11SMnPb30 ÇELİĞİNİN İŞLENEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

2015
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ

İsmail KORKMAZ

11SMnPb30 ÇELİĞİNİN
İŞLENEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

İsmail KORKMAZ

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında

Yüksek Lisans Tezi

Olarak Hazırlanmıştır

KARABÜK

Haziran 2015

İsmail KORKMAZ tarafından hazırlanan "11SMnPb30 ÇELİĞİNİN İŞLENEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ" başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

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

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir. 16/06/2015

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu) İmzası

Başkan : Prof. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ (KBÜ) ……..

Üye : Doç. Dr. Halil DEMİR (KBÜ) ……..

Üye : Yrd. Doç. Dr. Yakup TURGUT (GÜ) ……..

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

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

Prof. Dr. Nevin AYTEMİZ ……..
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

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

İsmail KORKMAZ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

11SMnPb30 ÇELİĞİNİN İŞLENEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

İsmail KORKMAZ

Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:
Prof. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ
Haziran 2015, 78 sayfa

Bu çalışmada kapı kilidi sürgü mili imalatında kullanılan 11SMnPb30 çelik malzeme üzerinde alın tornalama yöntemiyle işlenebilirlik deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneyler öncelikli olarak aynı geometriye sahip üç farklı üreticiden temin edilen karbür ve bir de sermet kesici takım kullanılarak sabit bir devir sayısı ve farklı ilerleme değerlerinde kesme sıvısı kullanılmadan gerçekleştirilmiştir. Farklı kesici takımların ve ilerleme değerlerinin yüzey pürüzlülüğüne etkileri incelenmiştir. Sermet kesici takım yüzey pürüzlülüğü bakımından önemli derecede üstünlük göstermesi nedeniyle ikinci aşamada deneyler farklı devir sayıları ve ilerleme değerlerinde yalnızca sermet kesici takımlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, kesici takım uç yarıçapının da etkisini incelemek amacıyla iki farklı uç yarıçapına sahip sermet kesici takımlar da kullanılmıştır. Tarama elektron mikroskobu (SEM) ile aşınmış kesici takımlar ayrıntılı olarak incelenmiştir. Yüzey pürüzlülük değerleri artan devir sayıları ile belirli bir seviyeye kadar düşmüş ancak devir sayısının daha fazla artışı ile artmıştır. Kesici takım uç yarıçapı düşük ilerleme değerlerinde yüzey pürüzlülüğünü ciddi olarak etkilememiştir. Ancak, yüksek ilerleme değerlerinde

kesici takım uç yarıçapının etkisi artmıştır. SEM incelemelerinden karbür kesici takımlarda yan yüzey aşınması ve kırılmalar gibi hasarlar ve yapışan iş parçası malzemeleri görülmüştür. Ancak, sermet kesici takımda ise ciddi hasarlar ve yapışan iş parçası malzemesi görülmemiştir.

Anahtar Kelimeler : Alın tornalama, karbür, sermet, yüzey pürüzlülüğü.
Bilim Kodu : 708.3.028

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

AN INVESTIGATION INTO THE MACHINABILITY OF 11SMnPb30 STEEL

İsmail KORKMAZ

Karabük University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Manufacturing Engineering

Thesis Advisor:
Prof. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ
June 2015, 78 pages

In this study, machinability tests on 11SMnPb30 steel used for making parts for door lock mechanism through facing on a CNC turning centre. In the first phase, the tests were carried out using carbides of three different producers and one cermet cutting tools at a constant spindle speed and various feed rates without coolant. The cutting tools had the same geometry. The influence of different cutting tools and feed rate on the surface roughness was examined. As the cermet cutting tool performed much better than the carbides in terms of surface roughness, only cermet cutting tool was used in the second phase at various spindle speeds and feed rates. In addition, cermets of two different nose radii were used to examine the effect of nose radius. A scanning electron microscope (SEM) was used to examine the worn cutting tool in detail. With increasing spindle speed, the surface roughness values decreased until a minimum value is reached beyond which they increased. Cutting tool nose radius did

not have considerable influence on surface roughness at lower feed rates. However, its influence increased at higher feed rates. From the SEM examinations, damages like fractures and flank wear and adhered workpiece material on the cutting edges of carbide tools were observed. However, such damages and adhered workpiece material were not observed on the cutting edges of cermet tools.

Key Words : Facing, cutting, carbide, cermet, suface roughness.
Bilim Kodu :708.3.028

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Prof. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Deney numunelerinin temininde ve deney işlemlerinde yardımcı olan Ümit ERKAN'a teşekkür ederim.

Eğitim hayatım boyunca desteklerini esirgemeyen saygı değer babam İbrahim KORKMAZ ile sevgili annem Emine KORKMAZ ve eşim Yasemin KORKMAZ'a maddi ve manevi hiçbir yardımı esirgemeden yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

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 3
LİTARATÜR ARAŞTIRMASI 3

BÖLÜM 3 7
TALAŞLI İMALAT VE İŞLENEBİLİRLİK 7
3.1. TORNALAMA 8
3.1.1. Alın Tornalama 9
3.2. İŞLENEBİLİRLİK 11
3.3. TALAŞLI İMALAT MEKANİĞİ VE TALAŞ OLUŞUMU 12
3.3.1. Dik (Ortogonal) Kesme 14
3.3.2. Eğik (Oblique) Kesme 16
3.4. TALAŞLI İMALAT İŞLEMİNDE ISI VE SICAKLIK 17
3.5. TALAŞ KALDIRMA OLAYINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER 20
3.5.1. Takım Geometrisi 21
3.5.2. Kesme Hızı 22
3.5.3. Kesme Hızı Ve Kesme Gücü 24

Sayfa

3.5.4. Takım Ömrü 25
3.5.5. Talaş Derinliği Ve İlerleme Miktarı 26
3.6. KESİCİ TAKIMLAR 27
3.6.1. Kesici Takım Malzemeleri 27
3.6.1.1. Giriş 27
3.6.1.2. Sementit Karbür Kesici Takımlar 28
3.6.1.3. Sermetler 30
3.7. TAKIM AŞINMASI 31
3.7.1. Aşınma 31
3.7.2. Takım Aşınma Tipleri 34
3.7.2.1. Yan Kenar (yanak) aşınması 35
3.7.2.2. Krater Aşınması 36
3.7.2.3. Plastik Deformasyon 37
3.7.2.4. Termal Çatlaklar 37
3.7.2.5. Çentik Aşınması 38
3.7.2.6. Yığılma – Sıvanma (BUE) 39
3.7.2.7. Mekanik Yorulma Kırılmaları 40
3.7.2.8. Kırılma 41
3.7.2.9. Çıtlama (Tanecik Kopması) 42
3.8. TAKIM AŞINMASININ KONTROLÜ. 43
3.9. TALAŞLI İMALAT İŞLEMİNDE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ 44
3.9.1. Yüzey Kalitesini Etkileyen Ana Faktörler 47
3.9.2. Yüzey Yapısının Özellikleri 48
3.9.3. Yüzey Pürüzlülüğü Belirleme Metodu 49
3.9.4. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçme Teknikleri. 51
3.9.4.1. İzleyici Uçlu Cihazlar. 51
3.9.4.2. Optik Metot 52
3.9.4.3. Temas Metodu 52
3.9.4.4. Mekanik Metot 52
3.9.4.5. Hidrolik Metot 52
3.9.4.6. Yüzey Dinamometresi Metodu 52
3.9.4.7. X ışını Metodu 53

Sayfa

3.9.4.8. Elektron Mikroskobu Metodu 53
3.9.4.9. Replika Metodu. 53
3.9.4.10. Elektro Fiber Optik Metot 53

BÖLÜM 4. 54
GİRİŞ. 54
4.1. ÇELİKLER 54
4.2. KİMYASAL BİLEŞENLERİNE GÖRE ÇELİKLER 55
4.2.1. Sade Karbonlu Çelikler 55
4.2.2. Alaşımlı Çelikler 55
4.3. KULLANIM ALANLARINA GÖRE ÇELİKLER. 56
4.3.1. Otomat Çelikleri 57
4.3.1.1. Otomat Çeliklerine Uygulanan İşlemler. 57
4.3.1.2. Otomat Çeliklerinin Kullanım Alanları 58

BÖLÜM 5 59
METARYEL VE METOD 59
5.1. DENEY MALZEMESİ 59
5.2. KESİCİ TAKIMLAR VE TAKIM TUTUCULAR 60
5.2.1. Kesici Takımlar 60
5.2.2. Takım Tutucu 61
5.3. KULLANILAN TAKIM TEZGAHLARI VE CİHAZLAR 61
5.3.1. Kullanılan Takım Tezgahları 61
5.3.2. Kullanılan Cihazlar 61
5.3.2.1. Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Cihazı 61
5.3.2.2. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) 63
5.3.2.3. Deney Değişkenleri 63

BÖLÜM 6 65
DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA 65
6.1. KESİCİ TAKIM AŞINMASI 69

Sayfa

BÖLÜM 7 73
SONUÇLAR VE ÖNERİLER 73
KAYNAKLAR 74

ÖZGEÇMİŞ 78

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. Torna tezgahı ve tornalama işleminin şematik olarak gösterimi..... 9
Şekil 3.2. Alın tornalama işleminin şematik olarak gösterimi 10
Şekil 3.3. Alın tornalama işlemi 10
Şekil 3.4. Talaş oluşumu 13
Şekil 3.5. Tipik bir talaş kırma işlemi 14
Şekil 3.6. Dik kesme modeli..... 14
Şekil 3.7. Ortogonal kesmede oluşan deformasyon bölgeleri 16
Şekil 3.8. Eğik kesme 17
Şekil 3.9. Kesme bölgesinde ısı oluşumu 18
Şekil 3.10. Kesme esnasında iş parçası ve takım üzerinde oluşan ısının izotermik dağılımları 19
Şekil 3.11. Talaşlı imalat işleminde oluşan ısının atılması 19
Şekil 3.12. Sağ yönlü kesme işlemi yapan, sağ yan kesici takım..... 21
Şekil 3.13. Tornalama işleminde kesme kuvvetleri..... 24
Şekil 3.14. Takımın aşınma yüzeyindeki gerilmelerin şematik gösterimi 31
Şekil 3.15. Kesici takımdaki aşınmalar 32
Şekil 3.16. Kesici takım ucundaki aşınmalar 33
Şekil 3.17. Metallerin işlenmesi sırasında temel aşınma mekanizmaları..... 34
Şekil 3.18. Yan kenar aşınması 35
Şekil 3.19. Krater aşınması..... 36
Şekil 3.20. Plastik deformasyon 37
Şekil 3.21. Termal çatlak..... 38
Şekil 3.22. Çentik aşınması 39
Şekil 3.23. BUE oluşumu 40
Şekil 3.24. Mekanik yorulmadan kaynaklanan kırılmalar..... 41
Şekil 3.25. Kırılma 42
Şekil 3.26. Çıtlamanın oluşumu 43
Şekil 3.27. Takım aşınmasının ölçülebileceği bölgeler..... 44

Sayfa

Şekil 3.28. Yuvarlak uçlu bir takım için oluşan yüzey pürüzlülüğü 46
Şekil 3.29. Yüzey pürüzlülüğüne etki eden faktörler 48
Şekil 3.30. İşlenmiş bir yüzeyin yüzey karakteri 49
Şekil 3.31. Yüzey pürüzlülük ölçümü için kullanılan koordinatlar..... 50
Şekil 3.32. İzleyici uçlu cihazların çalışma şekli ve örnekler 51
Şekil 5.1. Alın tornalanmış yüzeyden alınan ölçüm bölgeleri..... 62
Şekil 6.1. Karbür ve sermet kesici takımlarla elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri..... 67
Şekil 6.2. Sermet kesici takımların, iki ayrı ilerleme değerinden elde edilen yüzey pürüzlülükleri 67
Şekil 6.3. 0,2 mm ve 0,4 mm uç yarıçapına sahip sermet kesici takımlarla elde edilen, ortalama yüzey pürüzlülük değerleri 68
Şekil 6.4. 0,4 mm uç yarıçaplı sermet kesici takımla dört farklı devir sayılarında elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri 69
Şekil 6.5. Dört farklı kesici takıma ait SEM fotoğrafları. 70
Şekil 6.6. Dört farklı kesici takıma ait daha yüksek büyütme ile elde edilen SEM fotoğrafları..... 71
Şekil 6.7. Aşınmış kesici takımlara yapışan kurşun elementi 72

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 5.1. Deneylerde kullanılan 11SMnPb30 çeliğinin kimyasal bileşimi 59
Çizelge 5.2. Deneylerde kullanılan 11SMnPb30 çeliğinin mekanik özellikleri 59
Çizelge 5.3. Takım aşınma deneylerinde kullanılan takımların bilgileri 60
Çizelge 5.4. Yüzey pürüzlülük değerlerinin elde edilmesinde, kullanılan kesici takımların bilgileri 60
Çizelge 5.5. DMC DL 6G CNC torna tezgahının özellikleri 61
Çizelge 5.6. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazının teknik özellikleri 62
Çizelge 5.7. Tüm Deneylerin Kesme Parametreleri 64
Çizelge 6.1. Karbür ve sermet kesici takımlarla elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değeri 66

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

SİMGELER

V : Kesme Hızı (m/dk)

µm : Mikrometre

n : Torna Tezgahının Devir Sayısı (dev/dk)

f : İlerleme Değeri (mm/dev)

a : Kesme Derinliği (mm)

r : Kesici Takım Uç Yarıçapı (mm)

F : Kesme Kuvveti (N)

F_c : Esas Kesme Kuvveti (N)

F_f : İlerleme Kuvveti (N)

F_r : Radyal Kuvvet (N)

R_a : Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü (µm)

R_y : Çukur Yüksekliği (µm)

R_z : On Nokta Yüksekliği (µm)

R_q : Merkez Çizgi Ortalaması (µm)

R_t : Pürüzlülük Derinliği (µm)

KISALTMALAR

BUE : Yığıntı Talaş (Built-Up Edge)

AISI : Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü

CNC : Bilgisayarlı Nümerik Kontrol

ISO : Uluslararası Standard Organizasyonu

SAE : Otomotiv Mühendisleri Birliği

CBN : Kübik Bor Nitrit (Cubic Boron Nitride)

CVD : Kimyasal Buhar Biriktirme (Chemical Vapour Deposition)

SEM : Tarama Elektron Mikroskobu (Scanning Electron Microscope)

WC : Tungsten Karbür

TaC : Tantalyum Karbür

NbC : Niobyum Karbür

TiC : Titanyum Karbür

VB_{max} : Maksimum Yan Yüzey Aşınması

VB : Yan Yüzey Aşınması

KT : Krater Derinliği

KB : Krater Genişliği

KM : Krater Orta Eksen Mesafesi

HB : Birinel Sertlik Ölçme Yöntemi

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Bütün imalat işlemlerinde ürünün ölçü ve geometrik toleranslarının yanında istenilene yakın bir yüzey kalitesi de büyük önem arz etmektedir. Çeşitli yöntemlerle üretilmiş parçaların etkin bir şekilde işlevlerini yerine getirebilmelerinde yüzey kalitesi önemli bir faktördür [1].

Talaşlı imalat işlemlerinde kullanılan kesici takımlar, ürün maliyeti ve kalitesi üzerinde ciddi bir etkiye sahiptir. Ekonomik ve kaliteli üretim için, kesici takımlar, kesme işlemi esnasında maruz kaldıkları yüksek gerilme, sıcaklık ve sürtünme gibi etkilere uzun süre dayanabilecek kabiliyette olmalıdırlar. Talaşlı imalat metodu ile metal ve alaşımlarını şekillendirmenin yaygınlaştığı Endüstri Devrimi'nden günümüze kadar kesici takımlar alanında yapılan çalışmalar, kesici takımların performanslarında kıyaslanamayacak artışları beraberinde getirmiştir. Yeni kesici takım malzemelerinin geliştirilmesi, kesici takımlara kaplamaların uygulanması ve mevcut kesici takımların geometrilerinin ve yapılarının iyileştirilmesi sonucu kesici takımların aşınma dirençleri ve performansları da önemli ölçüde iyileştirilmiştir [2].

Örneğin, endüstri devriminin ilk günlerinde sertleştirilmiş karbon çeliği kesici bir takımla buhar motorunun bir silindirini işlemek 27,5 gün sürmüştür. O zaman kullanılan kesme hızının yaklaşık olarak 5 m/dk olduğu dikkate alınırsa, aynı işi günümüzde seramik veya kübik bornitrür (CBN) bir kesici takımla 500 m/dk hatta 1000 m/dk kesme hızı ile işlenerek 100 ve 200 kat gibi daha kısa sürelerde bitirilebilir [2].

