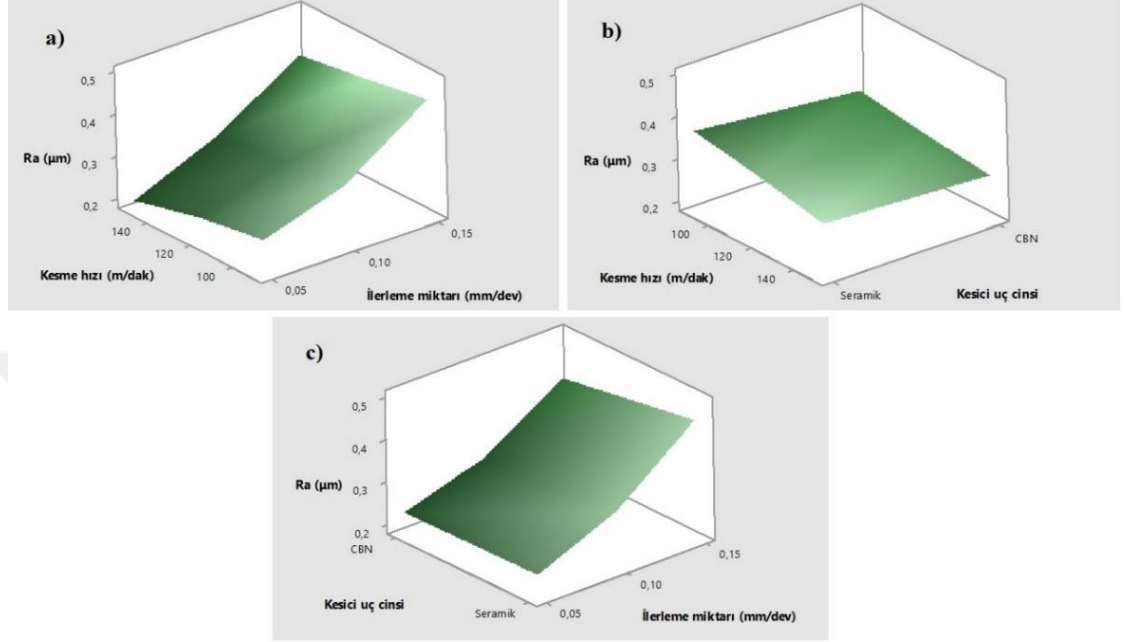
Caldie soğuk iş takım çeliğinin seramik ve CBN kesici takımlarla işlenmesi sonrası parça yüzeyinden ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) değerleri ve bu değerlerin “en küçük-en iyi” yaklaşımına göre hesaplanan S/N oranları Çizelge 6.4’de verilmiştir.

Çizelge 6.4. Ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri ve S/N oranları.

Deney	Değişkenler	Kesici uç cinsi	Kesme hızı (m/dak)	İlerleme miktarı (mm/dev)	R_a (μm)	S/N (dB)
1	A ₁ B ₁ C ₁	Seramik	90	0.05	0.272	11.31
2	A ₁ B ₁ C ₂	Seramik	90	0.1	0.334	9.53
3	A ₁ B ₁ C ₃	Seramik	90	0.15	0.498	6.05
4	A ₁ B ₂ C ₁	Seramik	120	0.05	0.236	12.54
5	A ₁ B ₂ C ₂	Seramik	120	0.1	0.311	10.14
6	A ₁ B ₂ C ₃	Seramik	120	0.15	0.467	6.61
7	A ₁ B ₃ C ₁	Seramik	150	0.05	0.199	14.02
8	A ₁ B ₃ C ₂	Seramik	150	0.1	0.301	10.42
9	A ₁ B ₃ C ₃	Seramik	150	0.15	0.417	7.59
10	A ₂ B ₁ C ₁	CBN	90	0.05	0.251	12
11	A ₂ B ₁ C ₂	CBN	90	0.1	0.312	10.11
12	A ₂ B ₁ C ₃	CBN	90	0.15	0.424	7.45
13	A ₂ B ₂ C ₁	CBN	120	0.05	0.237	12.50
14	A ₂ B ₂ C ₂	CBN	120	0.1	0.288	10.81
15	A ₂ B ₂ C ₃	CBN	120	0.15	0.397	8.02
16	A ₂ B ₃ C ₁	CBN	150	0.05	0.196	14.15
17	A ₂ B ₃ C ₂	CBN	150	0.1	0.264	11.56
18	A ₂ B ₃ C ₃	CBN	150	0.15	0.402	7.91

Çizelge 6.4’te elde edilen veriler incelendiğinde, en düşük ortalama yüzey pürüzlülüğü A₂B₃C₁ kodlu deneyde elde edilmiştir. CBN kesici ucun kullanıldığı, kesme hızının 150 m/dak, ilerleme miktarının 0.05 mm/dev olduğu deney şartlarında, ortalama yüzey pürüzlülüğü 0.196 μm ölçülmüştür. En yüksek ortalama yüzey pürüzlülüğünün elde edildiği deney şartı A₁B₁C₃ kodlu deneydir. Seramik kesici ucun kullanıldığı kesme hızı 90 m/dak, ilerleme miktarının 0.15 mm/dev olduğu deneyde, ortalama yüzey pürüzlülüğü 0.498 μm olarak ölçülmüştür.

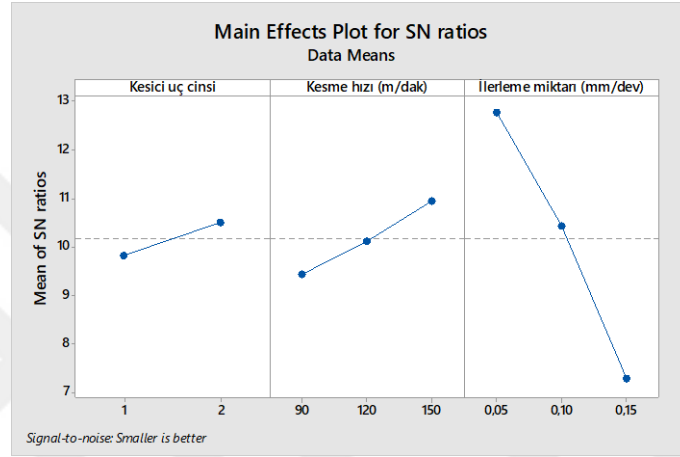
Şekil 6.4'te Caldie soğuk iş takım çeliğinin seramik ve CBN kesici uçlarla sert tornalanması işlemi ile elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin kesme parametrelerine göre değişimi grafik olarak verilmektedir.



Şekil 6.4. Ortalama yüzey pürüzlülüğünün kesme parametrelerine göre değişimi.

Şekil 6.4.a. incelendiğinde kesme kuvvetinin artışıyla beraber ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinde iyileşme olduğu görülmektedir. Bunun nedenin kesme hızının artmasıyla yüksek hızda artan sıcaklığın etkisi olarak kesme bölgesinde deformasyon işleminin kolaylaşması iş parçasının, kesici kenarı ve burun yarıçapında kolay bir şekilde deforme edilmesi, böylece yırtılma olmadan şekillendirilebilmesi olduğu söylenebilir [58]. Şekil 6.4.a.'da görüldüğü üzere ilerleme miktarı ortalama yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en önemli parametre olmaktadır [59, 60]. İlerleme miktarındaki artışla beraber kesme kuvvetlerinin de arttığı görülmektedir. İlerleme miktarının artması işlenmiş yüzeye yakın kısımlarda kesme parametrelerine bağlı olarak dislokasyon yığılmalarının oluşmasına neden olmaktadır. Oluşan bu dislokasyon yığılmaları, matrisin, dolayısıyla malzemenin sertleşmesine sebep olmaktadır. Bu da yüksek ilerleme miktarlarında, daha fazla ortalama yüzey pürüzlülüğüne neden olmaktadır [61, 62].