Endüstri Devrimi'nin ilk günlerinde kullanılan kesici takımlarla, günümüzde kullanılan kesici takımların performansları arasında kıyaslanamayacak derecede farklar olmasına rağmen, kesici takımlar alanındaki araştırma ve geliştirme

faaliyetleri yoğun bir şekilde devam etmektedir. Bunun da başlıca iki nedeni vardır: Bu nedenlerden birisi; küreselleşen dünyamızdaki zor rekabet şartlarıdır. Birim zamandaki üretim miktarını artırmak ve dolayısıyla maliyeti düşürmek için kesme hızının artırılması çok önemli bir faktördür. Diğer neden ise; endüstriyel ürünler için özellikleri daha iyi olan malzemelerin geliştirilmesi ve kullanılmasıdır [2].

Günümüzde yeni üretilen kesici takımlar ve bu kesici takımlara yapılan özel kaplamalarla işleme kapasitesini arttırmak için alışmalar devam etmektedir. Otomotiv sektörü, bağlantı elemanları ve hassas mekanik parçalar üreten endüstri kollarında imalatında vb. alanlarda otomat çelikleri çok yoğun olarak kullanılmaktadır. Bu sektörde otomat çelikleri diğer çeliklere nazaran daha kolay işlenebilmeleri nedeniyle tercih edilmektedirler [3].

Bu çalışmada, kapı kilidi sürgü mekanizması imalatında kullanılan kurşunlu otomat çeliğinin alın tornalamasında kesici takım ve işlem değişkenlerinin yüzey pürüzlülük değerine etkisi araştırılmıştır. Ayrıca, kesici takımda oluşan aşınmalar da belirlenmeye çalışılmıştır. Bu işlem için uygun kesici takım ve işleme parametrelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

BÖLÜM 2

LİTARATÜR ARAŞTIRMASI

Demir ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, sertleştirilebilir paslanmaz takım çeliği işlenebilirliği üzerine çalışma yapmışlardır. Deneyleri tornalama metoduyla altı farklı kesme hızı (160, 200, 240, 280, 320 ve 360 m/dk), dört farklı ilerleme değeri (0,05, 0,10, 0,15 ve 0,20 mm/dev) ve 1 mm kesme derinliğinde soğutma sıvısı kullanmadan yapmışlardır. En düşük yüzey pürüzlülük değerlerinin sırasıyla 0,05 ve 0,10 mm/dev ilerleme değerinde, 240 ve 280 m/dk kesme hızlarında oluştuğunu belirlemişlerdir [4].

Ulusoy otomotiv sektöründe kullanılan bağlantı rekorlarının imalat zamanlarını düşürmek ve kalitelerini artırmak için bir çalışma yapmıştır. Bağlantı rekoru imalatında 11SMnPb37 otomat çeliği kullanılmıştır. Bu malzemenin tercih nedeni kolay işlenebilir olmasıdır. Üretim açısından, orta karbonlu çeliklerin otomat çeliklerinin yerine kullanılıp kullanılamayacağı araştırılmıştır. Üretimde farklı ilerleme değeri ve kesme hızları kullanılmıştır. Malzeme çeşidine göre kesme hızı, ilerleme değeri, yüzey pürüzlülüğü, üretim süreleri ve yıllık üretim adetleri hesaplanmış ve birbirleri ile karşılaştırılmıştır [3].

Sonuç olarak, ilerleme değerinin artmasıyla imalat sürelerinin azaldığı ve yüzey pürüzlülüğünün arttığı görülmüştür. Ç1040 çeliğinden üretildiğinde takım ömrü azalırken yüzey kalitesi artmıştır. Malzemelere göre yıllık üretim adetleri değerlendirildiğinde ise, yıllık üretim adetleri ve hammadde fiyatları açısından Ç1040 çeliği kullanımının daha avantajlı olduğunu tespit etmiştir [3].

Çalık yaptığı çalışmada, CNC torna tezgahında alın tornalamada, işleme faktörlerinin yüzey kalitesinin artırılmasına etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Deney malzemesi, kesme hızı, ilerleme değeri, kesici uç yarıçapı ve uç tipi işleme faktörleri

olarak alınmıştır. Başlangıçta kesme sıvısının kullanıp kullanılmamasının belirlenmesi için testler yapılmış olup suda çözünebilen tipte bir kesme sıvısı UC6010 kalitede kaplamalı karbür ve TNHC kalitede seramik olmak üzere iki tip kesici ucun 0,4, 0,8, 1,2 ve 1,6 mm uç yarıçaplı olanları kullanılmıştır. On sekiz farklı malzeme test edilmiştir. Bütün testlerde kesme deriliği 0,1 mm alınmıştır. Ortalama kesme hızları 50, 70, 90, 180, 200 ve 250 m/dk, ve ilerleme değerleri 5, 10, 15 ve 20 mm/dk olarak kullanılmıştır [5].

Ortalama yüzey pürüzlülüğü R_a, ortalama tepe, çukur yüksekliği R_z ve maksimum tepe, çukur yüksekliği R_y, yüzey pürüzlülük ölçme aleti ile ölçülmüştür ve yüzey yansıması karşılaştırma yapmak amacıyla gözlenmiştir [5].

Sonuç olarak CNC torna kullanarak yapılan alın tornalama işleminde, R_a değeri 0,05 µm veya daha altında yüzeyler elde edilmiştir. Belirli işleme koşullarında, SAE 7430, 1.3202 ve 1.3243 çeliklerinde diğerlerine göre daha iyi yüzey kalitesi elde edilmiştir. CNC tornada alın tornalama işleminin yüzey taşlamaya göre teknik ve ekonomik olarak yüzey kalitesinin artırılmasını daha kısa zamanda sağlamada uygun bir alternatif olduğu gözlenmiştir. İlk paso ile tornalanmış yüzeyin ilk pasonun başlangıç noktasını kaydırarak ve sıfır kesme derinliği ile ikinci bir defa tornalamak kaydıyla yapılan “overlapping” yöntemini incelemek üzere bir grup deney daha yapılmıştır. Bu yöntemle sanki aynaya benzeyen daha iyi yüzey kalitesi elde edildiği gözlenmiştir [5].

Turan, yaptığı çalışmada kuru tornalama işlemi boyunca kesme kuvveti ve kesici takımda oluşan titreşimin yüzey pürüzlülüğüne etkisini inceleyerek optimum kesme parametrelerini belirlemeye çalışmıştır. Kesme kuvvetleri ve titreşimler işlem süresince ölçülürken, yüzey pürüzlülüğü testlerden sonra iş parçasının beş farklı noktadan ölçülmüş. Daha sonra bu değerlerin ortalaması alınarak, bu değerlere göre titreşim ve yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişki değerlendirmiş. Ayrıca, farklı kesme şartları altında dinamometre yardımıyla ölçülen kesme kuvvetleri DYNOWARE programı ve ivme ölçer yardımıyla ölçülen titreşim de LABVIEW programı ile analiz edilerek. Hangi frekansta ve hangi genlikte takım titreşiminin oluştuğunu gözlemlemek için MATLAB programında grafikler oluşturulmuş. Sonuç olarak

yüzey pürüzlülüğünün titreşimin artmasıyla arttığı görülmüş. Bu durum ile titreşimin yüzey pürüzlülüğü üzerinde olumsuz bir etki oluşturduğu kanısına ulaşılmıştır [6].

Balcı ve Çiftçi yaptıkları çalışmada, AISI 304 paslanmaz çelik malzemenin tornalama yöntemiyle işlenmesi sonucu elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerini incelemiştir. Dört farklı uç yarıçapına sahip kaplamalı sementit karbür kesici takımlar kullanılarak işleme deneyleri yapılmış. Deneyler, farklı ilerleme değerleri ve talaş derinliklerinde soğutma sıvısı kullanılmadan yapılmıştır. Kesici takım uç yarıçapı, ilerleme değeri ve talaş derinliğinin iş parçası ortalama yüzey pürüzlülük değerine (R_a) etkileri incelenmiştir. Deneysel sonuçlardan kesici takım uç yarıçapının ve ilerleme değeri yüzey pürüzlülüğünü önemli derecede etkilediği görülmüştür. 0,4 mm uç yarıçapına sahip kesici takımla genellikle en düşük yüzey pürüzlülük değerleri elde edilirken 0,4 mm silici kesici uç geometrisine sahip kesici takımla da en yüksek yüzey pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. 0,05 ve 0,1 mm/dev ilerleme değerlerinde kesici takım uç yarıçapının artmasıyla yüzey pürüzlülük değerleri beklenmedik bir şekilde arttığı gözlenmiştir [7].

Bayrak yaptığı çalışmada, üniversal torna, revolver torna ve bir de bilgisayar sayısal denetimli (CNC) tornada değişik işleme parametreleri ile işlenmiş iş parçalarının yüzey pürüzlülüğünün gösterdiği değişimi deneysel olarak incelemiştir. Ölçümler yüzey pürüzlülük cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneylerde, işleme parametreleri olarak sabit kesme derinliği, kesme hızı ve ilerleme değerini değiştirerek, soğutma sıvısı ilk olarak kullanılmamış daha sonra karşılaştırmak için tekrar olarak soğutma sıvısı kullanılarak tekrarlanmıştır.

Sonuç olarak malzeme çeşitlerine bağlı olarak, kesme hızı artırıldığında ortalama yüzey pürüzlülüğünün (R_a) iyileştiği, kesici takım ilerleme değeri ve kesme derinliği artırıldığında ise ortalama yüzey pürüzlülüğünün kötüleştiği gözlenmiştir [8].

Yontar yaptığı çalışmada, AISI 304 östenitik paslanmaz çelik malzeme üzerinde tornalama yöntemiyle işleme deneyleri yapmıştır. Kesme parametrelerindeki değişimlerin aşınma miktarı, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi incelenmiş. Çalışmaların sonucu olarak takım uçlarında meydana gelen deformasyon

tipleri incelendiğinde yan kesici kenar aşınması, BUE oluşması, kırılma, çentik gibi deformasyon mekanizmalarının oluştuğu gözlenmiştir. İlerleme ve talaş derinliğinin artmasıyla kesme kuvvetlerinin arttığı gözlenmiştir. Talaş kaldırma işlemlerinde kesme kuvvetlerinin, takım - talaş arasındaki temas uzunluğu ile ilgisi olduğu için kesme hızının artırılmasının kayma açısını artırdığı, daha ince talaş oluşturduğu ve temas uzunluğunu azalttığı için kesme kuvvetlerini düşürdüğü belirtilmiştir. Ayrıca takım ve iş parçası sıcaklığı yükseldiği için kayma bölgesindeki kayma gerilmesindeki azalmanın da kesme kuvvetlerini etkilediği belirtilmiştir [9].

Korkut ve Dönertaş, Ç1020 ve Ç1040 çeliklerinin işlenebilirliğini artırmak için kesme parametrelerini incelemişlerdir. Kesme parametrelerinin değiştirilmesiyle BUE oluşumu ve yüzey pürüzlülüğünün nasıl etkilendiğine bakılmıştır. Kesme hızı, ilerleme değeri ve kesme derinliğinin işlenebilirlik üzerine etki ettiği, yüzey pürüzlülüğü ve BUE oluşumlarının bu değerlere bağlı olduğu, özellikle düşük ve orta kesme hızlarında takımın kesici kenarında yığılma (BUE) oluşumunun arttığını görmüşlerdir [10].

Uzun ve Çiftçi yaptıkları çalışmada, ısıl işlemler ile mekanik özellikleri değiştirilmiş sıcak haddelenmiş Ç5140 çeliğinde, mekanik özellik değişikliklerinin takım aşınması ve kesme kuvvetlerine etkisini incelemek amacıyla tornalama yöntemiyle işleme deneyleri yapmışlardır. Deneyler, kuru kesme şartlarında, dört farklı kesme hızı (90-110-130-150 m/dk.), 0,1 mm/dev ilerleme değerinde ve 1 mm kesme derinliğinde yapılmıştır. Deneyler sonucunda, kesme hızının artışı ile kesme kuvvetlerinde genel olarak düşüşler gözlemlenmiştir. En yüksek kesme kuvveti değeri (593,78 N) 755 °C'de yağda sertleştirilmiş numunenin 90 m/dk kesme hızında işlenmesi sonucu elde edilmiştir. Bu numunenin sertliğinin ve dayanımının yüksek olmasının yüksek kesme kuvveti değerine neden olduğu düşünülmüştür. Sertliği nispeten yüksek olan malzemelerde belirgin takım aşınmaları olduğu gözlemlemişlerdir [11].

BÖLÜM 3

TALAŞLI İMALAT VE İŞLENEBİLİRLİK

İmalatın amacı, hammadde ile ürün arasındaki dönüşümü sağlamaktır. Bu dönüşümün sağlanabilmesi için pek çok değişik teknolojik yöntemler kullanılabilir. İmal Usulleri adi verilen bu teknolojik yöntemler, talaşlı imalat ve talaşsız imalat yöntemleri olarak iki temel gruba ayrılabilir. Bu iki temel grup arasındaki fark; talaşlı imalat yöntemlerinde (tornalama, frezeleme, planyalama) hammadde-ürün dönüşümü sırasında hammadde üzerinden talaş kaldırılması, talaşsız imalat yöntemlerinde (kaynak, döküm, dövme) ise hammadde üzerinden talaş kaldırmadan bu dönüşümün sağlanabilmesidir [12].

Döküm, dövme, haddeleme ve diğer şekillendirme yöntemleriyle üretilmiş mühendislik malzemelerinin kullanıma hazır hale getirilmesi için çoğunlukla talaşlı imalat işlemlerine maruz kalmaları gerekir. Uzay ve havacılık, otomotiv ve kalıp gibi endüstriyel alanlarda çoğu ürüne son şekli talaşlı imalat işlemleriyle verilir [12].

Tornalama, frezeleme, planyalama ve delme talaşlı imalat işlemlerine örnek olarak verilebilir [12].

Talaşlı imalat işlemiyle;

- ✓ Çok çeşitli malzemeler talaşlı imalat yöntemiyle şekillendirilebilir. Gerçekte bütün katı malzemeler işlenebilir. Polimer ve polimer esaslı kompozitler de talaşlı imalat yöntemiyle islenebilir.

- ✓ Talaşlı imalat işlemiyle düz ve dairesel yüzeyler gibi düzenli geometriler oluşturulabilir. Birkaç talaşlı imalat işlemi sırasıyla uygulanarak hemen hemen bütün karmaşık geometriler elde edilebilir.

- ✓ Talaşlı imalat işlemiyle iş parçası ölçüleri çok yakın toleranslarda elde edilebilir ve çok iyi yüzey kalitesi elde edilebilir [13].

Bu özellikler dikkate alındığında talaşlı imalatın en önemli imalat yöntemlerinden biri olduğu anlaşılmaktadır. Talaşlı imalat işlemlerinde üç temel kavram mevcuttur.

Bunlardan en önemlisi kesme hızıdır. Bu önemli parametrelerin tornalama işlemlerine göre tanımlarını aşağıdaki şekilde yapabiliriz [13].

Kesme hızı (V), kesilmemiş iş parçası yüzeyindeki bir noktanın kesici takım önünde birim zamanda aldığı yol orak tanımlanır ve çoğunlukla m/dk olarak ifade edilir.

İlerleme hızı (f), iş parçası malzemesinin her bir dönüşünde kesici takımın iş parçası eksenine paralel olarak kat ettiği mesafe olup birimi mm/dev'dir.

Talaş derinliği (a), iş parçası malzemesinden kaldırılan malzemenin derinliğidir ve iş parçası eksenine dik yönde ölçülür [12].