Şekil 6.4.b ve Şekil 6.5.c’de kesici uç cinsine bağlı olarak kesme kuvveti ve ilerleme miktarına bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğü değişimleri gösterilmektedir. Grafikler incelendiğinde kesici uç cinsinin ortalama yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkisinin sınırlı olduğu görülmektedir. Ortalama yüzey pürüzlülüğü değerinin kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak değiştiği görülmektedir. Şekil 6.5’te kesici uç cinsi, kesme hızı ve ilerleme miktarının ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri için kontrol faktörlerinin S/N oranları gösterilmektedir.



Şekil 6.5. Ortalama yüzey pürüzlülüğü için değişkenlerin S/N oranları.

Taguchi metodu için seçilen “en küçük-en iyi” prensibine göre tüm faktörlerin S/N değerinin en büyük olduğu seviye, ideal kesme şartlarını ifade etmektedir. Şekil 6.5’te verilen S/N oranları, Caldie soğuk iş takım çeliğinin sert tornalanmasında elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü üzerindeki en etkili faktörlerin sırasıyla ilerleme, kesme hızı ve kesici uç cinsi olduğunu göstermektedir.

İşlenebilirlik faktörlerinin ve seviyelerinin ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri üzerindeki etkilerinin daha iyi anlaşılabilmesi için, Şekil 6.5’deki S/N oranları Çizelge 6.7’de tablo olarak verilmiştir. Çizelge 6.5’te verilen bu değerler, faktörlerin her bir seviyesinin, ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) değişimi üzerindeki etkisini göstermektedir. Taguchi metodu sonucunda, ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) için bulunan en etkili faktörler ve seviyeler; kesici uç cinsi (2), kesme hızı (3), ilerleme miktarı (1), şeklinde olduğu anlaşılmaktadır. Bu faktörlerin ortalama yüzey

pürüzlülüğü değişimi üzerindeki etki seviyelerini istatistiksel olarak belirlenmesi amacıyla varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır (Çizelge 6.8).

Çizelge 6.5. Ortalama yüzey pürüzlülüğü faktörleri için S/N oranları.

Seviye	Kesici uç cinsi	Kesme hızı (m/dk)	İlerleme (mm/dev)
1	9.806	9.414	12.758
2	10.506	10.107	10.435
3		10.948	7.276
Delta	0.7	1.534	5.481

Çizelge 6.6'da, Caldie soğuk iş takım çeliğinin sert tornalanması ile elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü S/N oranlarının ANOVA sonuçları verilmiştir. Ortalama yüzey pürüzlülüğü üzerinde % 95 önem seviyesinde en etkili olan faktör; % 89.32 PCR değeri ile ilerleme miktarıdır. Kesme hızının PCR değeri %5.68 olarak hesaplanmıştır. Kesici uç cinsinin ortalama yüzey pürüzlülüğü üzerinde sınırlı bir etkisi olduğu görülmektedir. S/N oranları için hesaplanan ANOVA analizinde belirleme katsayısı (R^2) % 97.73 olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 6.6. Ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri için ANOVA analizi.

Faktörler	SD	KT	KO	F Değeri	P Değeri	PCR (%)
Kesici uç cinsi	1	0.003852	0.003852	14.34	0.003	2.71
Kesme hızı (m/dk)	2	0.008076	0.004038	15.03	0.001	5.68
İlerleme miktarı (mm/dev)	2	0.126799	0.063400	236.02	0.000	89.32
Hata	12	0.003223	0.000269			2.271
Toplam	7	0.141951				100

6.1.3. Kesici Takım Aşınma Davranışlarının Değerlendirilmesi

Caldie soğuk iş takım çeliğinin sert tornalanması ile kesici takımlarda oluşan aşınma davranışları incelemek amacıyla Taguchi L_{18} deney tasarımında belirtilmiş olan kesme

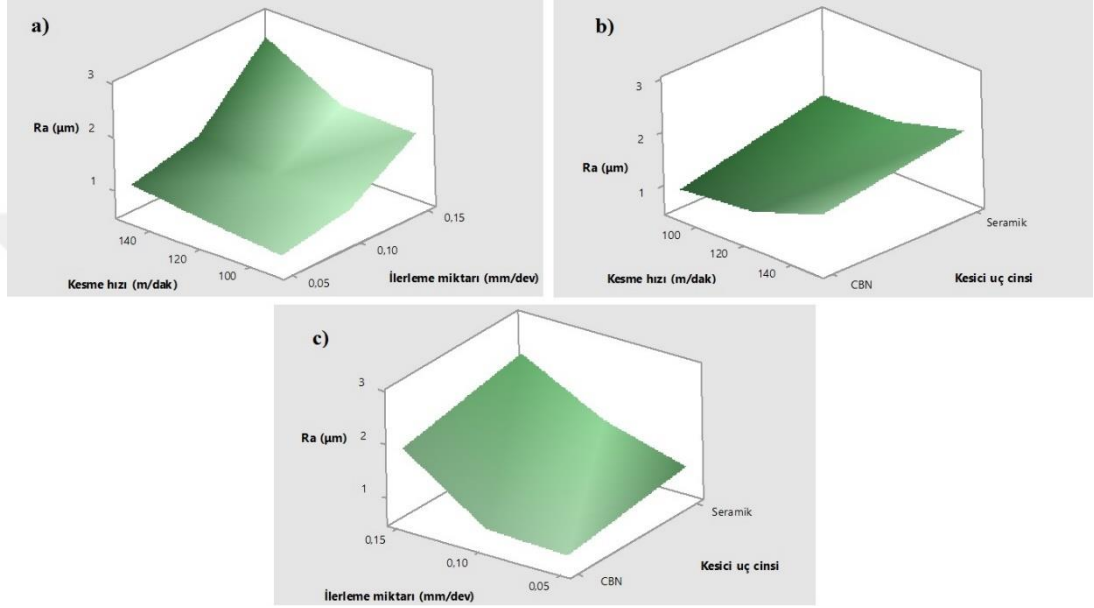
parametreleri kullanılarak her bir kesici uç ile 20 cm³ talaş kaldırılarak takımlar aşındırılmıştır. Deneysel şartlar için kesme derinliği 0.1 mm olarak sabit tutulmuştur. Caldie soğuk iş takım çeliğinin seramik ve CBN kesici takımla 20 cm³ talaş hacmi kaldırılarak sert tornalanması sonrasında ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) değerleri ve bu değerlerin “en küçük-en iyi” yaklaşımı kullanılarak hesaplanan S/N oranları Çizelge 6.7’de verilmiştir.

Çizelge 6.7. Ortalama yüzey pürüzlülük sonuçlarının değerlendirilmesi.

Deney	Değişkenler	Kesici uç cinsi	Kesme hızı (m/dk)	İlerleme miktarı (mm/dev)	R _a (µm)	S/N (dB)
1	A ₁ B ₁ C ₁	Seramik	90	0.05	0.982	0.15
2	A ₁ B ₁ C ₂	Seramik	90	0.1	1.407	-2.96
3	A ₁ B ₁ C ₃	Seramik	90	0.15	2.187	-6.79
4	A ₁ B ₂ C ₁	Seramik	120	0.05	1.054	-0.45
5	A ₁ B ₂ C ₂	Seramik	120	0.1	1.468	-3.33
6	A ₁ B ₂ C ₃	Seramik	120	0.15	2.228	-6.95
7	A ₁ B ₃ C ₁	Seramik	150	0.05	1.297	-2.25
8	A ₁ B ₃ C ₂	Seramik	150	0.1	1.807	-5.13
9	A ₁ B ₃ C ₃	Seramik	150	0.15	2.692	-8.60
10	A ₂ B ₁ C ₁	CBN	90	0.05	0.592	4.55
11	A ₂ B ₁ C ₂	CBN	90	0.1	0.661	3.59
12	A ₂ B ₁ C ₃	CBN	90	0.15	1.533	-3.71
13	A ₂ B ₂ C ₁	CBN	120	0.05	0.791	2.03
14	A ₂ B ₂ C ₂	CBN	120	0.1	0.829	1.62
15	A ₂ B ₂ C ₃	CBN	120	0.15	1.536	-3.72
16	A ₂ B ₃ C ₁	CBN	150	0.05	0.925	0.67
17	A ₂ B ₃ C ₂	CBN	150	0.1	1.018	-0.15
18	A ₂ B ₃ C ₃	CBN	150	0.15	2.626	-8.38

Çizelge 6.7.’de 20 cm³ talaş hacminin parça üzerinden sert tornalanması sonrası ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri incelendiğinde en düşük ortalama yüzey pürüzlülüğü A₂B₁C₁ kodlu deneyde 0.592 µm olarak elde edilmiştir. CBN kesici takımın kullanıldığı kesme hızınının 90 m/dk ve ilerleme miktarınının 0,05 mm/dev olduğu deneysel şartta en düşük ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri elde edilmiştir. En yüksek ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri A₁B₃C₃ kodlu deney şartında elde

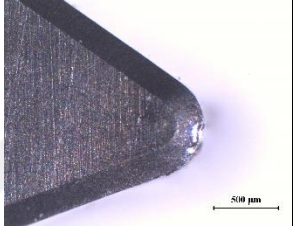
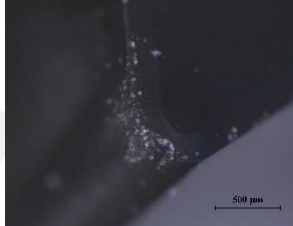
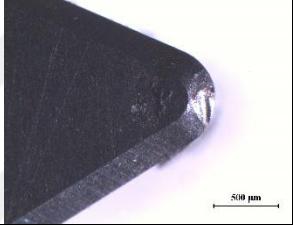
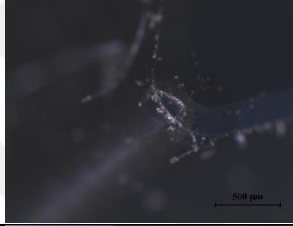
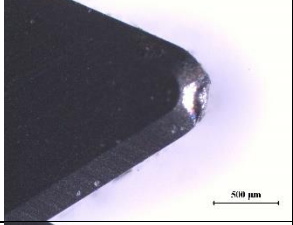

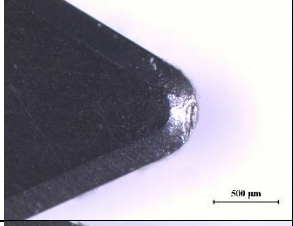

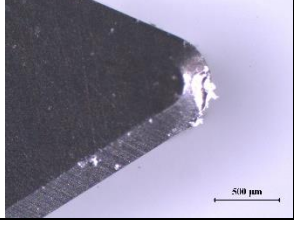

edilmiştir. Seramik kesici uç ile 150 m/dk kesme hızı ve 0,15 ilerleme miktarının kullanıldığı deneysel şartta 2,692 μm ortalama yüzey pürüzlülüğü elde edilmiştir. Şekil 6.6'da, Caldie soğuk iş takım çeliğinin seramik ve CBN uçlarla sert tornalanmasında elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin kesme parametrelerine göre değişimleri gösterilmektedir.



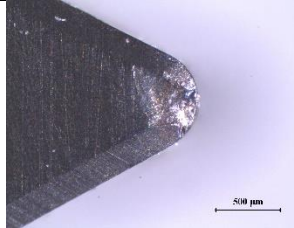
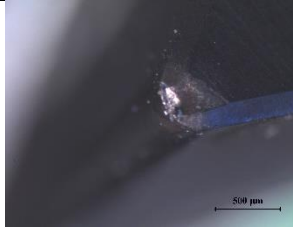
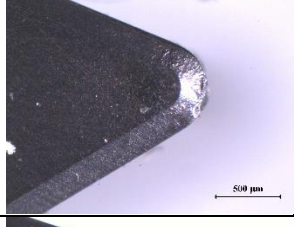
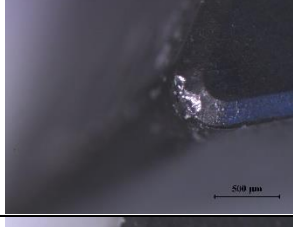
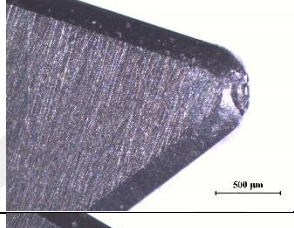
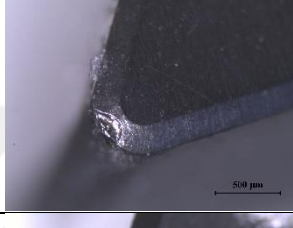
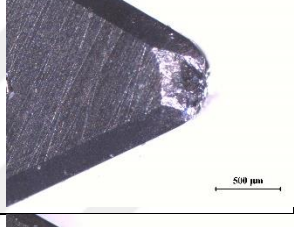
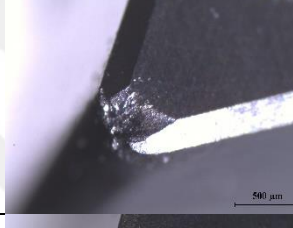
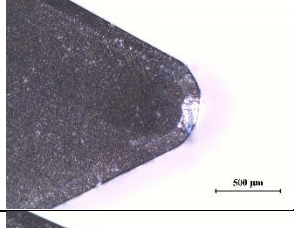

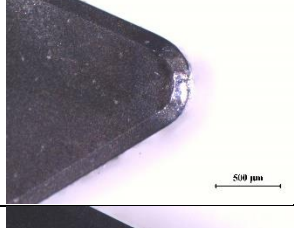
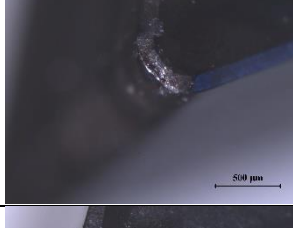
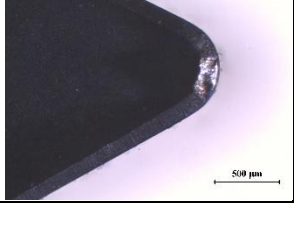
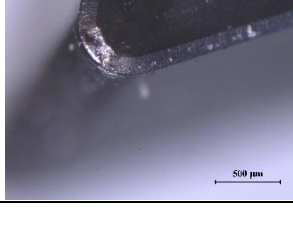
Şekil 6.6. Ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin kesme parametrelerine göre değişimleri.