Bu üç kesme parametresinin çarpımıyla ekseriyetle metal kesme işleminin verimliliğini ifade eden talaş kaldırma oranı bulunur. Kesme hızı kullanılarak talaşlı imalat işlemleri esnasında takım tezgahlarının iş millerinin uygun devir sayıları hesap edilir. Eşitlik 3.1'de devir sayısının hesaplanması verilmiştir.

$$n = \frac{1000.V}{\pi.d}\,(\text{dev/dak}) \qquad (3.1)$$

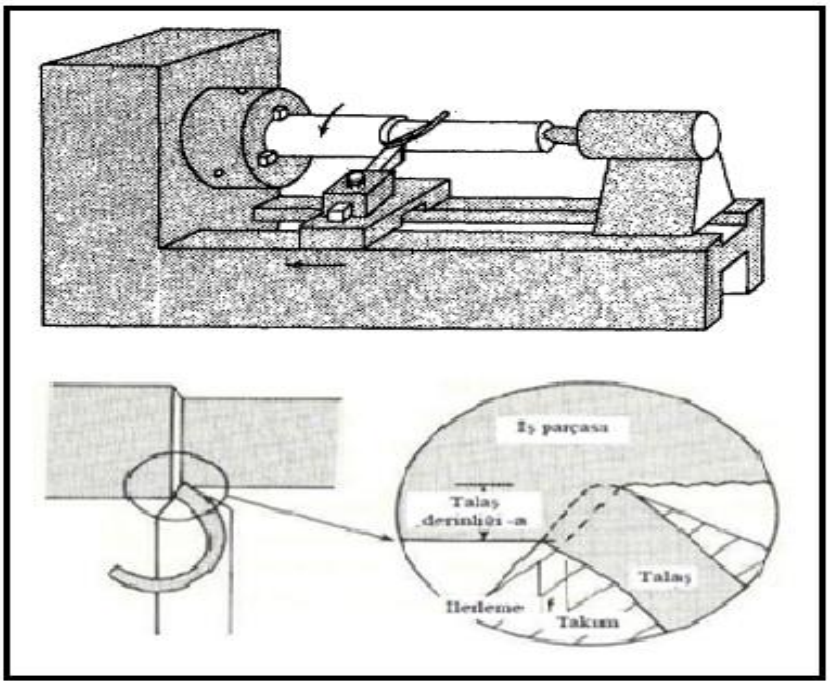
V = Kesme hızı (m/ dk),
d = İşlenecek parçanın çapı (mm),
n = Torna tezgâhının devir sayısı (dev/dk),

3.1. TORNALAMA

Tornalama işlemi talaşlı imalat ile ilgili yapılan deneysel çalışmalarda ençok kullanılan talaşlı imalat yöntemidir. Etkin bir talaşlı imalat işlemi olan tornalama

işlemi dairesel iş parçalarının işlenmesinde kullanılır. İşlenecek olan iş parçası genelde bir aynaya bağlanarak döndürülür. Bir takım tutucu üzerine rijit olarak bağlanmış kesici takım dönen iş parçası ekseninde ilerletilerek ve iş parçasından bir katman kaldırılarak, dairesel veya daha karmaşık profilli yüzeyler oluşturulur. Şekil 3.1'de torna tezgahı ve tornalama işlemini şematik olarak göstermektedir [13].

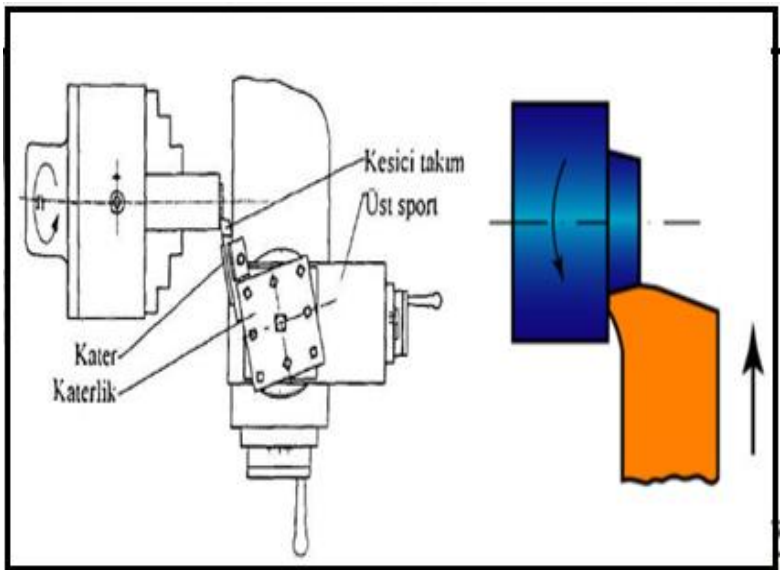
Torna tezgahında silindirik tornalama, delik delme, raybalama, kılavuz çekme, pafta çekme, konik tornalama, alın tornalama, vida çekme gibi işlemlerin yanında taşlama, frezeleme, profil tornalama, yay sarma, demir, çelik, ağaç, plastik alaşımlar ve yumuşak gereçlere istenilen şekil ve biçim verme işlemleri uygulanabilir [12].



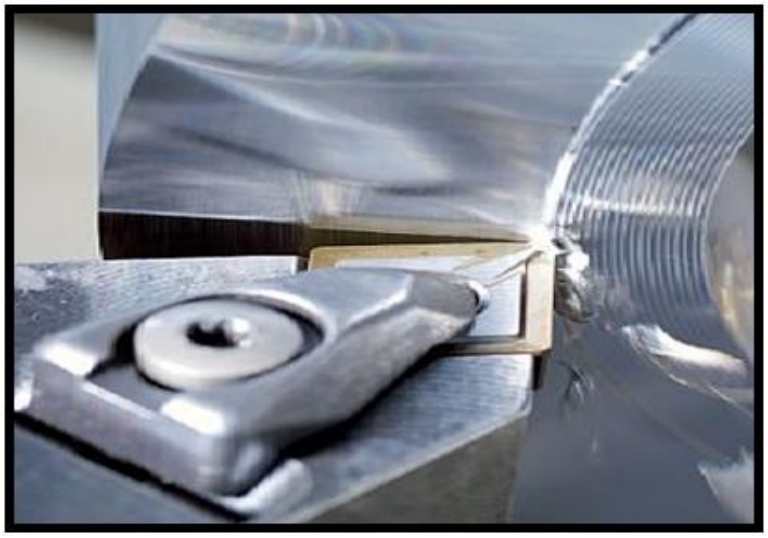
Şekil 3.1. Torna tezgahı ve tornalama işleminin şematik olarak gösterimi [13].

3.1.1. Alın Tornalama

İş parçasının dönme hareketine karşılık kesici takımın eksene dik hareketi ile oluşan tornalama işlemine alın tornalama denir [14]. Şekil 3.2'de torna tezgahında alın tornalamanın şematik görüntüsü verilmiştir. Şekil 3.3'de alın tornalama işlemi yapan kesici takımın fotoğrafı verilmiştir.



Şekil 3.2. Alın tornalama işleminin şematik olarak gösterimi [14].



Şekil 3.3. Alın tornalama işlemi [15].

Alın tornalamada kalem iş parçasının merkezine yaklaştıkça kesme hızı küçülür. Tam merkezde sıfır değerine ulaşır. İşleme esnasında kalemin aldığı yoldan dolayı çap her defasında değişir. Çapın devamlı değişmesi devir sayısının da sürekli değişmesini gerektirir. Bu üniversal tornalarda mümkün olmadığı için ortalama çap alınarak hesaplama yapılır. Ortalama çap olarak iş parçası çapının yarısı alınır (Dort= d/2). CNC tezgâhlarda çapın sürekli değişmesiyle beraber devir sayısı da değişir [16].

3.2. İŞLENEBİLİRLİK

İşlenebilirlik uygun kesici takım ve kesme parametreleri kullanılarak bir malzemeyi (çoğunlukla metal) talaşlı imalat yöntemleriyle şekillendire bilmenin nispi kolaylığı veya zorluğudur. Çoğunlukla malzemenin özgül bir özelliği olarak algılansa da, işlenebilirlik sadece işlenen malzemeye bağlı olmayıp aynı zamanda işleme yöntemi ve işleme parametrelerine de bağlıdır [13].

İşlenebilirliği ve aynı zamanda talaş kaldırmayı etkileyen faktörler:

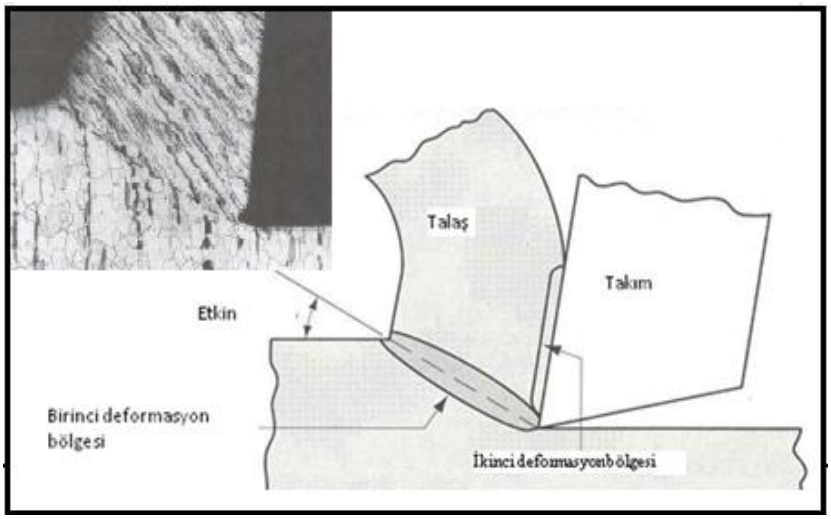
- ✓ Kesici takımda meydana gelen yüksek sıcaklık, aşınma, titreşim ve kesme kuvvetlerinden,
- ✓ Kesme değişkenleri olan kesme hızı, ilerleme değeri, talaş derinliği ve soğutma sıvısından,
- ✓ Malzemenin kimyasal içeriğinden, mikro yapısından ve ısıl işlem geçmişinden,
- ✓ İşlenmiş yüzey ile ilgili olan kalıntı gerilmelerden, yüzey-yüzey altı sertliğinden, mikro yapıdaki değişimlerden ve yüzey deseninden, etkilenmektedir [17].

İyi işlenebilirlik, bir malzemenin işlenmesinde iyi yüzey kalitesi, uzun takım ömrü ve düşük kuvvet ve güç gereksinimini demektir. Malzemelerin işlenebilirliklerini etkileyen malzeme özellikleri sertlik, süneklik, ısıl iletkenlik, deformasyon sertleşmesi, malzeme içindeki inklüzyonlar ve malzemenin kimyasal bileşimidir. Örnek olarak, sertlik arttıkça kesici takımda abrasif aşınma artar ve dolayısıyla takım ömrü kısalır. Düşük sertlik ve dayanım genelde iyi işlenebilirlik anlamına gelmekle birlikte sertliği az olan çok sünek malzemelerde yığıntı talaş (built-up-edge-BUE) oluşumu gerçekleştiği için yüzey kalitesi kötüleşir ve takım ömrü kısalır. Çok düşük sertlik talaşlı imalat işleminin performansını kötü yönde etkileyebilir. Örnek olarak, nispeten düşük sertliğe sahip düşük karbonlu çeliğin işlenmesinde kötü yüzey kalitesi oluşur ve talaş uzaklaştırılması ile ilgili problemlerle karşılaşılır. Bu nedenle, düşük karbonlu çeliklerde yüzey sertliğini artırmak ve talaş kırılmasını sağlamak için çoğunlukla soğuk çekme işlemi uygulanır. Düşük süneklik, metal kesme işleminde genelde olumlu bir etki yaparak iyi talaş oluşumuna katkıda bulunur ve metal kesme

işlemi için daha az güç gerektirir. Artan iş parçası dayanımı da kesme kuvvetleri, özgül enerji ve kesme sıcaklığını artıracağı için, artan dayanımla metal kesme işlemi zorlaşır. Bununla birlikte, yüksek ısıl iletkenlik kesme bölgesinden oluşan ısının hızlı olarak uzaklaştırılması demektir. Bu nedenle, yüksek ısıl iletkenlik işlenebilirlik yönünden genelde faydalıdır [18].

3.3. TALAŞLI İMALAT MEKANİĞİ VE TALAŞ OLUŞUMU

Tornalama, frezeleme, delme ve vida açma gibi talaşlı imalat işlemlerinde iş parçası yüzeyinden talaşlar şeklinde malzemeler kaldırılır. Talaşlı imalat işlemi farklılık gösterse de (tornalama, frezeleme vb.) talaş oluşum mekanizması temelde aynıdır. Esas olarak, talaş, bölgesel bir kayma işlemi ile çok dar bir bölgede gerçekleşir (şekil 3.4'de birinci deformasyon bölgesi). Kesici takımın iş parçası ile temasa geçmesiyle öncelikle iş parçasında elastik (geçici) deformasyon oluşur. Devam eden kesme süreci ile daha sonra iş parçasının akma dayanımı geçilir ve iş parçası malzemesi plastik (kalıcı) olarak deformasyona uğrar (kalıcı olarak şekil değiştirir). Kesici takım ve iş parçasının nispi hareketi ile plastik şekil değiştirmenin devam etmesi esnasında tavlanmış iş parçası malzemesinde yüksek dislokasyon birikmesi oluşur. Yüksek dislokasyon birikmesi de iş parçasında deformasyon sertleşmesine neden olur. Deformasyon sertleşmesi bir doyum noktasına ulaştığında iş parçası kaymaya maruz kalır ve deformasyona uğrayan bölge kesici takım talaş yüzeyinden koparılarak talaşlar şeklinde atılır [19]. Şekil 3.4'de talaş oluşumu şematik olarak gösterilmiştir.

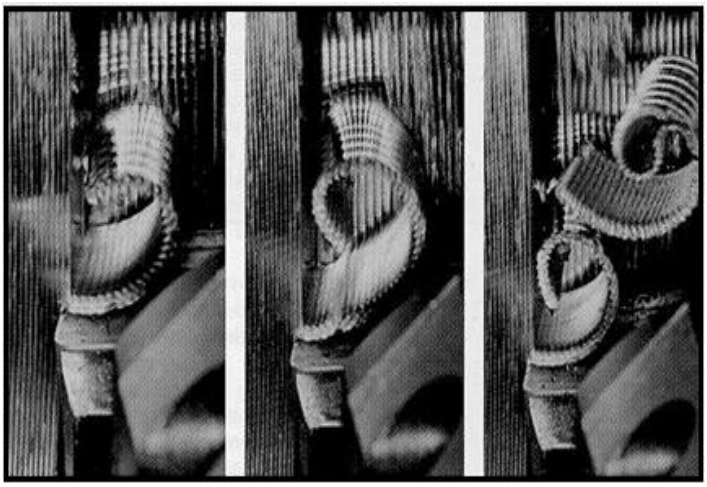


Şekil 3.4. Talaş oluşumu [20].

Talaşın oluşması için üç temel gereksinim mevcut olup bunlar şöyle özetlenebilir:

- ✓ Kesici olarak kullanılan bir takımın, iş parçasından daha sert ve aşınmaya karşı daha dirençli olması,
- ✓ Talaş derinliği ve ilerlemeyle iş parçası ve takım arasında dalmayı sağlayan kesici uç geometrisine sahip olması,
- ✓ İş parçası malzemesinin direncini yeterli kuvvetle yenmesi için iş parçası ve takım arasında bir kesme hızı veya nispi hareketin oluşmasıdır [21].

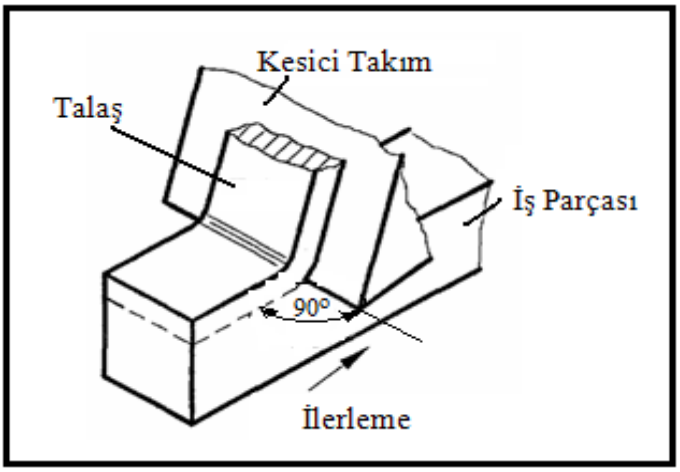
Talaş oluşumu ilk kıvrılma ile başlar ve kesme verileri (özellikle ilerleme değeri ve talaş derinliği), talaş açısı, iş parçası malzemesinin tipi ve koşulları, köşe radüsünün büyüklüğü gibi faktörlerden etkilenir. Belirli bir uzunluğa kadar dairesel şekilli veya helisel talaşlar en uygun talaş kesitleridir ve ancak çok iyi tasarlanmış bir kesici geometrisi ile elde edilirler [22]. Şekil 3.5'de tipik bir talaş kırma işlemi gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Tipik bir talaş kırma işlemi [22].

3.3.1. Dik (Ortogonal) Kesme

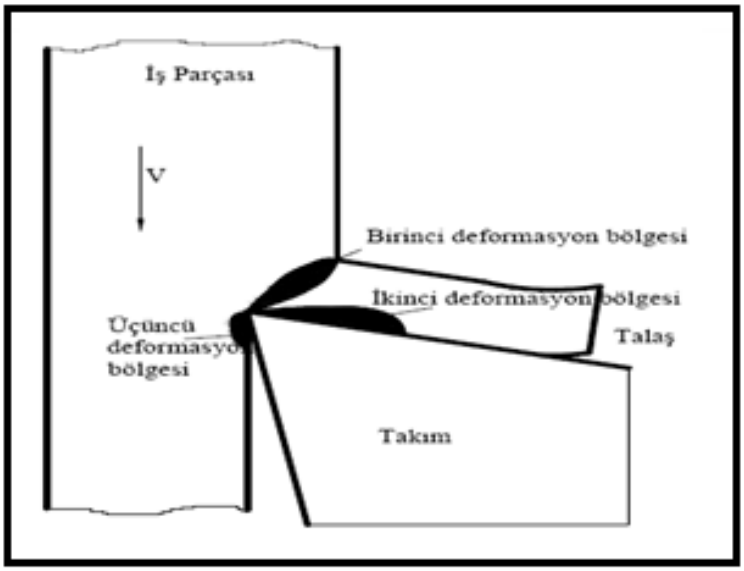
Talaş kaldırma alanında ilk büyük gelişme Merchant'ın çalışmaları sayesinde olmuştur. Merchant dik (Ortogonal) kesme adını taşıyan bir model oluşturmuştur. Talaş kaldırma işleminin fiziksel ve teorik analizi genelde bu model esas alınarak yapılır. Burada kama şeklinde ve kesme ağzı kesme hız vektörüne dik olan takım, talaş yüzeyi ve serbest yüzey ile sınırlıdır. Talaş yüzeyi talaşın temas ettiği yüzeydir. Serbest yüzey ise parçanın işlenmiş yüzeyine dönük yüzeydir. Bu iki yüzeyin kesilmesi takım ucunu meydana getirir. Şekil 3.6'de dik kesme modelinin şematik şekli görülmektedir [23].



Şekil 3.6. Dik kesme modeli [23].

Ortogonal kesme, kesme kenarı, kesme hızına (V) dik olan düz takımla şekillendirme işlemine benzer. Kesme genişliği ve kesme derinliği (paso) ile metal talaş, iş parçasından kesilerek ayrılır. Ortogonal kesmede kesme işlemi kesme kenarı boyunca uniform olarak düşünülür. Böylelikle malzemenin kenarına yayılma olmaksızın iki boyutlu düz birim şekil değiştirme işlemi gerçekleşmiş olur. Dolayısıyla, kesme kuvvetleri sadece esas kesme kuvveti (F_c) ve ilerleme kuvveti (F_f) olarak isimlendirilen hız ve kesilmemiş talaş kalınlığı doğrultusunda güç sarf eder [12].

Şekil 3.7'de ortogonal kesmenin kesit görünüşünden de anlaşılacağı üzere kesme işleminde üç adet şekil değiştirme (deformasyon) bölgesi vardır. Takım kenarı iş parçasına dalarken takımın malzeme içerisinde hareketiyle bir talaş formu oluşmaya başlar ve ilk kayma bölgesi oluşur. Malzemenin kesilmesiyle talaş kısmen şekil değiştirir ve takımın talaş yüzeyi boyunca hareketiyle ikinci deformasyon bölgesi oluşur. Takımın yan yüzeyindeki sürtünme bölgesinde ise üçüncü bölge meydana gelir. Talaş başlangıçta takımın talaş yüzeyine yapışır ve burada yapışma bölgesi oluşur. Kayma alanındaki (talaşın takım talaş yüzeyinde ilerlediği) sürtünme gerilmesi yaklaşık olarak malzemenin kayma gerilmesine eşittir. Talaş yapışma olayı biter ve sürekli kayma sürtünmesiyle talaş yüzeyinde talaş akması başlar. Talaş takımdan ayrılır, takımın talaş yüzeyi ile temas kaybolur. Temas uzunluğu kesme hızı, takım geometrisi ve malzeme özelliklerine bağlıdır. Birincil kesme bölgesinin analizinde basit olarak iki tip varsayım vardır. Merchant ince tabakalar için kesme bölgesinin tahmin edilmesinde bir ortogonal kesme modeli geliştirmiştir. Lee, Shaffer, Palmer ve Oxleyplastisite kanunlarıyla uyumlu kayma deformasyon bölgesinde "kayma açısı tahmini" yapabilen kendilerine ait analiz oluşturmuşlardır. Bu çalışmada birincil kayma deformasyon bölgesi ince alanlar için tahmin edilmiştir. Deformasyon geometrisi şekil 3.7'de ortogonal kesmenin kesitiyle gösterilmektedir [12].



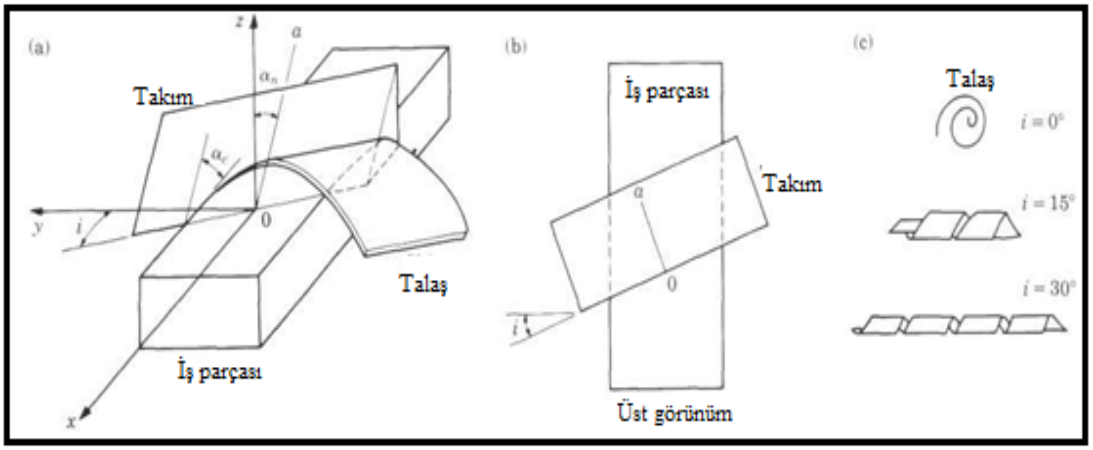
Şekil 3.7. Ortogonal kesmede oluşan deformasyon bölgeleri [24].

3.3.2. Eğik (Oblique) Kesme

Talaş kaldırma teorisinde dik modelin yanı sıra; takımın kesme kenarı kesme hız vektörüne eğik olan eğik modelde kullanılmaktadır. Talaş, takımla parçadan kaldırılan malzeme tabakasıdır. Teorik hesaplamalarda şekil değiştirmemiş talaş derinliği ve genişliği esas alınır. Parçadan ayrılan talaş ile teorik talaş boyutları birbirinden farklıdır. Parçadan ayrılan talaş daha kalın ve daha kısadır [23].

Talaşlı imalatta kesme kuvvetlerine ait ilk çalışmalar ve matematiksel ifadeleri Merchant tarafından 1940 yılında geliştirilmiştir. Merchant talaş kaldırma olayını fiziksel yönden incelemiş ve talaşın nasıl meydana geldiğini açıklamaya çalışmıştır. Çalışmaları sonucunda dik bir modeli ortaya atmış ve takımın etkisi altında kaldırılacak malzemenin önce elastik ve sonra plastik bir şekil değiştirme göstererek; takımın kesme yönü ile belirli bir açı yapan bir düzlemde talaş olarak ana malzemeden ayrıldığını varsaymıştır [23].

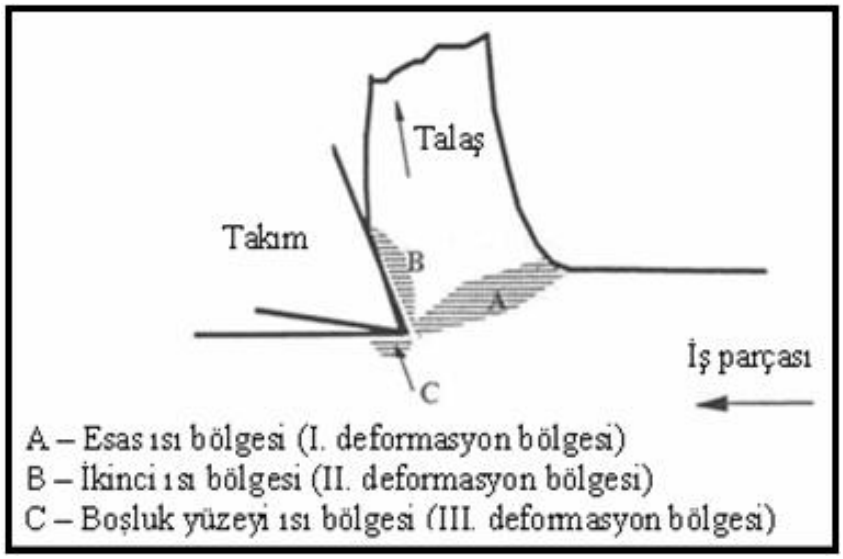
Insert kesme kenarının iş parçası kesici takım hareketine açılı olması durumunda (şekil 3.8) eğik (oblique) kesme olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 3.8. Eğik kesme [18].

3.4. TALAŞLI İMALAT İŞLEMİNDE ISI VE SICAKLIK

Talaşlı imalat işleminde kullanılan güç ekseriyetle ısıya dönüşerek talaşın, iş parçasının ve kesici takımın sıcaklığını arttırdığı için talaşlı imalatın ekonomik ve teknik yönü ile ilgili problemler doğrudan ve dolaylı olarak bu ısı oluşumu ile ilgilidir. Sıcaklık art ışı, metal kesme işlemi esnasında oluşan ısı ve aynı zamanda bu ısının uzaklaştırılması durumuna bağlıdır. Oluşan ısı sonucu sıcaklık artışı kesici takım performansını ve iş parçası kalitesini etkiler. Isı oluşumunu, ısı akışını ve kesici uç yakınında kesici takım ve iş parçasındaki ısı dağılımını etkileyen faktörlerin bilinmesi önemlidir. Kesme sıcaklığını ölçmek için çeşitli deneysel ve teorik metotlar geliştirilmiştir. Kesme bölgesindeki sıcaklığı belirlemek hala büyük bir problemdir [19]. Kesme bölgesinde ısı üretme kapasitesine göre ısı oluşturan üç bölge vardır şekil 3.9'da bu bölgeler gösterilmiştir.



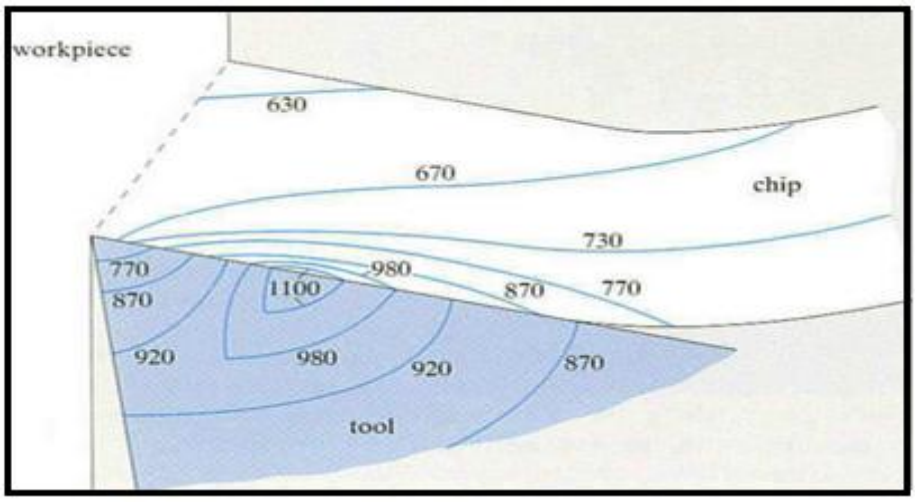
Şekil 3.9. Kesme bölgesinde ısı oluşumu [19].

A- Kayma düzlemi; buradaki plastik deformasyon önemli bir ısı kaynağı olup oluşan ısının çoğu talaşta kalır.

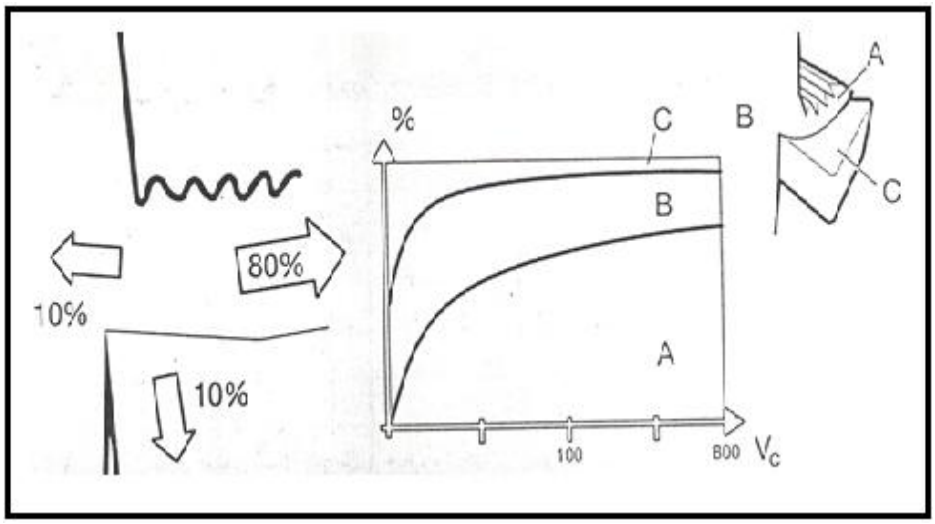
B- Takım-talaş ara yüzeyi temas bölgesi; buradaki ilave plastik deformasyon olur ve kayma hareket inden dolayı ısı oluşumunda önemli derecede etkilidir.

C- Takım yan yüzeyi, burada yeni oluşan iş parçası yüzeyinin takım yüzeyine sürtünmesiyle ısı oluşur. Özellikle bu sürtünme yan yüzey aşınması ile artar [19].

Kesme esnasında iş parçası ve takım üzerinde oluşan ısının izotermik dağılımları (şekil 3.10)'da gösterilmiş olup (şekil 3.11)'de talaşlı imalat işleminde oluşan ısının atılmasının dağılımı gösterilmektedir.



Şekil 3.10. Kesme esnasında iş parçası ve takım üzerinde oluşan ısının izotermik dağılımları [25].



Şekil 3.11. Talaşlı imalat işleminde oluşan ısının atılması [19].

Isının takım aşınması ve takım ömrü üzerinde doğrudan bir etkisi vardır ve kesme hızının artışını sınırlandırır. Oluşan ısının çoğu kesme bölgesinden talaş, iş parçası, kesici takım ve ortam tarafından uzaklaştırılır. Bunların her biri tarafından uzaklaştırılan ısının miktarı iş parçası malzemesi, kesme parametreleri, kesici takım malzemesi, takım geometrisi ve kesme şartlarıyla değişir [19].

Kesme hızı, kesme sıcaklığı üzerinde çok önemli bir etkiye sahiptir. Kesme hızının artmasıyla metal kesme işlemindeki deformasyon ve sürtünme için kullanılan birim

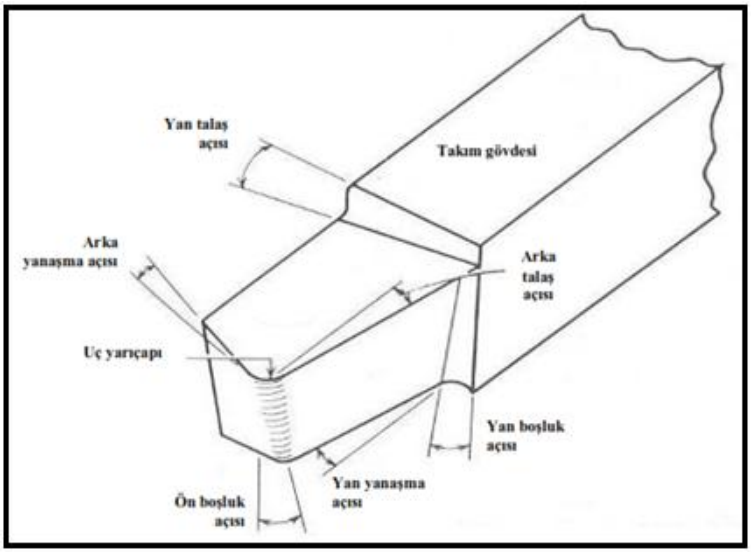
zamandaki enerji artar ve bu da ısıyı ve dolayısıyla sıcaklığı artırır [19]. Aşırı sıcaklık, kısa takım ömrü ve kesme hızını sınırlandırmanın ana sebebidir. Kesici takım malzemelerinin geliştirilmesi, büyük bir oranda yüksek sıcaklık etkilerine dayanabilmeleri etrafında odaklanmıştır. Kesme bölgesindeki sıcaklık, büyük oranda takım ile talaş arasındaki temasa, kesme kuvvetlerinin büyüklüğüne ve iş parçası ve kesici takım arasındaki sürtünmeye bağlıdır. Bu durumda düşük kesme hızları iş parçasına iletilen ısıyı ve dolayısıyla sıcaklığı artırabilir. Yüksek kesme hızları, enerjinin çoğunun talaşla atılmasını ve kesici takım ve iş parçasına az miktarda ısı iletilmesini sağlar. Metal kesme işleminde oluşan ısının çoğu, kesme bölgesinden ideal olarak talaşla uzaklaştırılır. Talaştaki ısı, kesici takımı, talaş ve takım arasında temas olduğu sürece etkiler. Isının çoğu kayma bölgesinden kaynaklanır ve bu nedenle takım ve talaş arasındaki temasın ölçüsü performansını etkiler. Küçük talaş açılarından kaynaklanabilen küçük kayma açıları, iş parçasına iletilen ısı miktarını artırabilir [19].