Şekil 6.6.a'da verilen ortalama yüzey pürüzlülüğünün kesme parametrelerine etkisi incelendiğinde. Kesme hızının artmasıyla beraber ortalama yüzey pürüzlülüğünün arttığı görülmektedir. Kesme hızının artması takım aşınmasını hızlandırmaktadır. Daha fazla aşınan kesici uç daha kötü bir ortalama yüzey pürüzlülüğü oluşturmasından ötürü kesme hızının artması ortalama yüzey pürüzlülüğünü olumsuz etkilemektedir [58]. Aynı şekilde ilerleme miktarının artması kesici takımında gerçekleşen aşınma mekanizmalarını artırması kesici takımın oluşturacağı yüzey pürüzlüğü değerini de artırmaktadır [28]. Şekil 6.6.b ve Şekil 6.6.c'de kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak kesici takımların ortalama yüzey pürüzlülüğüne etkileri gösterilmektedir. CBN kesici uç ile daha iyi ortalama yüzey pürüzlülük değerleri elde edildiği görülmektedir. CBN kesici uçların yüksek kesme sıcaklıkları ve kuvvetlerine daha dayanıklı oldukları bilinmektedir. Ayrıca, CBN geleneksel olarak kullanılan taşlama yöntemlerinin yerini

alabilen, tek kesici takım malzemesidir. 45 HRC'nin altındaki daha sünek çelikler, CBN'nin aşınma direnci üzerine negatif bir etkisi olan daha yüksek ferrit oranı içermektedir [63]. Bu nedenle, malzemenin sert olması (45 HRC ve üzeri) CBN kesicilerin hem ömrü, hem de işlenen yüzeyin kalitesi açısından olumlu bir rol oynamaktadır. Bu durum CBN kesici uçların seramik kesici uçlara göre daha iyi bir takım ömrü sağladığını ifade etmektedir. Şekil 6.7'de 20 cm³ talaş hacmi sert tormalandıktan sonra kesici takımlarda oluşan aşınma durumları gösterilmektedir.

<p>Deney sırası: 1 Kesici uç: Seramik V: 90 m/dak f: 0.05 mm/dev R_a : 0.982 µm</p>		
<p>Deney sırası: 2 Kesici uç: Seramik V: 90 m/dak f: 0.1 mm/dev R_a : 1.407 µm</p>		
<p>Deney sırası: 3 Kesici uç: Seramik V: 90 m/dak f: 0.15 mm/dev R_a : 2.187 µm</p>		
<p>Deney sırası: 4 Kesici uç: Seramik V: 120 m/dak f: 0.05 mm/dev R_a : 1.054 µm</p>		
<p>Deney sırası : 5 Kesici uç: Seramik V: 120 m/dak f: 0.1 mm/dev R_a : 1.468 µm</p>		

Şekil 6.7. Sert tormalama sonrası aşınan kesici uçlar.

<p>Deney sırası: 6 Kesici uç: Seramik V: 120 m/dak f: 0.15 mm/dev R_a : 2.228 μm</p>		
<p>Deney sırası: 7 Kesici uç: Seramik V: 150 m/dak f: 0.05 mm/dev R_a : 1.297 μm</p>		
<p>Deney sırası: 8 Kesici uç: Seramik V: 150 m/dak f: 0.1 mm/dev R_a : 1.807 μm</p>		
<p>Deney sırası: 9 Kesici uç: Seramik V: 150 m/dak f: 0.15 mm/dev R_a : 2.692 μm</p>		
<p>Deney sırası: 10 Kesici uç: CBN V: 90 m/dak f: 0.05 mm/dev R_a : 0.592 μm</p>		
<p>Deney sırası: 11 Kesici uç: CBN V: 90 m/dak f: 0.1 mm/dev R_a : 0.661 μm</p>		
<p>Deney sırası: 12 Kesici uç: CBN V: 90 m/dk f: 0.15 mm/dev R_a : 1.533 μm</p>		

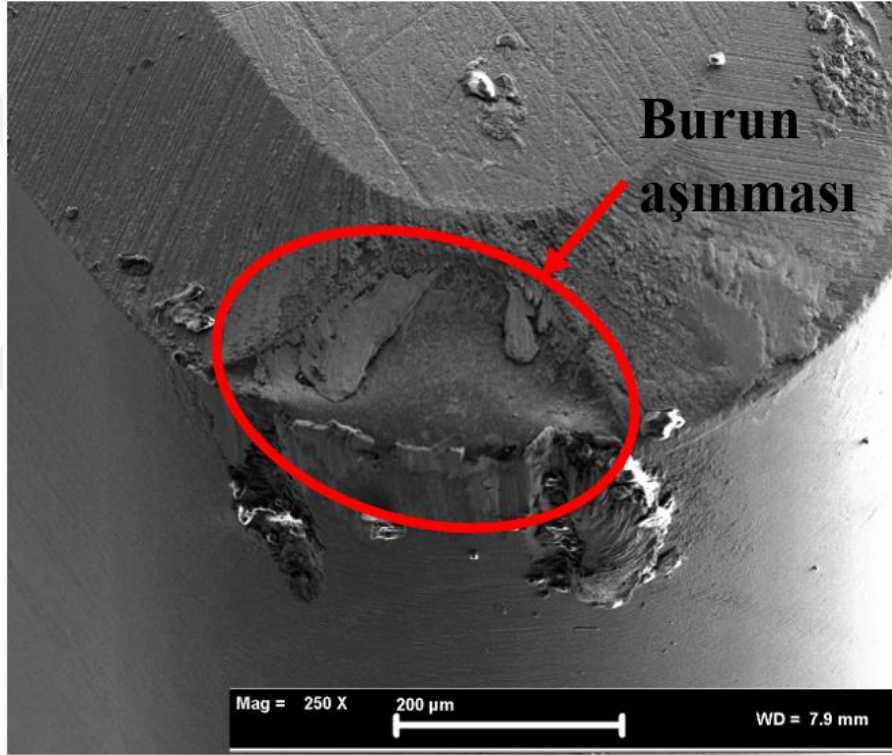
Şekil 6.7. (devam ediyor).

<p>Deney sırası: 13 Kesici uç: CBN V: 120 m/dak f: 0.05 mm/dev R_a : 0.791 μm</p>		
<p>Deney sırası: 14 Kesici uç: CBN V: 120 m/dak f: 0.1 mm/dev R_a : 0.829 μm</p>		
<p>Deney sırası: 15 Kesici uç: CBN V: 120 m/dak f: 0.15 mm/dev R_a : 1.536 μm</p>		
<p>Deney sırası: 16 Kesici uç: CBN V: 150 m/dak f: 0.05 mm/dev R_a : 0.925 μm</p>		
<p>Deney sırası: 17 Kesici uç: CBN V: 150 m/dak f: 0.1 mm/dev R_a : 1.018 μm</p>		
<p>Deney sırası: 18 Kesici uç: CBN V: 150 m/dak f: 0.15 mm/dev R_a : 2.626 μm</p>		

Şekil 6.7. (devam ediyor).