3.5. TALAŞ KALDIRMA OLAYINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Yüksek verimle üretim yapabilmek için üretim esnasında optimum işleme şartlarının sağlanması gerekir. Talaş kaldırma işleminde kesme parametresi olarak isimlendirilen kesme hızı (V), ilerleme değeri (f) ve kesme derinliğinin (a) takım ömrüne ve talaş kaldırma miktarına önemli etkisi vardır. Herhangi bir iş malzemesi yüzeyinden belirli miktarda malzeme tabakasının kaldırılması için kesici takım olarak adlandırılan bir kesicinin o malzeme içine batması gerekir. Bu sebeple, takım olarak kullanılan kesicinin, işlenecek iş parçasından daha sert, dayanıklı olması ve takıma kâfi derecede bir kuvvetin uygulanması ile yine kesme olayının gerçeklemesi için kesici takımın belirli bir takım geometrisine sahip olması ve belirli kesme şartlarının uygulanması lazımdır. Tornalamada yapılan kesme işleminin sürekliliğinden ve talaş kaldırma işlemini en iyi şekilde temsil etmesinden dolayı, tek noktalı kesme işlemi ele alınmaktadır. Aynı şekilde diğer takım tezgâhlarında da benzer olaylar daha basit olarak ortaya konmaktadır [26].

3.5.1. Takım Geometrisi

Talaşlı imalat işleminde etkin bir şekilde kesme işleminin yapılabilmesi için kesici takım uygun geometriye sahip olmalıdır. Çeşitli talaşlı imalat işlemleri için kesici takım geometrileri de farklılık gösterir. Kesici takımlar tek noktadan kesme işlemi yapan ve çok noktadan kesme işlemi yapan kesici takımlar olmak üzere genelde iki kategoriye ayrılır. Bununla birlikte, bütün talaşlı imalat işlemlerinde talaş oluşum mekanizması temelde aynı olduğu için tek noktadan kesme işlemi yapan kesici takımlara uygulanan kurallar, genelde çok noktadan kesme işlemi yapan kesici takımlara uygulanan kurallar ile aynıdır. Tornalama işleminde genelde tek noktadan kesme işlemi yapan kesici takımlar kullanılır. Şekil 3.12'de tek noktadan, sağ yönlü kesme (sağ yan) işlemi yapan bir kesici takım görülmektedir [13].



Şekil 3.12. Sağ yönlü kesme işlemi yapan, sağ yan kesici takım [13,19].

Kesici takım geometrisi esas olarak takım malzemesinin ve iş parçası malzemesinin özelliklerine bağlıdır. Şekil 3.12'de görüldüğü gibi bir kesici takım üzerinde çeşitli açılar mevcuttur. Ancak, bunların en önemlileri talaş açıları ve boşluk açılarıdır. Talaş açıları iş parçası malzemesinde kesme işlemi esnasında oluşan kaymayı ve talaş oluşumunu etkiler. Talaş açıları pozitif veya negatif olabilir. Pozitif talaş açıları kesme kuvvetlerini düşürerek iş parçasında, kesici takımda ve takım tezgahında daha az sapmalara neden olur. Sert iş parçalarının işlenmesinde talaş açıları küçük

olmalıdır. Sementit karbür, seramik ve elmas kesici takımlarda hatta negatif olmalıdır. Genel olarak yüksek sertlikteki iş parçalarının işlenmesinde kullanılan kesici takımlarda talaş açıları küçük olmalıdır. Yüksek hız çeliği kesici takımların talaş açıları kesici takım tipi (tornalama, frezeleme ve vargelleme gibi) ve iş parçası malzemesine bağlı olarak normalde pozitif seçilir [12].

Genel olarak, talaşlı imalat işlemlerinde güç tüketimi her bir derece talaş açısı için yaklaşık olarak %1 azalır. Kama açısı (90–talaş açısı–boşluk açısı), kesici takımın dayanımını ve ısı iletme kabiliyetini belirler. Boşluk açıları esas olarak takım ömrünü ve iş parçası yüzey kalitesini etkiler. Kesici takımdaki ve iş parçasındaki sapmaları (eğilmeleri) azaltmak ve iyi bir yüzey kalitesi elde etmek için büyük boşluk açıları gereklidir. Yüksek hız çeliği için 5–10 derece arasındaki boşluk açıları normaldir. Küçük değerler sert malzemeler için tercih edilir. Sementit karbürler için ise dayanımı artırmak için küçük boşluk açıları gereklidir [19].

3.5.2. Kesme Hızı

Torna tezgahında kesme hızı (V), kesilmemiş iş parçası yüzeyindeki bir noktanın kesici takım önünde birim zamanda aldığı yol olarak tanımlanır ve çoğunlukla m/dk olarak ifade edilir [19]. Kesme hızının hesaplanması eşitlik 3.2'de verilmiştir.

$$V = \frac{\pi . d . n}{1000} \text{(m/dk)} \quad (3.2)$$

V = Kesme hızı (m/ dk)
d = İşlenecek parçanın çapı (mm)
n = Torna Tezgâhının devir sayısı (dev/dk)

Talaş kaldırma esnasında uygulanması gereken kesme hızı aşağıdaki faktörlere göre değişmektedir:

- ✓ İşlenecek malzeme,
- ✓ Kesici takım malzemesi,

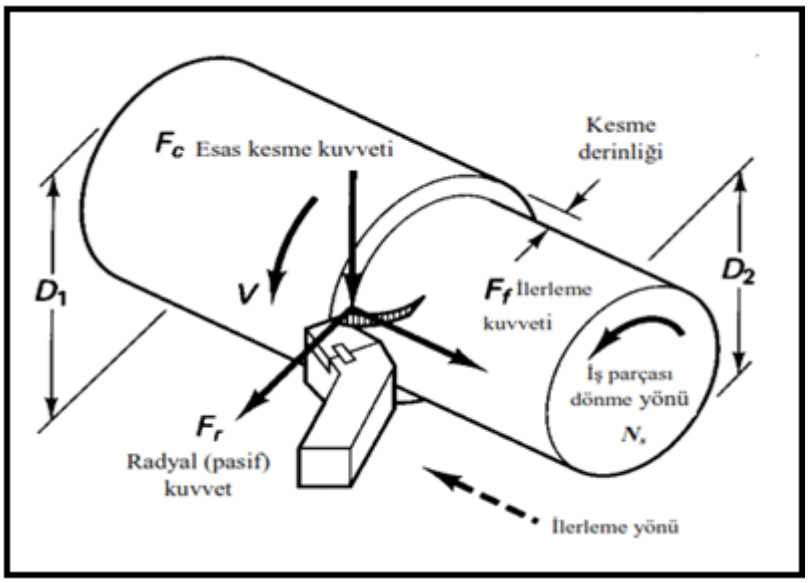
- ✓ Talaş derinliği,
- ✓ İlerleme miktarı,
- ✓ Soğutma sıvısı,
- ✓ Tezgâhın rijitliği ve tipi [23].

Her iki kesme konumunda kesme hızı dış çapa göre verilir. Kesme hızları ideal seçilmelidir. Kesme hızı oldukça düşük seçilirse, az iş parçası üretilir ve çok düşük kesme hızlarında takım ucunda talaş sıvanması meydana gelir. Bu durum takım değişikliğini gerekli kılar. Ancak kesme hızı çok yüksek ise takım hızla bozulacak sıkça takım değişikliği gerekecektir. Bu nedenle herhangi bir talaş kaldırma işlemi için optimum kesme hızı, kesici takım ömrü ve talaş kaldırma miktarını dengeleyecek şekilde seçilmelidir [23].

Kesme hızı, iş parçası malzemesi, kesme sıvısı, kesme derinliği, ilerleme değeri ve takım geometrisi sıcaklığın oluşmasını etkileyen faktörlerdir. Bunlardan en önemlisi kesme hızının büyümesi, sıcaklığın önemli ölçüde artmasına neden olur. Bu nedenle sertliklerini sertleştirme yolu ile kazanan takımların kesme hızları sınırlıdır. Kesme sıvılarının kullanılması, sıcaklığın azalmasına ve daha büyük kesme hızlarının kullanılmasına izin verir [26].

3.5.3. Kesme Kuvveti ve Kesme Gücü

Talaş kaldırma işlemi esnasında oluşan kesme kuvvetleri, ısı oluşumu, takım ömrü, işlenen yüzeyin kalitesi ve iş parçasının boyutları üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Kesme kuvvetleri aynı zamanda takım tezgahlarının, kesici takımların ve gerekli bağlama kalıplarının tasarımında da kullanılır [20]. Tornalama işlemi esnasında oluşan kuvvetler şekil 3.13’de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.13. Tornalama işleminde kesme kuvvetleri [20].

Tornalamada talaş kaldırma sırasında meydana gelen dirençleri yenmek için kesme kuvvetinin üç bileşeni mevcuttur.

1. Esas kesme kuvveti (F_c): Kesme hızı yönünde etki eder. En büyük kuvvet olup metal kesme işleminde harcanan gücün genelde % 99'una karşılık gelir.

2. İlerleme kuvveti (F_f): Kesici takımın ilerlemesi yönünde etkiyen kuvvettir. Kesme kuvvetinin ekseriyetle yaklaşık % 50'si kadardır fakat ilerleme değerinin kesme kuvvetiyle karşılaştırıldığında çok küçük olduğu için metal kesme işlemindeki gerekli gücün çok az bir kısmına karşılık gelir.

3. Radyal kuvvet (F_r): İşlenen yüzeye dik etkiyen kuvvettir. Bu kuvvet de ilerleme kuvvetinin yaklaşık % 50'si kadardır [20]. Kesme esnasında oluşan kuvvetlerin bileşkelerinin bulunması eşitlik 3.3'de verilmektedir.

$$F=\sqrt{F_c^2+F_f^2+F_r^2} \quad (3.3)$$

3.5.4. Takım Ömrü

Kesici takımın kesme işlemine başlamasından itibaren etkin olarak kesme işlemini yapamaz hale gelinceye kadar geçen süre takım ömrü olarak bilinir [19].

Takım ile iş parçasındaki izafi hareket ve kesme kuvveti talaş oluşumu için gereklidir. Hareket ve kuvvet etkisine bağlı olarak oluşan sürtünme, ısı artısına neden olmaktadır. Modern endüstride kesici takım maliyetinin toplam üretim maliyetini doğrudan etkilemesi optimizasyon işlemlerini zorunlu hale getirmektedir. Talaş kaldırma esnasında tüm takımlar aşınır ve aşınma takımlar ömürlerini tamamlayana kadar devam eder. Kesici takım ömrü her zaman sınırlıdır. Takım aşınmasına etki eden faktörler kesme işlemine bağlı parametrelerdir. Kesici takımın kırılması Talaş yüzeyindeki ve serbest yüzeydeki aşınmaya bağlı olup çoğunlukla takım ömrü kriterleri takım aşınmasına göre belirlenir. Özellikle takım malzemesi ve kesme geometrisi seçimi çok önemlidir. Ancak takım doğru seçilmiş olsa bile işleme koşulları özellikle kesme verileri ve işlemin rijitliğini ilgilendiren koşullar standart dışı ise optimum takım ömrü elde edilemez. Bağlama elemanlarının rijit olmaması ve titreşimler birçok kesici kenarın ömrünü, belirlenen süreden önce tamamlanmasına neden olacaktır [22].

Takım ömrü aşağıdaki etkenlere göre değişir.

- ✓ İş malzemesi,
- ✓ Takım geometrisi,
- ✓ Kesme hızı,
- ✓ İlerleme hızı,
- ✓ Talaş derinliği,
- ✓ İş parçası ve takım bağlama aparatlarının rijitliği,
- ✓ Takım tezgahındaki titreşimler,
- ✓ Kesme sıvısı [27].

3.5.5. Talaş Derinliği ve İlerleme Miktarı

Talaş kaldırma işlemini etkileyen diğer önemli faktörlerde kesme derinliği (*a*) ve ilerleme değeri (*f*)'dir. Kesme işlemi mekaniği, dolayısıyla takım ömrü açısından değerlendirme yapıldığında; talaş kaldırma miktarı, bitirilmemiş iş parçasından kaldırılan malzeme miktarıdır. Bu değişkenlerden herhangi biri değiştirildiği zaman bunun sonucu olarak talaş kaldırma miktarı da değişir. Her bir parametredeki değişiklik, kesici takım ömrüne farklı olarak yansır [26].

En uygun *f* ve *a* düşünüldüğü zaman, mümkün olan en derin talaş ve düşük ilerleme değeri seçilir. Çünkü bunlar takım ömürlerine kesme hızından daha az etkiye sahip olduğundan takım ömrünü az oranda azaltacaktır. Optimum *f*, kesici takım ömrü ve talaş kaldırma miktarını dengelemelidir [26].

Torna kalemi kesme kenarının, dönen iş parçasının bir devrinde, doğrusal olarak milimetre cinsinden aldığı yola "ilerleme" adı verilir. Bazı CNC tezgahlarında ikinci bir ilerleme vardır. İkinci ilerlemenin tanımı şöyle yapılmaktadır; torna kaleminin kesme kenarının, dönen iş parçası üzerinden doğrusal olarak, bir (1) dakikada milimetre cinsinden aldığı yola "ilerleme" denilir. CNC torna tezgâhlarında ilerlemenin sembolü (f) harfidir. Bu durumda tornada iki türlü ilerlemede de alınan yol doğrusal olarak ve milimetre cinsindendir. Aradaki temel fark sadece ilerlemenin birim zamanındadır. Konvansiyonel torna tezgahlarında bir devirde doğrusal alınan yol mm/dev'dir [12]. CNC torna tezgahlarında ise, bir dakikada doğrusal olarak alınan yol mm/dakika'dır. İlerleme miktarına etki eden faktörler ise şu şekilde sıralanabilir;

1. Talaş kaldırma yöntemi.
   - ✓ Kaba talaş kaldırma,
   - ✓ İnce talaş kaldırma,
2. Malzeme çifti.
   - ✓ Kesici aletin cinsi,
   - ✓ Kesilecek malzemenin cinsi,
3. Kesme hızı.

4. Kesme oranı.
5. Talaş derinliği.
6. Tezgahın gücü ve kapasitesi.
7. Fener (iş) mili devir sayısı.
8. İş parçasının fiziksel durumu ve ölçüleri.
9. İş parçasının bağlama tarzı.
10. Kesici aletin fiziksel durumu ve bağlama tarzı [3].

3.6. KESİCİ TAKIMLAR

3.6.1. Kesici Takım Malzemeleri

3.6.1.1. Giriş

Talaşlı imalat işlemlerinde kullanılan kesici takımlar, talaşlı imalat işlemlerinin maliyeti ve ürün kalitesi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Talaşlı imalat işlemlerinin maliyetinin düşük olması için kesici takımların yeterince uzun bir süre keskinliğini korumaları ve kesme hızının ilerleme miktarının ve talaş derinliğinin yüksek olması istenir. Kesici takımlar, kesme işlemini etkin bir şekilde yapabilmeleri için talaşlı imalat esnasındaki yüksek gerilme, sıcaklık ve sürtünme etkilerine uzun süre dayanacak kabiliyette olmalıdır [28].

Talaşlı imalat işlemi esnasında yüksek sıcaklık ve gerilmeler nedeniyle kesici takımların etkin bir şekilde uzun süre kesme işlemi yapabilmesi için kesici takım malzemeleri aşağıdaki özelliklere sahip olmalıdır [13]:

- ✓ Yüksek sertlik,
- ✓ Yüksek tokluk,
- ✓ İş parçasına karsı kimyasal olarak asallık,
- ✓ Oksidasyon ve kimyasal olarak çözünmeye (dissolution) karsı kararlılık,
- ✓ Isıl şoklara karsı direnç [13].

3.6.6.2. Sementit Karbür Kesici Takımlar

Bu malzemeler çok yüksek sertlik ve yüksek basma mukavemetli bir kitle oluşturacak şekilde bir metal veya demir alaşım grubu ile çok ince taneli refrakter metal karbür partiküllerinden oluşurlar. Semente karbürler toz metalurjisi teknikleri ile üretilmektedir. Proses esasen tungsten, titanyum veya tantalyum karbür tozlarının hazırlanmasını kapsar. Bu tozlardan biri veya birkaçı bağlayıcı ile karıştırılır. Bağlayıcı metal olarak genellikle kobalt, nadiren de nikel ve demir kullanılmaktadır. Bu karışım istenilen şekilde kompakt kitle halinde soğuk preslenir ve akabinde sinterlenir (1370-1480!C) veya sıcak presleme ile sekilendirilir. Kobalt yüksek sıcaklıklarda karbürlerle otektik oluşturur ve çok iyi ıslatma özelliği gösterir. Tungsten karbür, düşük sıcaklıkta katı kobaltda yalnızca %1 oranında çözünürken, nikelde %25 ve demirde %5 oranında çözünmektedir. Nikel ve demirde, tungsten karbürün yüksek katı çözünürlüğü, gevrekliği arttırıcı bir etki yapar. Kobalt miktarının artısıyla tokluğun artmasına karşılık sertlik, basma mukavemeti, elastik modül ve abrasif direnç azalır [12].

Bu tur kesici takımlarda abrasif eleman olarak tungsten karbür (WC) ile beraber titanyum karbür (TiC), tantalyum karbür (TaC) ve niobyum karbür (NbC) mikro yapıda yer alabilir. Bu tür ilave karbürlerin, difuzyona direnç gösteren bir ara tabaka meydana getirmelerinden dolayı kesici takımlarda karşılaşılan önemli hasar türlerinden biri olan kraterleşme engellenmektedir. Bazı özel sert metallerde sert faz olarak krom karbür, molibden karbür ve bağlayıcı metal olarak nikel bulunabilir. Sade tungsten karbürlü kaliteler dökme demir, östenitik çelik, demir dışı ve metal dışı malzemelerin islenmesinde kullanılırken tungsten karbür yanında titanyum ve tantalyum karbür de ihtiva eden kaliteler ise ferritik çeliklerin işlenmesinde kullanılırlar [12].

Semente karbürlerin yüksek sıcaklık mukavemeti, karışık karbür miktarının artısı ile artmasına karşılık, kobalt miktarının artısı ile azalır (tokluk için bu ilişki terstir). Sinterlenmiş karbürlerin çok iyi takım performansı, çok yüksek kızıl sertlikle birlikte yüksek sertlik ve yüksek basma mukavemetinden ileri gelir [12].

Kaplamalı kesici takımlar talaşlı imalat endüstrisinde hızla yaygınlaşmıştır ve günümüzde kullanılan sementit karbür kesici takımların %75'i kaplamalıdır. Kaplama, kesici takım ömrünü iki kat, üç kat veya daha fazla artırabilmektedir. Kesici takımlarda kesici takım yüzeyindeki malzeme aşınmaya dirençli, sert ve kimyasal olarak asal olmalıdır. Kimyasal olarak asal olma, kesme esnasında kesici takım malzemesi ile parçası malzemesinin etkileşimini engeller. İnce ve kimyasal olarak kararlı olan TiC, TiN veya Al_2O_3 refrakter malzemeler kaplama olarak kullanılır. Kaplamanın altındaki sementit karbür, kaplama malzemesi ile karşılaştırıldığında tok, darbeye ve kırılmaya dayanıklıdır[12].

Kaplamanın etkin olabilmesi için kaplama malzemesinin sert, refrakter, kimyasal olarak kararlı ve kesme koşullarında kesici takım ve iş parçası malzemesinin birbirleri ile etkileşimini engellemek için kimyasal olarak asal olmalıdır. Kaplama, ince taneli, birleştiricisiz ve gözeneksiz olmalıdır. Doğal olarak, kaplama metalurjik olarak altlığa (sementit karbüre) birleştirilir. Kaplama, takım ömrünü uzatmak için kalın ancak kırılganlığa karşı dayanıklı olması için de ince olmalıdır [12].

Kaplama malzemesi düşük bir sürtünme katsayısına sahip olmalı ki talaşların kesici takım talaş yüzeyine yapışma eğilimi daha az olsun. TiC kaplanmış kesici takımlar 1969 yılında ilk olarak üretilmiştir. Günümüze kadar kaplama malzemeleri çeşitlenmiştir (TiC, TiN, Al, HfN veya HfC). İlk zamanlarda tek katlı kaplamalar kullanılmasına rağmen, günümüzde kullanılan kesici takımlarda çoğunlukla çok katlı kaplamalar kullanılır. Bu şekilde, her bir katman kendine ait özellikleri kesici takıma aktarır. En çok kullanılan kaplama kombinasyonları TiN/TiC/TiCN/TiN ve TiN/TiC/Al_3O_3'tür. Kimyasal buhar kaplaması yöntemi (CVD) sementit karbürleri kaplamak için kullanılan bir yöntemdir. Kaplama, sementit karbür altlık üzerinde veya yakınında kimyasal reaksiyonla gerçekleşir. Kimyasal buhar kaplaması yönteminde kaplama malzemesi atomların birikimi ile gerçekleşir. Bu nedenle, en yüksek yoğunluklu kaplama elde etmek mümkündür [28].

3.6.6.3. Sermetler

Sermet ifadesi seramik ve metal kelimelerinden türetilmiştir ve sementit karbürlerin müşterek ismidir. Sermet kesici takımda sert parçacıklar WC'den ziyade TiC, TiCN ve/veya TiN esaslı seramik parçacıklardan oluşurken birleştirici faz da nikel ve/veya molibdenden oluşur. Sermet kesici takımlar da sementit karbürler gibi toz metalurjisi yöntemleriyle üretilirler. Çelik, paslanmaz çelik, östenitik paslanmaz çelik ve dökme demirin bitirme ve yarı bitirme işlemlerinde yüksek kesme hızlarında kullanılırlar. Çeliklerin işlenmesinde kullanılan sementit karbür kesici takımlardan genellikle daha yüksek hızlarda kullanılırlar. Düşük ilerleme değerinde iyi bir yüzey elde edilerek çoğunlukla taşlama işlemine gerek kalmaz [28].

Sermet kesici takımların kullanımı son yıllarda artmasına rağmen bu kesici takımlar 1920'li yıllardan beri bilinmektedir. Ancak geliştirilen bu ilk sermetler çok kırılgan olduğu için kullanımında sınırlamalar olmuştur. Titanyum esaslı sermetler ilk olarak 1929 yılında geliştirilmiştir. İlk zamanlarda imal edilmelerindeki güçlükler ve kırılgan oluşları nedeniyle başarılı bir şekilde kullanılmamışlardır. Daha sonraları molibden ilavesi ve geliştirilen imalat teknikleri ile toklukları artırılmıştır. Toklukları geliştirilen sermetler sadece çeliklerin ince işlenmesinde değil frezeleme ve paslanmaz çeliklerin tornalanmasında kullanılır hale gelmişlerdir. Sermetler aşağıdaki özelliklere sahiptirler:

- ✓ Yüksek yan yüzey ve krater aşınma direncine,
- ✓ Yüksek kimyasal kararlılık ve sıcak sertliğe,
- ✓ Düşük yığıntı talaş oluşturma eğilimine,
- ✓ Düşük oksitlenme eğilimine [28].

Takım aşınmasının sermet kesici takımlarda düşük olması ve dolayısıyla takım ömrünün yüksek olması nedeniyle sermet kesici takımlar yüksek ölçü tamlığı ve yüzey kalitesi sağlarlar. Yapılacak talaşlı imalat işlemlerinde hassasiyet ve yüzey kalitesi ön planda olduğu zaman, yüksek kesme hızları ve düşük talaş kesitlerinde sermetler avantajlıdırlar. İşleme şartları ideal olarak kararlı olmalı ve kesintisiz

işlemler sermet için tercih edilmelidir. Keskin bir kesici uç, işleme payı düşük olan çok sayıdaki iş parçalarının işlenmesinde uzun bir takım ömrü sağlar [28].

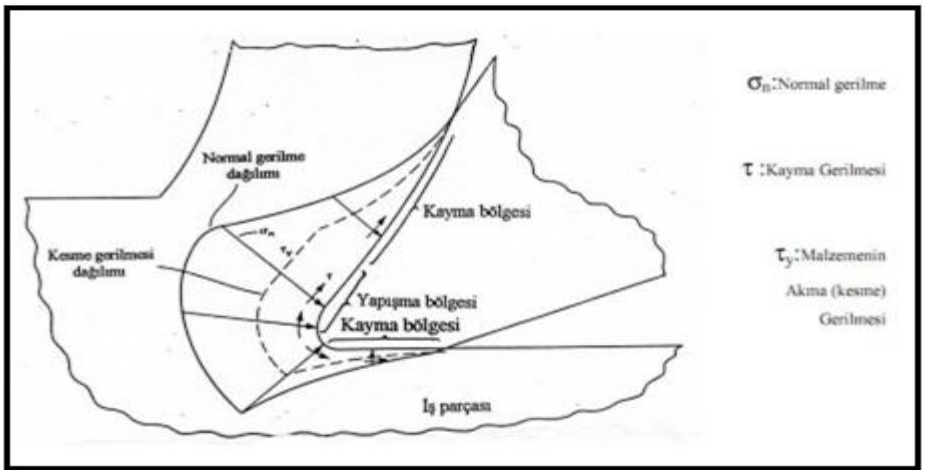
WC esaslı sementit karbürlerle karşılaştırıldığında, sermetler aşağıdaki avantajlara sahiptirler:

- ✓ Düşük sabit yüklerde aynı kesici uç dayanımına sahiptirler,
- ✓ Yüksek kaliteli bitirme işlemlerinde daha uzun süreli performans,
- ✓ Yüksek hızda işleme yapmak için daha iyi kapasite,
- ✓ Daha yüksek çentik aşınması direnci (oksidasyon aşınması nedeniyle),
- ✓ Sünek malzemelerde daha iyi yüzey kalitesi oluşturma ve yığıntı talaş oluşma eğiliminin az olması [28].

3.7. TAKIM AŞINMASI

3.7.1. Aşınma

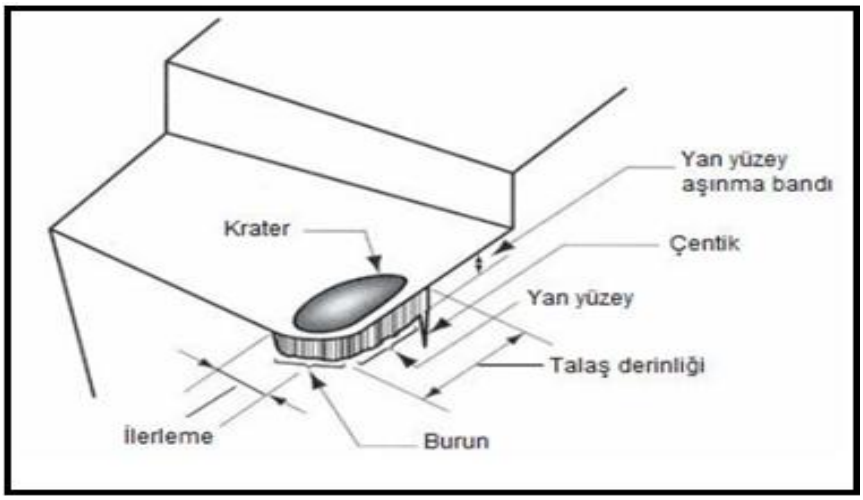
Aşınma, kesici takımın malzeme kaybından ileri gelen ve ilk şekline göre oluşan farklılıktır. Bütün kesici takımlar, talaş kaldırma sırasında ömürlerinin sonuna kadar aşınırlar [29]. Şekil 3.14'de takım aşınma yüzeylerindeki gerilmelerin dağılımı ve şekil 3.15'de kesici takımdaki oluşan aşınmalar gösterilmiştir.



Şekil 3.14. Takımın aşınma yüzeyindeki gerilmelerin şematik gösterimi [29].

Talaş kaldırma işlemi esnasında kesici takımın aşınması anlayabilmek için aşağıdaki etkilerden biri veya birkaçının aynı anda gözlenmesi gerekir [30]:

- ✓ Kesme kuvvetlerindeki aşırı yükselme,
- ✓ Sıcaklık artışı,
- ✓ Aşırı titreşim,
- ✓ Yüksek gürültü,
- ✓ İşlenen malzeme boyutlarındaki değişim,
- ✓ İşlenen yüzeyin bozulması [30].



Şekil 3.15. Kesici takımdaki aşınmalar [30].

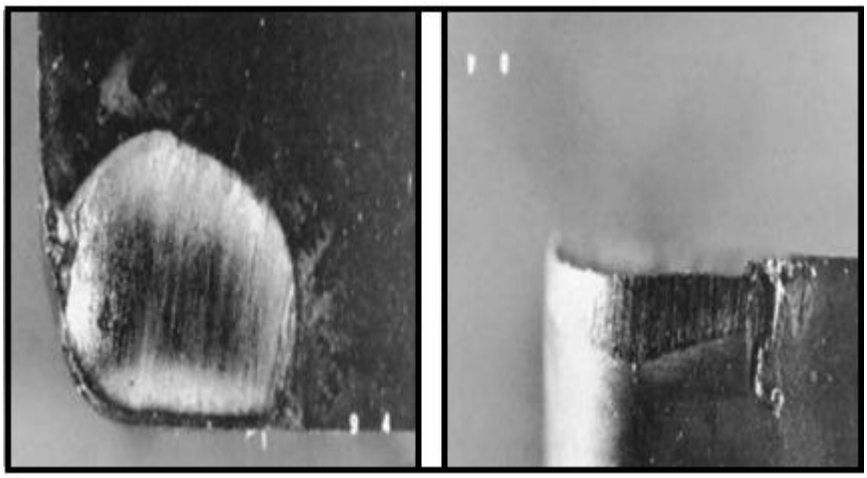
Kesici takım; kırılma, plastik deformasyon ve tedrici takım aşınması sonucunda kesme yeteneğini kaybeder.

- ✓ Kırılma: Kesici takıma gelen anlık yüksek kuvvetler nedeniyle oluşan kırılmalar veya sürekli olmayan kesme işlemi (frezeleme işlemi gibi) esnasında mekanik ve ısıl yorulmalar sonucu kırık oluşumundan dolayı kesici takımda kırılma ve pullanma soyulma seklinde oluşan aşınmalardır [1].

- ✓ Plastik deformasyon: Kesici takımda plastik deformasyon, yüksek basınç vesıcaklık sonucu oluşur. Plastik deformasyona uğramış kesici takım geometrisi değiştiği için kesme işlemini etkin bir şekilde yapamaz, sıcaklık artar ve talaş akışı değişir. Plastik deformasyona direnç için kesici takımın

sıcak sertlik özelliğinin iyi olması gerekir. Ayrıca, uç yuvarlatma ve kesme geometrisi iyileştirilerek plastik deformasyona direnç artırılabilir [1].

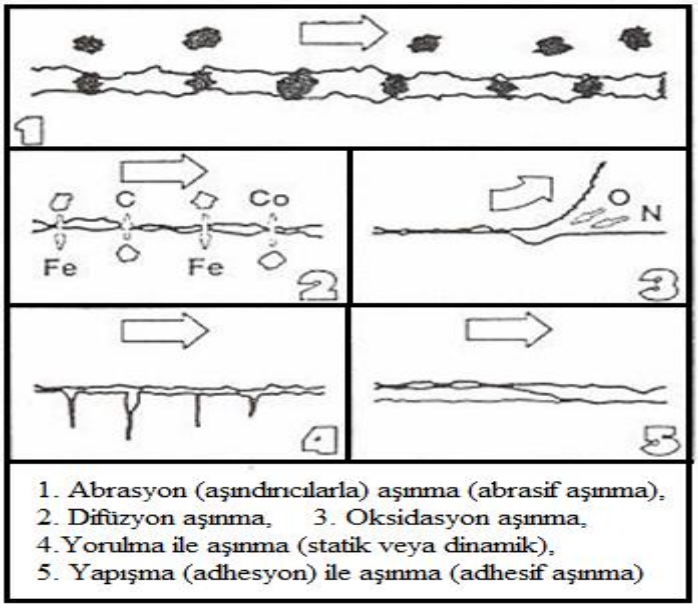
- ✓ Tedrici takım aşınması: Kesici takım üzerinde tedrici aşınma talaş yüzeyi ve yan yüzey olmak üzere iki bölgede görülür. Talaş yüzeyindeki aşınma "krater aşınması" ve yan yüzeydeki aşınma da "yan yüzey (yanak) aşınması" olarak isimlendirilir. Krater aşınması, kesici takım talaş yüzeyinde talaşın hareketiyle oluşan içbükey alandır. Krater aşınmasının büyüklüğü, bu alanın derinliği ve alanı ölçülerek belirlenir. Yan yüzey aşınması ise yeni oluşan is parçası yüzeyi ile kesici takım yan yüzeyinin sürtünmesiyle oluşur. Yan yüzey aşınması bu aşınma bandının genişliği ile ölçülür. Şekil 3.16'da bazı aşınma tipleri ve Şekil 3.17'de kesici takım aşınma mekanizmaları gösterilmiştir. Kesici takımın iş parçası orijinal yüzeyi ile temasta olan yan yüzeyinde çoğunlukla daha fazla bir aşınma görülür. Çentik aşınması olarak adlandırılan bu aşınmanın sebebi iş parçası yüzeyinin soğuk haddeleme veya önceki işlemlerden dolayı sertleşmiş olması, dökümden kalan sert malzemeler ve diğer nedenlerdir [1].



a) Krater aşınması b) Yan yüzey aşınması

Şekil 3.16. Kesici takım ucundaki aşınmalar [30].