Şekil 6.7. incelendiğinde artan kesme hızı ile birlikte kesici takımların daha fazla aşındığı görülmektedir. Talaş derinliğinin 0.1 olması, aşınmanın kesici takımın burun kısmında olmasına neden olmuştur. İlerleme miktarı aynı şekilde kesici takımında aşınmayı hızlandıran diğer bir parametredir. Şekil 6.7 ve Çizelge 6.7'deki işleme sonrası ortalama yüzey pürüzlülük değerleri incelendiğinde CBN kesicilerin seramik

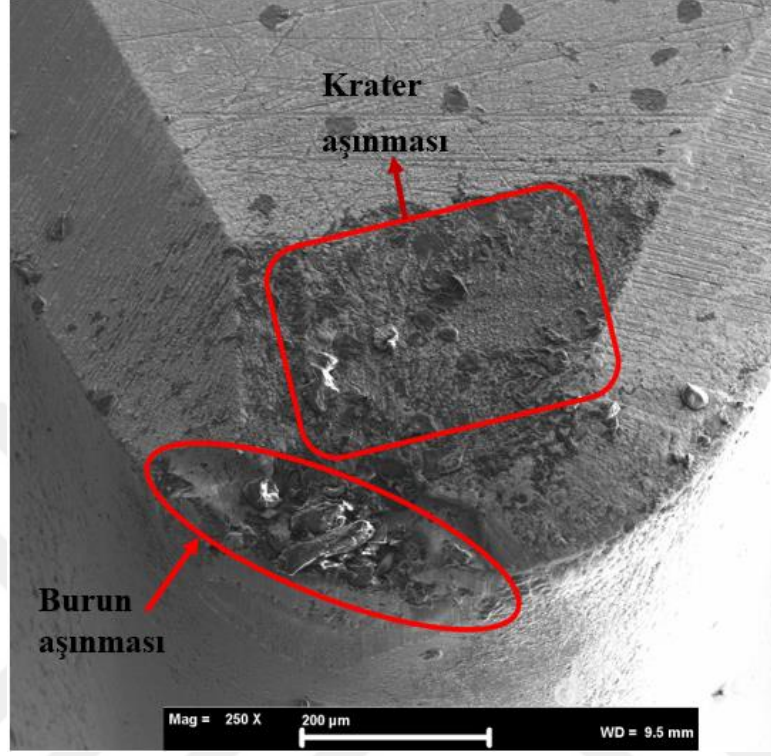
kesicilere göre daha iyi bir işleme performansı, aşınmaya karşı daha dayanıklı olduğu görülmektedir. Şekil 6.8’de seramik kesici uç ile 150 m/dak kesme hızı, 0.15 mm/Dev ilerleme miktarı kullanılarak yapılan sert tornalama işleme sonrası kesici uçta gerçekleşen aşınma SEM görüntüsü görülmektedir. Şekil 6.8 incelendiğinde kesici uçta burun aşınması olduğu görülmektedir. Kesici uçun burun kısmının parçaya nüfuz etmesi ile oluşan burun aşınması, adhezyon, aşırı sıcaklık artışı ve kesme gerilemelerinin oluşması ile meydana gelmektedir [38]. Yüksek kesme hızı kesici uçta aşırı sıcaklık artışına neden olmaktadır. Bu durum kesici uçun daha fazla aşınmasını sağlar.



Şekil 6.8. Seramik kesici uç, kesme hızı 150 m/dak, ilerleme miktarı 0.15 mm/dev.

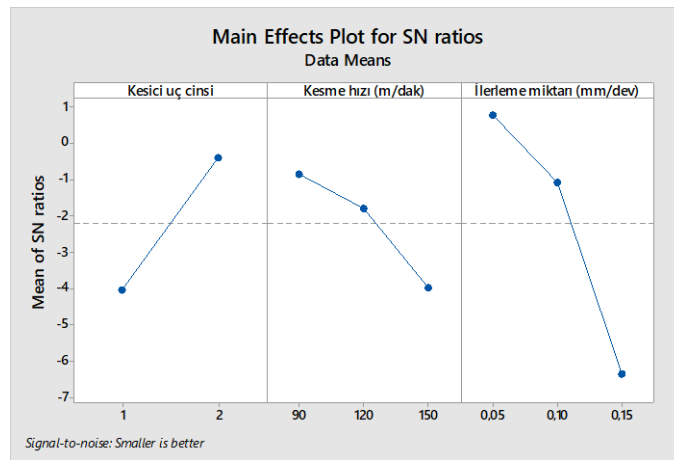
Şekil 6.9’da CBN kesici uç ile 150 m/dak kesme hızı, 0.15 mm/Dev ilerleme miktarı kullanılarak yapılan sert tornalama işleme sonrası kesici uçta gerçekleşen aşınma mekanizmaları gösterilmektedir. CBN kesici uç üzerinde seramik kesici uçta olduğu gibi burun aşınması gerçekleşmiştir. Ayrıca kesici ucun burun kısmına nüfuz eden iş parçası parçacıkları görülmektedir. Kesici uçta oluşan krater aşınması da talaş yüzeyinin en sıcak kısmında oluşan difüzyondur [31]. Şekil 6.8 ve Şekil 6.9’da

gerçekleşen burun aşınmaları kıyaslandığında seramik kesici takımında daha geniş bir burun aşınması gerçekleştiği görülmektedir.



Şekil 6.9. CBN kesici uç, kesme hızı 150 m/dak, ilerleme miktarı 0.15 mm/dev.

Şekil 6.10'da, seramik ve CBN kesici takımla elde edilen R_a değerleri için kontrol faktörlerinin S/N oranları verilmektedir.



Şekil 6.10. Ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) için kesme parametrelerinin (kontrol faktörleri) S/N oranları.

Taguchi metodu için seçilen “en küçük-en iyi” prensibine göre tüm faktörlerin S/N değerinin en büyük olduğu seviye, ideal kesme şartlarını ifade etmektedir. Şekil 6.10’de verilen S/N oranları, Caldie soğuk iş takım çeliğinin seramik ve CBN kesici uç ile sert tornalanmasında elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü üzerindeki en etkili faktörlerin sırasıyla ilerleme miktarı, kesici uç cinsi ve kesme hızı olduğunu göstermektedir.

Bu faktörlerin ve seviyelerinin ortalama yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerinin daha iyi anlaşılabilmesi için, Şekil 6.10’daki S/N oranları Çizelge 6.8’de tablo olarak verilmiştir. Çizelge 6.8’de verilen bu değerler, faktörlerin her bir seviyesinin, ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) değişimi üzerindeki etkisini göstermektedir. Taguchi metodu sonucunda, ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) için bulunan en etkili faktörler ve seviyeler; kesici uç cinsi (2), kesme hızı (1), ilerleme miktarı (1) şeklinde olduğu anlaşılmaktadır. Bu faktörlerin ortalama yüzey pürüzlülüğü değişimi üzerindeki etki seviyelerini istatistiksel olarak belirlenmesi amacıyla varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır (Çizelge 6.9).

Çizelge 6.8. Ortalama yüzey pürüzlülüğü faktörleri için S/N oranları.

Seviye	Kesici uç cinsi	Kesme hızı (m/dk)	İlerleme (mm/dev)
1	-4.0394	-0.8611	0.7849
2	-0.3875	-1.8020	-1.0616
3		-3.1161	-6.3636
Delta	3.6519	3.1161	7.1485

Çizelge 6.9’da, Caldie soğuk iş takım çeliğinin seramik ve CBN kesici uçlar ile sert tornalanması işlenmesinde elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü S/N oranlarının ANOVA sonuçları verilmiştir. Çizelge 6.9’dan, ortalama yüzey pürüzlülüğüne etki eden faktörlerin etki oranları (%) net olarak anlaşılmaktadır. Ortalama yüzey pürüzlülüğü üzerinde % 95 önem seviyesinde etkili olan faktör; % 64,3 PCR değeri ile ilerleme miktarıdır. % 16,29 ile kesici uç cinsi ortalama yüzey pürüzlülüğünde etkili olmakta iken %11.77 ile kesme hızının ortalama yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkisi olduğu görülmektedir. S/N oranları için yapılan ANOVA analizinde belirleme katsayısı (R^2) % 93,38 olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 6.9. Ortalama yüzey pürüzlülüğü ANOVA analizi.

Faktörler	SD	KT	KO	F Değeri	P Değeri	PCR (%)
Kesici uç cinsi	1	1.1812	1.18118	29.56	0	16.29
Kesme hızı (m/dk)	2	0.8534	0.42668	10.68	0.002	11.77
İlerleme miktarı (mm/dev)	2	4.7319	2.36594	59.22	0	65.3
Hata	12	0.4795	0.03995			6.61
Toplam	17	7.2459				100

BÖLÜM 7

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, ısıl işlem uygulanarak ortalama sertliği 60 HRC olan Caldie soğuk iş takım çeliği sert tornalanmıştır. Bitirme tornalaması operasyonlarında oluşan esas kesme kuvveti (F_c) ve ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) için kesme parametrelerinin optimum seviyeleri belirlenmiştir. İşlenebilirlik parametreleri olan kesici uç cinsi, kesme hızı ve ilerleme miktarının değişken seviyelerinin F_c ve R_a üzerindeki etkileri deneysel ve istatistiksel olarak incelenmiştir. Ayrıca iş parçası üzerinden 20 cm^3 talaş hacmi kaldırılarak kesici uçta oluşan aşınmalar incelenmiştir. İş parçası ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri için optimum işleme parametreleri belirlenmiştir ve parametrelerin ortalama yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri istatistiksel olarak incelenmiştir. Bu çalışma ile ulaşılan sonuçlar ve öneriler aşağıda verilmiştir.

- Deneysel sonuçlar her iki kesici takım ile işleme yaparken ilerleme miktarının artmasının kesme kuvvetlerini arttırdığını göstermektedir. Kesme hızının artması kesme kuvvetlerini düşmesine neden olduğunu göstermektedir.
- Ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri, ilerleme miktarının artmasıyla beraber artış göstermektedir. Kesme hızın da gerçekleşen artışlar daha düşük ortalama yüzey pürüzlülük değerleri elde edilmesini sağlamaktadır.
- Kesici uç aşınma deneyleri sonucunda ilerleme miktarının artması kesici uçta daha fazla aşınma ve daha yüksek bir ortalama yüzey pürüzlülük değerinin oluşmasına neden olduğunu göstermiştir.
- Kesici uç aşınma deneylerinde artan kesme hızının, kesme bölgesinde sıcaklığın artmasını kontrol eden faktör olduğundan dolayı, kesme hızının artması takımın daha fazla aşınmasına yol açtığı belirlenmiştir. Daha fazla

aşınan takım daha yüksek ortalama yüzey pürüzlülük değerinin oluşmasına neden olmaktadır.

- Kesici uç aşınma deneyleri sonucunda CBN kesici uçun seramik kesici uca göre aşınmaya karşı daha dayanıklı olduğu ve CBN kesici uç ile yapılan deneylerde daha düşük ortalama yüzey pürüzlülük değerleri elde edildiğini göstermiştir.
- Düşük ilerleme miktarı ve yüksek kesme hızı düşük bir ortalama yüzey pürüzlülük değeri sağlarken, kesme hızındaki artışlar kesici takım daha fazla aşınmasına neden olmaktadır.
- Deneysel çalışma sonucunda en düşük esas kesme kuvveti değeri, A₂B₃C₁ kodlu deneyde elde edilmiştir. CBN kesici uçun kullanıldığı, kesme hızının 150 m/dak ve ilerleme miktarının 0.05 mm/dev olduğu işleme şartlarında esas kesme kuvveti 96.78 N olarak ölçülmüştür.
- Esas kesme kuvvetinin en yüksek elde edildiği deney şartı A₁B₃C₃ şeklindedir. Seramik kesici uçun kullanıldığı, kesme hızının 90 m/dak ve ilerleme miktarının 0.15 mm/dev olduğu işleme şartlarında esas kesme kuvveti 267.2 N olarak elde edilmiştir.
- Deneysel çalışma sonunda en düşük ortalama yüzey pürüzlülüğü A₂B₃C₁ kodlu deneyde elde edilmiştir. CBN kesici ucun kullanıldığı, kesme hızının 150 m/dak, ilerleme miktarının 0.05 mm/dev olduğu deney şartlarında, ortalama yüzey pürüzlülüğü 0.196 µm ölçülmüştür.
- En yüksek ortalama yüzey pürüzlülüğünün elde edildiği deney şartı A₁B₁C₃ kodlu deneydir. Seramik kesici ucun kullanıldığı kesme hızı 90 m/dak, ilerleme miktarının 0.15 mm/dev olduğu deneyde, ortalama yüzey pürüzlülüğü 0.498 µm olarak ölçülmüştür.

- Takım aşınması deneylerinde en düşük ortalama yüzey pürüzlülüğü $A_2B_1C_1$ kodlu deneyde $0.592 \mu\text{m}$ olarak elde edilmiştir. CBN kesici takımın kullanıldığı kesme hızının 90 m/dk ve ilerleme miktarının $0,05 \text{ mm/dev}$ olduğu deneysel şartta en düşük ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri elde edilmiştir. En yüksek ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri $A_1B_3C_3$ kodlu deney şartında elde edilmiştir. Seramik kesici uç ile 150 m/dk kesme hızı ve $0,15$ ilerleme miktarının kullanıldığı deneysel şartta $2,692 \mu\text{m}$ ortalama yüzey pürüzlülüğü elde edilmiştir.
- Talaş derinliğinin sabit tutulduğu bu deneysel çalışmada, farklı talaş derinliği parametreleri uygulanarak deney seti genişletilebilir. Talaş derinliğinin sert tornalamaya olan etkisi kesici uç cinsi dikkate alınarak değerlendirilebilir.
- Caldie soğuk iş takım çeliğinin sert tornalanmasında işlenebilirlik seviyelerinin tahmini için matematiksel modeller oluşturulabilir.