Talaş kaldırma sırasında kesici kenar üzerindeki etkili olan yük faktörlerinin bir sonucu olarak, bazı temel aşınma mekanizmaları metalden talaş kaldırma işlemine etki eder.



Şekil 3.17. Metallerin işlenmesi sırasında temel aşınma mekanizmaları [30].

3.7.2. Takım Aşınma Tipleri

Takım aşınması tipleri ve 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 sebep olan aşınma mekanizmaları şu şekilde sınıflandırılmıştır [31]:

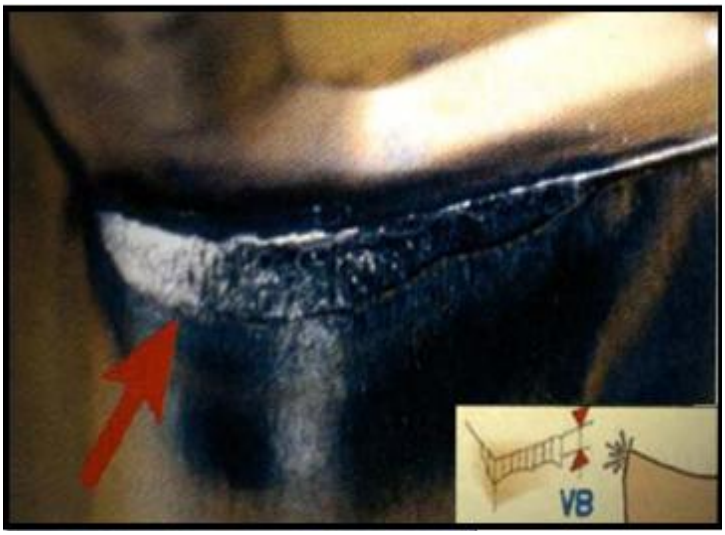
- ✓ Yan kenar aşınması: Abrasif aşınma mekanizması,
- ✓ Krater aşınması: Abrasif aşınma ve difüzyon aşınma mekanizmas,
- ✓ Plastik deformasyon: Yorulma ile aşınma mekanizması,
- ✓ Çentik aşınması: Oksidasyon, adhezyon ve mekanik aşınma,
- ✓ Termal çatlaklar: Isıl-termal yorulma mekanizması,
- ✓ Mekanik yorulma çatlakları: Mekanik yorulma mekanizması,
- ✓ Çıtlama (Çentiklenme): Yorulma mekanizması,
- ✓ Kesici ucun kırılması: Plastik deformasyon,
- ✓ Yığılma-sıvanma: Adhezyon aşınması [31].

3.7.2.1. Yan Kenar (Yanak) Aşınması

Takımın kesme kenarı ve yan yüzeyinde meydana gelen aşınma yan kenar aşınması olarak adlandırılır ve bir aşınma bölgesi oluşur. 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 gelir [27].

Yan kenar aşınması genellikle kesme kenarlarının abrazyonu ile oluşur. Yan kenar aşınma bölgesi genellikle üniform genişliktedir ve kenara yakın bölgede oluşur. Yan kenar aşınmasının ortadan kaldırılması mümkün olmayıp, azaltılabilmesi için tedbir alınması mümkündür [27].

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. Şekil 3.18'de kesici takımda talaş kaldırma sonrası meydana gelen yan kenar aşınması görülmektedir [32].



Şekil 3.18. Yan kenar aşınması [33].

3.7.2.2. Krater Aşınması

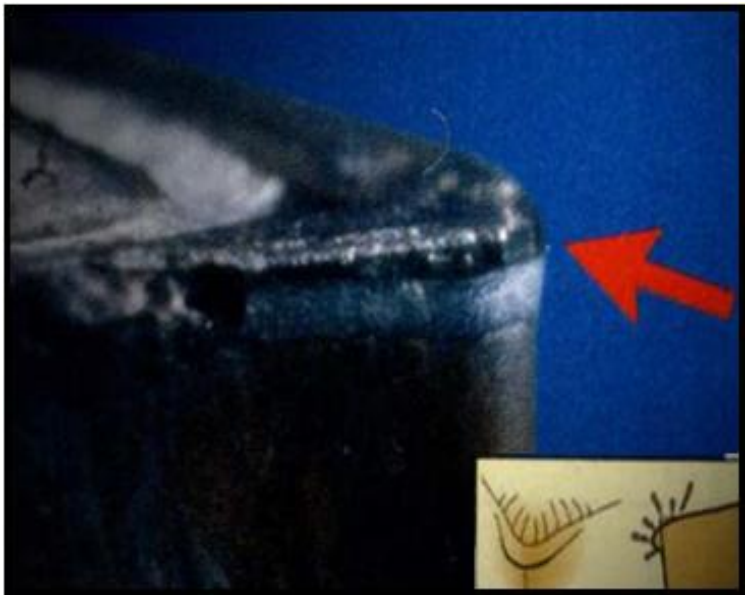
Krater aşınmasındaki en önemli faktörler sıcaklık ve kesici takım ile iş parçasının birbirlerine karşı kimyasal ilgileridir. Aynı zamanda, yan yüzey aşınmasına neden olan faktörler krater aşınmasına da sebep olur. Nispeten yüksek hızlarda kaymaya maruz kalmakla birlikte, talaş yüzeyi yüksek seviyelerde sıcaklık ve gerilmeye maruz kalır. Sıcaklık 1100 °C'a kadar çıkabilir. Talaş yüzeyinde krater aşınmasının en fazla olduğu yer sıcaklığın en yüksek olduğu yere tekabül eder [18].

Sıcaklığın krater aşınmasına etkisi difüzyon (takım-talaş ara yüzeyi boyunca atomların hareketi) mekanizması şeklinde tanımlanır. Difüzyon, kullanılan kesici takım ve iş parçası malzemelerine, sıcaklık, basınç ve zamana bağlıdır. Kesici takım ve iş parçası arasındaki ilgi, sıcaklık, basınç ve zamanın artmasıyla difüzyon hızı artarak krater aşınması da artar. Kesme hızı arttıkça, artan sıcaklık nedeniyle krater aşınması ve kesici ucun plastik deformasyonu gerçekleşir [18]. Şekil 3.19'da kesici takımda talaş kaldırma sonrası meydana gelen krater aşınması görülmektedir.

Şekil 3.19. Krater aşınması [33].

3.7.2.3. Plastik Deformasyon

Şekil 3.20'de kesici takımda talaş kaldırma sonrası meydana gelen plastik deformasyon görülmektedir. Plastik deformasyon, kesici kenar üzerindeki yüksek basınç ve yüksek sıcaklık kombinasyonunun bir sonucu olarak ortaya çıkar. Takım malzemesinin bunlara karşı koyabilmesi ve plastik olarak şekil değiştirmemesi için yüksek sıcaklık sertliği kritiktir. Kesici kenarda bir şişmenin oluşması daha yüksek sıcaklıkların oluşmasına, geometrinin deformasyonuna, talaş akışının değişmesine sebep olacak ve kritik bir noktaya ulaşıncaya kadar etkisi devam edecektir. Kenar yuvarlatmanın (uç yarıçapı) boyutu ve takım geometrisi (kesme geometrisi) bu tip aşınmanın engellenmesinde önemli rol oynar [32].

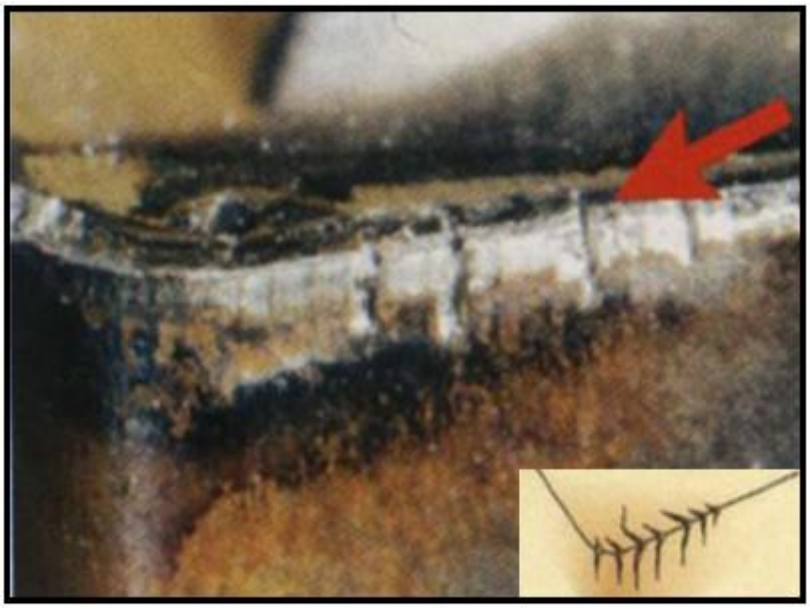


Şekil 3.20. Plastik deformasyon [33].

3.7.2.4. Termal Çatlaklar

Şekil 3.21'de kesici takımda talaş kaldırma sonrası meydana gelen termal çatlaklar görülmektedir. "Termal çatlaklar genellikle ısıl değişiklerden kaynaklanan yorulma aşınmasıdır. Oluşan sıcaklık değişimleri bu tip aşınmanın oluşmasına sebep olur. Termal çatlaklar kesici kenara dik olarak gerçekleşir ve bu aradaki takım malzemesi kesici kenardan koparak ayrılabilir. Bu da takımın kırılma ihtimalini arttırır ve kesici kenar bozulmasına sebep olur". Yüksek kesme hızında, büyük hacimde talaş

kaldırılması da bu aşınma tipinin oluşmasında rol oynar. Aşınmaya daha mukavim (termal şoklara dayanıklı) kesici uç kalitesi seçilmesi, pozitif açılı takım kullanılması, kesici ucun köşe uç yarıçapının arttırılması, kesme hızı, ilerleme değeri ve kesme derinliklerinin azaltılması, bol ve sürekli soğutma uygulanması veya hiç uygulanmaması ile aşınmanın önüne geçilebilmektedir [12].

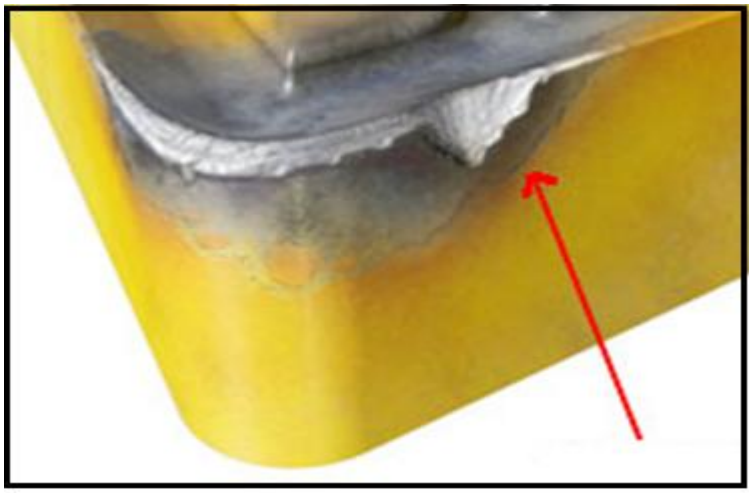


Şekil 3.21. Termal çatlak [33].

3.7.2.5. 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 biçimidir. Muhtemel sebebi kırılgan 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 sert 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 adlandırdığımız tabakadan toz talaş dediğimiz bir talaş kaldırılması ve alttaki temiz ve beklenen sertlikteki tabakaya ulaşılması

gerekir. Şekil 3.22'de kesici takımda talaş kaldırma sonrası meydana gelen çentik aşınması görülmektedir [34].



Şekil 3.22. Çentik aşınması [33].

3.7.2.6. Yığılma – Sıvanma (BUE)

İş parçası malzemesinin kesici takım üzerinde katmanlar şeklinde tedrici olarak birikmesi ile oluşan yığıntı talaşa (BUE) denir. Talaş kaldırma işlemi esnasında kesici takımın ucunda oluşabilir. Yığıntı talaş büyüdükçe kararsız hale gelir ve sonunda devam eden talaşlı imalat işlemi sonucu maruz kaldığı gerilmelere dayanamaz ve kırılarak kesici takımdan ayrılır. Çoğunlukla BUE'nin bir kısmı, kesici takıma temas eden talaş yüzeyi ile uzaklaştırılır kalan kısmı da iş parçası yüzeyinde kalır. BUE'yi azaltmak için önlem alınamadıkça BUE oluşumu ve kırılması işleme esnasında sürekli olarak tekrarlanır. Şekil 3.23'de kesici takımda talaş kaldırma sonrası meydana gelen yığılma görülmektedir [18].

BUE aşırı deformasyon şartlarında önemli derecede sertleşmiş ardışık iş parçası katmanlarından oluşur. Pratik talaşlı imalat işlemlerinde BUE çoğunlukla görülür. BUE işlenen yüzeyi kötü yönde etkileyen faktörlerden bir tanesidir. BUE kesici ucun geometrisini değiştirir. BUE, kaba bir bitirme yüzeyine neden olur. Deformasyon sertleşmesi ve katmanların sıra ile birikmesi sonucu oluşan BUE'nin sertliği iş parçası malzemesine göre önemli derecede yüksektir. BUE çoğunlukla

istenmemesine rağmen, kararlı ve ince bir BUE takımın talaş yüzeyini koruyarak aşınmayı azalttığı için çoğunlukla faydalı kabul edilir. Kesme hızı arttıkça BUE küçülür ve oluşumu yok edilebilir edilir. BUE oluşma eğilimi aşağıdakilerle de azaltılabilir:

- ✓ Talaş derinliği azaltılarak,
- ✓ Talaş açısı arttırılarak,
- ✓ Keskin bir takım kullanılarak,
- ✓ Etkin bir soğutma sıvısı kullanılarak [18].

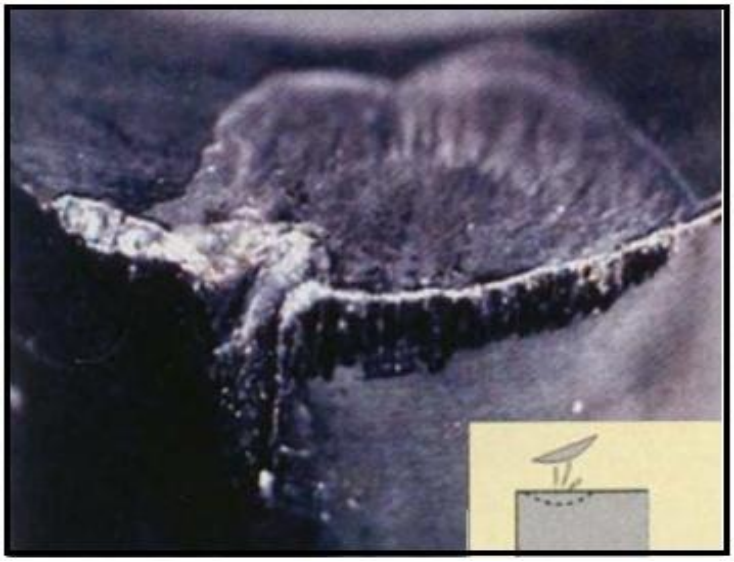
Genelde, iş parçası ve kesici takımın birleşme eğilimi yüksek olursa BUE oluşumu için eğilim de artar [18].

Şekil 3.23. BUE oluşumu [33].

3.7.2.7. Mekanik Yorulma Kırılmaları

Şekil 3.24'de kesici takımda talaş kaldırma sonrası meydana gelen mekanik yorulma kırılmaları görülmektedir. Mekanik yorulma kırılmaları kesme kuvvetlerindeki ani değişimler sonucunda ortaya çıkarlar. Mekanik yükün kendi başına çatlak oluşturacak büyüklükte olmamasına rağmen mekanik yükteki sürekli değişim çatlağa neden olur. Kesmenin başlangıcında ve kesme kuvvet inin büyüklüğü ve yönündeki

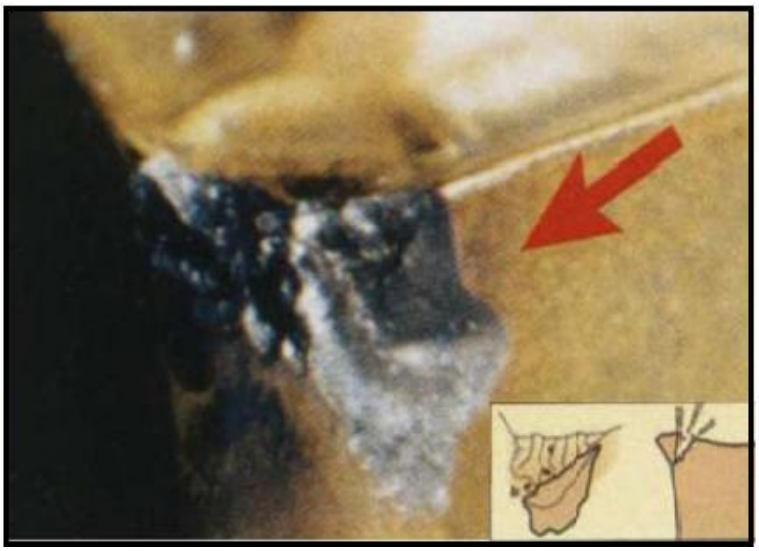
değişimler kesici ucun mukavemetinden ve tokluğundan fazla olduğunda bu tip aşınma gözlenir [12].