KAYNAKLAR

1. Poulachon, G., Moisan, A. and Jawahir, I. S., "Tool-wear mechanisms in hard turning with polycrystalline cubic boron nitride tools". *Wear*, 250 (1–12): 576–586 (2001).
2. Çetinkaya, C., "An investigation of the wear behaviours of white cast irons under different compositions", *Materials & Design*, 27 (6): 437–445 (2006).
3. Carpenter, S. D., Carpenter, D. and Pearce, J. T. H., "XRD and electron microscope study of a heat treated 26.6% chromium white iron microstructure", *Materials Chemistry And Physics*, 101 (1): 49–55 (2007).
4. Thiele, J. D. and N. Melkote, S., "Effect of cutting edge geometry and workpiece hardness on surface generation in the finish hard turning of AISI 52100 steel", *Journal of Materials Processing Technology*, 94 (2–3): 216–226 (1999).
5. Horng, J.-T., Liu, N.-M. and Chiang, K.-T., "Investigating the machinability evaluation of Hadfield steel in the hard turning with Al₂O₃/TiC mixed ceramic tool based on the response surface methodology", *Journal of Materials Processing Technology*, 208 (1–3): 532–541 (2008).
6. Pavel, R., Marinescu, I., Deis, M. and Pillar, J., "Effect of tool wear on surface finish for a case of continuous and interrupted hard turning", *Journal of Materials Processing Technology*, 170 (1–2): 341–349 (2005).
7. Lahiff, C., Gordon, S. And Phelan, P., "PCBN tool wear modes and mechanisms in finish hard turning", *Robotics And Computer-Integrated Manufacturing*, 23 (6): 638–644 (2007).
8. Aouici, H., Yallese, M. A., Chaoui, K., Mabrouki, T. and Rigal, J.-F., "Analysis of surface roughness and cutting force components in hard turning with CBN tool: Prediction model and cutting conditions optimization", *Measurement*, 45 (3): 344–353 (2012).
9. Davies, M. A., Chou, Y. and Evans, C. J., "On Chip Morphology, Tool Wear and Cutting Mechanics in Finish Hard Turning", *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 45 (1): 77–82 (1996).
10. Liu, X. ., Wen, D. ., Li, Z. ., Xiao, L. and Yan, F. ., "Experimental study on hard turning hardened GCr15 steel with PCBN tool", *Journal of Materials Processing Technology*, 129 (1–3): 217–221 (2002).

11. Gaitonde, V. N., Karnik, S. R., Figueira, L. and Paulo Davim, J., "Machinability investigations in hard turning of AISI D2 cold work tool steel with conventional and wiper ceramic inserts", *International Journal of Refractory Metals And Hard Materials*, 27 (4): 754–763 (2009).
12. Elbah, M., Yallese, M. A., Aouici, H., Mabrouki, T. and Rigal, J. F., "Comparative assessment of wiper and conventional ceramic tools on surface roughness in hard turning AISI 4140 steel", *Measurement: Journal of The International Measurement Confederation*, 46 (9): 3041–3056 (2013).
13. Asiltürk, I. and Akkuş, H., "Determining the effect of cutting parameters on surface roughness in hard turning using the Taguchi method", *Measurement: Journal of The International Measurement Confederation*, 44 (9): 1697–1704 (2011).
14. Lalwani, D. I., Mehta, N. K. and Jain, P. K., "Experimental investigations of cutting parameters influence on cutting forces and surface roughness in finish hard turning of MDN250 steel", *Journal of Materials Processing Technology*, 206 (1–3): 167–179 (2008).
15. Fnides, B., Aouici, H. and Yallese, M. a., "Cutting forces and surface roughness in hard turning of hot work steel X38CrMoV5-1 using mixed ceramic", *Mechanika*, 70 (2): 73–77 (2008).
16. Meddour, I., Yallese, M. A., Khattabi, R., Elbah, M. and Boulanouar, L., "Investigation and modeling of cutting forces and surface roughness when hard turning of AISI 52100 steel with mixed ceramic tool: cutting conditions optimization", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 77 (5–8): 1387–1399 (2015).
17. Aouici, H., Bouchelaghem, H., Yallese, M. A., Elbah, M. and Fnides, B., "Machinability investigation in hard turning of AISI D3 cold work steel with ceramic tool using response surface methodology", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 73 (9–12): 1775–1788 (2014).
18. Azizi, M. W., Belhadi, S., Yallese, M. A., Mabrouki, T. and Rigal, J.-F., "Surface roughness and cutting forces modeling for optimization of machining condition in finish hard turning of AISI 52100 steel", *Journal of Mechanical Science And Technology*, 26 (12): 4105–4114 (2012).
19. ASM Metals HandBook Volume 1- Properties and Selections - Irons Steels and High and Performance, *Technology*, 23470 (2001).
20. Jiang, Q., Feng, H. Y., OuYang, D., and Desta, M. T. "A roundness evaluation algorithm with reduced fitting uncertainty of CMM measurement data", *Journal of Manufacturing Systems*, 25 (3): 184–195 (2006).

21. Çetinarslan, C., "Sertleştirilmiş Soğuk-İş Takım Çeliklerinin Yorulma Dayanımlarının Deneysel Olarak Araştırılması", *Trakya Üniversitesi*, 21-73 (1997).
22. Arslan, F. K., "Soğuk İş Takım Çeliklerinde Sıfırlı İşlem Derecesinin Mekanik Özelliklere Etkisi", *Sakarya Üniversitesi*, 1-110 (2010).
23. Parlak, N., "AISI D6 Soğuk İş Takım Çeliğinin Tornalamasında Takım Aşınması ve Yüzey Pürüzlülüğünün İncelenmesi", *Fırat Üniversitesi*, 1-70 (2012).
24. Internet:” Uddeholm, Uddeholm Caldie”, http://www.uddeholm.com/files/PB_caldie_english.pdf (2017).
25. İnternet: Kurşunel Çelik, "Kurşunel Çelik", <http://www.kursunelcelik.com.tr/online-katalog/files/assets/downloads/page0047.pdf> (2017).
26. Kuş, A., "AISI 52100 Rulman Çeliğinin Tornalamasında Uygun Kesici Takım ve Kesme Parametrelerinin Belirlenmesi", *Karabük Üniversitesi*, 1-84 (2013).
27. Koçak, H., Gülesin, M. and Uzun, G., "GGG 90 Küresel Grafitli Dökme Demirin İşlenebilirliğinin Kesme Kuvvetleri ve Yüzey Pürüzlülüğü Açısından Değerlendirilmesi", *ISITES*, 295–301 (2014).
28. Karayel, B., "Ç 4140 Malzemesinin Tornalanmasında İlerleme, Kesme Hızı ve Kesici Takımın Yüzey Pürüzlülüğü, Takım Ömrü Ve Aşınmaya Etkileri", *Gazi Üniversitesi*, 1-78 (2015).
29. Çakır, M. C., "Modern Talaşlı İmalatın Esasları", *Dora Yayınları*, 1-270 (2010).
30. Groover, M. P., "Fundamentals of Modern Manufacturing", *Journal of Chemical Information and Modeling*, 1-1028 (2013).
31. Yıldız, T., "Ti₆Al₄V Alaşımının Tornalanmasında İşleme Parametrelerinin Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü ve Kesme Kuvveti Üzerindeki Etkisinin Araştırılması", *Karabük Üniversitesi*, (2015).
32. Sarıkaya, M., "Kobalt Esaslı Haynes 25 Süper Alaşımın İşlenebilirliğinin İncelenmesi", *Gazi Üniversitesi*, 1-85 (2014).
33. Trent, E. M. and Wright, P. K., "Metal Cutting", *Metal Cutting*, 4. Ed, *Butterworth-Heinemann*, 311-337 (2000).
34. Yurtkuran, H., "DIN 1.2344 Çeliğinin Tornalanmasında Oluşan Kesme Kuvvetleri Ve Yüzey Pürüzlülüğünün Modellenmesi", *Karabük Üniversitesi*, 1-99 (2013).
35. Degarmo, E. P., Black, J. T. and Kohser, R. A., "Materials and Process in Manufacturing", *Wiley*, 355 (2003).

36. Pul, M., "Al Matrisli MgO Takviyeli Kompozitlerin İnfiltrasyon Yöntemi İle Üretilmesi Ve İşlenebilirliğinin Değerlendirilmesi", *Gazi üniversitesi*, 1-176 (2010).
37. Nilay Aslan, "Ti-6Al-4V Alaşımının İşlenmesinde Kriyojenik Soğutmanın Yüzey Pürüzlülüğü Üzerindeki Etkisinin Araştırılması", *Afyon Kocatepe Üniversitesi*, 1-78 (2012).
38. Özdemir, U. and Erten, M., "Talaşlı İmalat Sırasında Kesici Takımda Meydana Gelen Hasar Mekanizmaları Ve Takım Hasarını Azaltma Yöntemleri", *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, 1 (1): 37–50 (2003).
39. Emre Gündoğdu, "Kesme Sıvılı ve Kuru Talaşlı İşlemenin İş Parçası ve Kesici Takım Üzerindeki Etkileri", *Yıldız Teknik Üniversitesi*, 1-159 (2007).
40. Çiftçi, İ., "Alüminyum Esaslı Kompozitlerde Takviye Oranı ve Boyutunun Mekanik Özellikler Ve İşlenebilirlik Üzerine Etkisinin Araştırılması", *Gazi Üniversitesi*, 1-120 (2003).
41. Şenkal, D., "Yüzeyi Sertleştirilmiş Soğuk İş Kalıp Çeliklerinin Tornalanması İşlemlerinde Takım Ömrü-Kesme Parametreleri İlişkisinin İncelenmesi", Uludağ Üniversitesi, (2012).
42. Kaçal, A., Gülesin, M. and Melek, F., "GG 40 Küresel Grafitli Dökme Demirlerin İnce Tornalama Operasyonlarında Kesme Kuvvetlerinin Ve Yüzey Pürüzlülüğünün Değerlendirilmesi", *Politeknik Dergisi*, 11 (3): 229–234 (2008).
43. Altınkaya, E., "AISI 316 Östenitik Çeliğin İşlenmesinde Kesme Değerlerinin ve Takım Kaplamasının Yüzey Pürüzlülüğüne ve Takım Aşınmasına Etkilerinin İncelenmesi", *Gazi Üniversitesi*, 1-92(2006).
44. Taylan, F., "Sert Malzemelerin Frezelenmesinde Takım Aşınma Davranışlarının Belirlenmesi", *Süleyman Demirel Üniversitesi*, 1-181(2009).
45. Sherrington, I. and Smith, E. H., "Parameters for Characterizing the Surface Topography of Engineering Components", *Proceedings Of The Institution Of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 201 (4): 297–306 (1987).
46. Zhou, J. M., Walter, H., Andersson, M. and Stahl, J. E., "Effect Of Chamfer Angle On Wear Of PCBN Cutting Tool", *International Journal of Machine Tools And Manufacture*, 43 (3): 301–305 (2003).
47. Grzesik, W., Rech, J. and Wanat, T., "Surface finish on hardened bearing steel parts produced by superhard and abrasive tools", *International Journal of Machine Tools And Manufacture*, 47 (2): 255–262 (2007).

48. Zhou, J. M., Andersson, M. and Ståhl, J. E., "Identification of cutting errors in precision hard turning process", *Journal of Materials Processing Technology*, 153746–750 (2004).
49. Tönshoff, H. K., Arendt, C. and Amor, R. Ben, "Cutting of Hardened Steel", *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 49 (2): 547–566 (2000).
50. Huang, Y., Chou, Y. K. and Liang, S. Y., "CBN tool wear in hard turning: a survey on research progresses", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 35 (5–6): 443–453 (2007).
51. Sood, R., Guo, C. and Malkin, S., "Turning of Hardened Steels", *Journal of Manufacturing Processes*, 2 (3): 187–193 (2000).
52. Klocke, F., Brinksmeier, E. and Weinert, K., "Capability Profile of Hard Cutting and Grinding Processes", *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 54 (2): 22–45 (2005).
53. Abrão, A. M. and Aspinwall, D. K., "The Surface Integrity Of Turned And Ground Hardened Bearing Steel", *Wear*, 196 (1–2): 279–284 (1996).
54. Smith, S., Melkote, S. N., Lara-Curzio, E., Watkins, T. R., Allard, L. and Riester, L., "Effect of surface integrity of hard turned AISI 52100 steel on fatigue performance", *Materials Science And Engineering: A*, 459 (1): 337–346 (2007).
55. Scheffer, C., Kratz, H., Heyns, P. S. and Klocke, F., "Development of a tool wear-monitoring system for hard turning", *International Journal of Machine Tools And Manufacture*, 43 (10): 973–985 (2003).
56. Internet: Coromant, S., "CBN ile sert parça tornalama", <https://www.sandvik.coromant.com/sitecollectiondocuments/downloads/global/catalogues/tr-tr/c-2940-137.pdf> (2017).
57. Korkut, İ. ve Dönertaş, M. A., "Kesme Parametrelerinin Frezelemede Oluşan Kesme Kuvvetleri Üzerindeki Etkileri", *Politeknik Dergisi*, 6 (1): 385–389 (2003).
58. Karayel, B. ve Nalbant, M., "Ç4140 Malzemesinin Tornalamasında İlerleme, Kesme Hızı ve Kesici Takımın Yüzey Pürüzlülüğü, Takım Ömrü ve Aşınmaya Etkileri", *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 11 (3): 11–26 (2014).
59. Agrawal, A., Goel, S., Rashid, W. Bin and Price, M., "Prediction of surface roughness during hard turning of AISI 4340 steel (69 HRC)", *Applied Soft Computing*, 30279–286 (2015).
60. Hessainia, Z., Belbah, A., Yallese, M. A., Mabrouki, T. and Rigal, J.-F., "On the prediction of surface roughness in the hard turning based on cutting parameters and tool vibrations", *Measurement*, 46 (5): 1671–1681 (2013).

61. El-Gallab, M. and Sklad, M., "Machining of Al/SiC particulate metal matrix composites part III: comprehensive tool wear models", *Journal of Materials Processing Technology*, 101 (1–3): 10–20 (2000).
62. Abukhshim, N. A., Mativenga, P. T. and Sheikh, M. A., "Heat generation and temperature prediction in metal cutting: A review and implications for high speed machining", *International Journal of Machine Tools And Manufacture*, 46 (7): 782–800 (2006).
63. Kalyon, A., "Yüksek Kromlu Beyaz Dökme Demirlerin Aşınma Davranışlarının ve İşlenebilirliğinin Deneysel Olarak İncelenmesi", *Karabük üniversitesi*, 1-96 (2015).



ÖZGEÇMİŞ

Mustafa Taha ÖZCAN 26.07.1982 tarihinde KIRIKKALE' de doğdu. İlkokul ve ortaokul öğrenimini aynı şehirde tamamladı. Kırıkkale Endüstri Meslek Lisesi Tesviye bölümünden mezun oldu. 2001 Yılında Kırıkkale Üniversitesi M.Y.O. Makine bölümüne başladı. 2003 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Talaşlı Üretim Öğretmenliği bölümüne başlayarak 2007 yılında mezun oldu. 2008 yılında askerlik görevini tamamladı. Kırıkkale Üniversitesi M.Y.O. Makine bölümünden 2009 yılında mezun oldu. 2008-2015 yılları arasında imalat sektöründe çalıştı. 2015 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Eğitimine başladı. 2017 yılında başladığı mühendislik tamamlama programına Niğde Ömer HALİSDEMİR Üniversitesi' nde devam etmektedir. Halen VW grubu yedek parça sektöründe çalışmaktadır.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Ostim Mahallesi 1317. Cadde
Yeni Mücevherkent sitesi
5C Blok No:55
06374 / Yenimahalle / ANKARA
Tel-GSM : 0 370 433 82 00
E-posta : ozcantahamustafa@gmail.com