Şekil 3.24. Mekanik yorulmadan kaynaklanan kırılmalar [33].

3.7.2.8. Kırılma

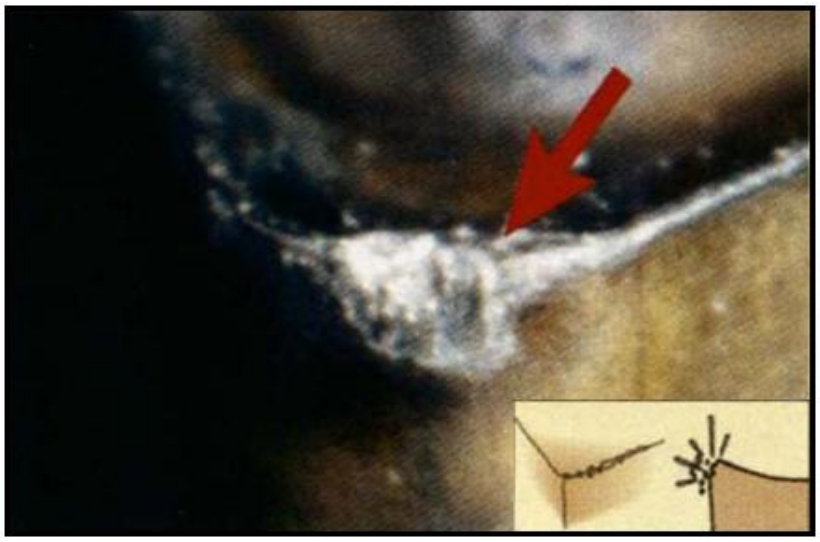
Kırılma, kesici kenarın görevinin tamamen sona ermesidir. Önceden oluşan şişkinliğin kırılması en tehlikelisi olup mümkün olduğunca bundan kaçınılmalıdır. Kenar kırılması genellikle diğer aşınma tiplerinin en son noktasıdır. Geometrinin değişmesi, kesici kenarın dayanımının zayıflaması, sıcaklık ve kuvvet yükselmeleri pek çok kesici kenar hatalarına zemin hazırlayacaktır. Ağır kesme Şartlarında (kesme parametrelerinin büyük olması) oluşan veya iş parçası malzemesinden kaynaklanan ani kırılmaların sebep olduğu gevrek kırılma, çalışma taleplerini (ihtiyaçlarını) karşılamaya muktedir olmayan bir takım malzemesi üzerindeki değişik gerilmelerin bir sonucu olabilir. Şekil 3.25'de kesici takımda talaş kaldırma sonrası meydana gelen kırılmalar görülmektedir [32].



Şekil 3.25. Kırılma [33].

3.7.2.9. Çıtlama (Tanecik Kopması)

Şekil 3.26'de kesici takımda talaş kaldırma sonrası meydana gelen tanecik kopması görülmektedir. "Kesici kenarda meydana gelen çentikler, aşınmadan ziyade kesici kenardaki küçük boyutlu kırılmalardır". Kesici kenardaki mekanik gerilmeler aşırı ise ve uç aşırı bir şekilde sıcaklık değişimlerine maruz kalıyorsa, ucun kesici kenarında küçük parçalar halinde kopmalar olacaktır. Önlemek için, daha sünek bir sert metal kalitesi seçilmesi, büyük uç yarıçapı kullanılması, kesme hızı ve ilerleme değerinin arttırılması, kesme derinliğinin arttırılması, daha rijit takım kullanılması, profil takım geometrisi seçilmesi gibi alternatifler denenmelidir [12].



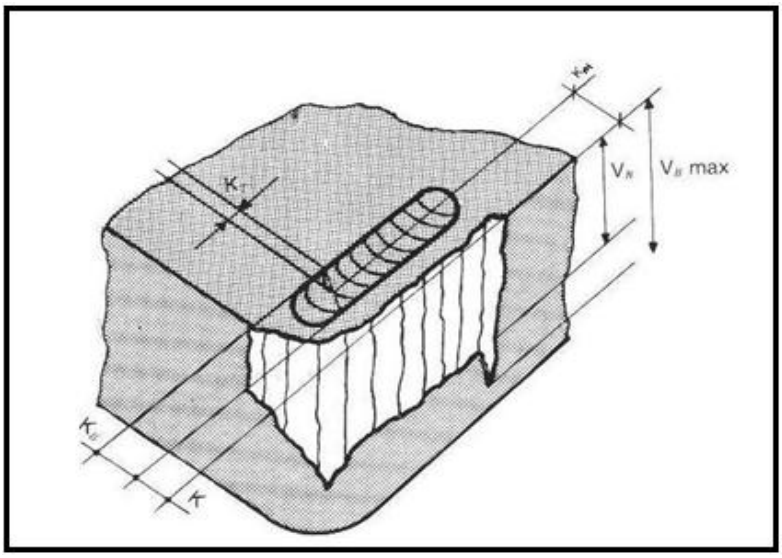
Şekil 3.26. Çıtlamanın oluşumu [33].

3.8. TAKIM AŞINMASININ KONTROLÜ

Bir takımın yararlı çalışma süresi, kesici ucun iş parçası üzerinde kaldığı toplam zamandır. 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 [32].

VB_{max} = Maksimum serbest yan yüzey aşınması,
VB = Serbest yan yüzey aşınması,
KT = Krater derinliği,
KB = Krater genişliği,
KM= Krater orta eksen mesafesi [32].

Takım aşınması, belli bir seviyeye ulaşmadan önce geçen işleme zamanına bağlı olarak geliştiğinde, muayene ve kontrol yöntemleriyle belirlenir. Uygun bir mikroskop veya büyüteç en yaygın kullanılan kontrol aletleridir. Yan yüzey aşınması asıl kesme kenarından ölçülür. Ölçüm yapmak için aşınan kısım üç bölgeye ayrılarak incelenir. Toplam uzunluk dört eşit parçaya bölünür ve 1/4'lük kısımlar iki başta ve 1/2'lik kısım ortada kalacak şekilde üçe ayrılarak analiz yapılır. Şekil 3.27'de takım aşınma ölçümünün yapılacağı bölgeler görülmektedir [35].



Şekil 3.27. Takım aşınmasının ölçülebileceği bölgeler [32].

3.9. TALAŞLI İMALAT İŞLEMİNDE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ

İşleme metodu, kesicinin cinsi ve işlenen malzemeye bağlı olarak, işleme sırasında fiziksel, kimyasal ve ısıl faktörlerle, kesen ve kesilen arasındaki mekanik hareketlerin de etkisiyle işlenmiş yüzeylerde, genellikle istenmediği halde tabi olarak bazı izler oluşur. Nominal yüzey çizgisinin altında ve üstünde düzensiz sapmalar meydana getiren bu duruma yüzey pürüzlülüğü denir [36].

Çeşitli metotlarla imal edilen bir iş parçası bu işlemler esnasında çeşitli mekanik, fiziksel, ısıl ve kimyasal etkilere maruz kalır ve dolayısıyla bu parçanın yüzeyinin özellikleri genellikle bu parçanın iç tarafının özelliklerinden önemli derecede farklılıklar gösterir. Bir parçanın mekanik özelliklerini genellikle parçanın iç tarafı (gövdesi) belirlemesine rağmen, imal edilen bir parçanın yüzeyi önemli bazı özellikleri ve nitelikleri doğrudan etkiler [18]:

- ✓ Daha sonraki işlemlerde takımlarla ve kalıplarla doğrudan temas ettiğinde veya kullanılacağı yerde sürtünme ve aşınma özelliklerini,
- ✓ İmalat işlemi esnasında ve aynı zamanda kullanılacağı yerde yağlayıcının etkinliğini,

- ✓ Parçanın görünümünü ve geometrik özelliklerini ve parçanın maruz kalacağı boyama, kaplama, kaynaklama, lehimleme ve birleştirme işlemlerini ve aynı zamanda korozyon direncini,
- ✓ Yorulma veya diğer kırılma mekanizmaları vasıtasıyla parçanın zayıflamasına ve daha kısa sürede kırılmasına neden olan yüzey kusurlarından (pürüzlülük, çizikler (oluklar), izler ve ısıdan etkilenmiş bölgeler gibi) dolayı kırılma başlangıcını tettikler,
- ✓ Temas eden yüzeylerin ısıl ve elektrik iletkenliğini etkiler. Örneğin, kaba yüzeyler ince yüzeylerden daha yüksek ısı ve elektrik direncine sahiptir [18].

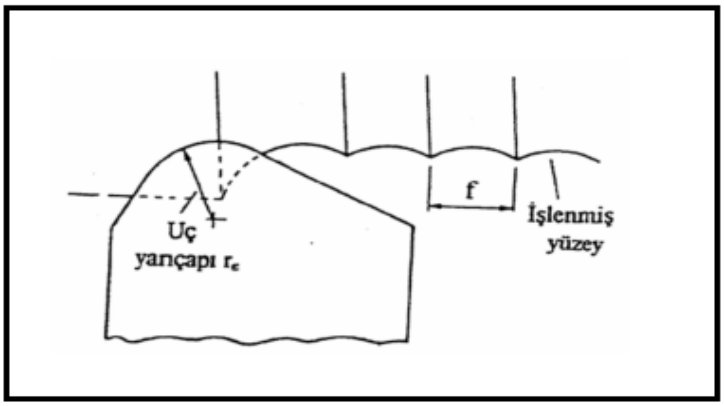
Sürtünme, aşınma ve yağlama yüzey özellikleri olup triboloji olarak isimlendirilir. Sürtünme, kuvvetleri, güç gereksinimini ve parçaların yüzey kalitesini etkiler [18].

Yüzey bütünlüğü yalnızca yüzeylerin geometrik özellikleri ile ilgili olmayıp aynı zamanda yüzeylerin mekanik ve metalurjik niteliklerini de tanımlar. İmalat işlemlerinde yüzey bütünlüğü dikkate alınması gereken önemli bir faktördür çünkü yüzey bütünlüğü imal edilen bir parçanın yorulma dayanımını, korozyon direncini ve çalışma ömrünü etkiler [18].

Parçanın imal edilmesinden veya imal edilme esnasında meydana gelen çeşitli kusurlar, kusurlu yüzey bütünlüğünün nedenidir. Bu kusurlar çoğunlukla orijinal iş parçasındaki kusurlardan, yüzeyin imal edilmesi metodundan ve aşırı derecede gerilme ve sıcaklığa neden olan işlem parametrelerinden kaynaklanır [18].

Yüzey bütünlüğü = Yüzey pürüzlülüğü + kalıcı gerilmeler + yüzey katmanındaki değişiklikler [18].

İşlenmiş yüzeylerde, işleme metodu ne olursa olsun (örnek: lepleme, taşlama, tornalama vb.) belli bir yüzey pürüzlülüğünün oluşması kaçınılmazdır [18]. Şekil 3.28'de yuvarlak uçlu bir takım ile oluşan yüzey pürüzlülüğünün şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.28. Yuvarlak uçlu bir takım ile oluşan yüzey pürüzlülüğü [37].

Çoğunlukla son görünüm, bazı partiküllerin sebep olduğu farklı düzensizliklerin bir araya gelmiş halidir. Ancak pürüzlülüğe sebep olan faktörlerin tek tek etkilerini ayırt etmek her zaman mümkün olmayabilir. Eşitlik 3.4'de ortalama yüzey pürüzlülük değerinin hesaplanması verilmiştir.

$R_a = 0{,}064 \times f^2 / 8r$ .....(3.4)

Eşitliğe göre;
R_a: Ortalama yüzey pürüzlülüğü,
f: İlerleme miktarı,
r: Kesici takım uç yarı çapı.

Aynı cins malzemenin farklı metotlarla aynı yüzey pürüzlülük değerinde işlendiği, bazen bunların korozyon, aşınma, sürtünme ve yorulma dirençlerinin farklı oldukları bilinmektedir. Çünkü yüzeyin pürüzlülüğünden, başka yüzeydeki işleme izlerinin yönleri ve dağılımları da performansı etkiler. Bu sebeple işlenecek parçaların bazılarında yüzey pürüzlülük değeri belirtildiği gibi işleme metodunun da belirtilmesi istenir [39].

İşlenen yüzeylerin kalitesi işleme performansı üzerinde önemli rol oynar. Kaliteli işlenmiş bir yüzey yorulma mukavemetini, korozyon direncini ve sürtünme ömrünü önemli derecede iyileştirir. Yüzey pürüzlülüğü ayrıca yüzey sürtünmesine sebep olan temas, aşınma, ışık yansıtma, ısı iletimi, yağ filminin, tutulması ve dağıtılması

kabiliyeti, kaplama veya direnç ömrü gibi parçaların çeşitli fonksiyonel özelliklerini de etkiler. Bu sebeple istenilen yüzey tamlığı genellikle belirlenir ve ihtiyaç duyulan kaliteye ulaşmak için uygun işlemler seçilir. Son yüzey pürüzlülüğü iki bağımsız faktörün toplamı olarak dikkate alınabilir [39].

1) İdeal yüzey pürüzlülüğü takım geometrisi ve ilerleme değerinin bir sonucudur.
2) Tabii yüzey pürüzlülüğü kesme operasyonundaki düzensizliklerin bir sonucudur [39].

3.9.1. Yüzey Kalitesini Etkileyen Ana Faktörler

Genellikle yüzey kalitesini etkileyen faktörler kısaca şöyle özetlenebilir:

a) İş parçasının özellikleri (İş parçası sünekliği veya sertliği): İş parçasının sünek olması direk olarak BUE oluşumuna bu durum ise kötü yüzey pürüzlülüğüne neden olur. İş parçasının sert olması ise yüzey pürüzlüğünün daha iyi fakat kesme kuvvetini ve takım aşınımını artırarak yüzeyde istenmeyen gerilimlere sebep olur.

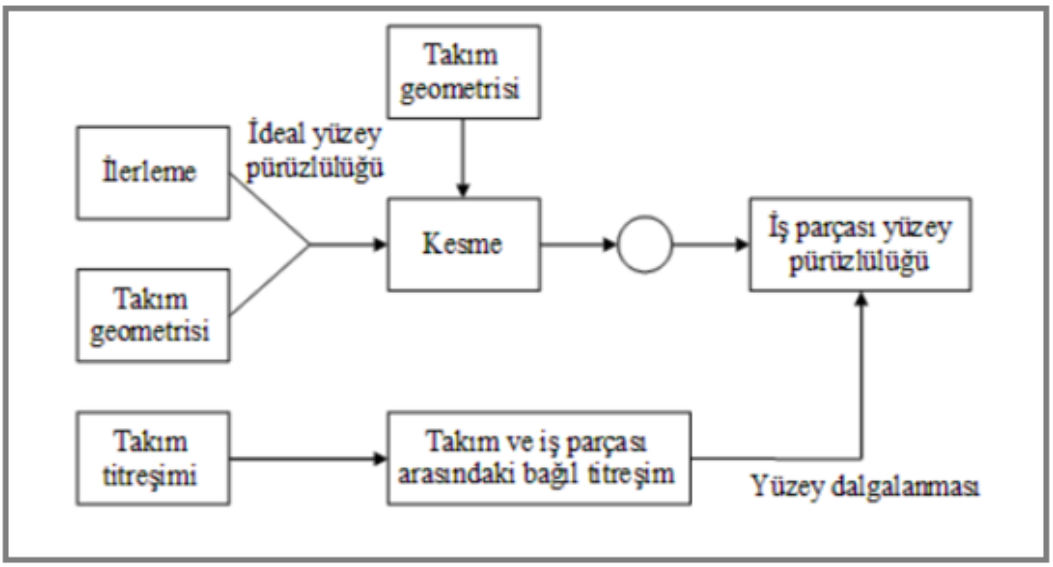
b) Kesici takımın geometrisi (Kesici takım uç yarıçapı, talaş açısı, uç açısı vb.): Uç yarıçapının artması daha iyi yüzey çıkmasına, uç yarıçapının azalması ise takımın kısa sürede aşınması bu ise yüzey pürüzlülüğünün kötü çıkmasına neden olacaktır. İş parçası özelliklerine bağlı olarak diğer geometrik özellikleri değişir.

c) İşleme parametreleri (ilerleme hızı, kesme hızı): İlerleme hızı arttıkça yüzey daha pürüzlü çıkar ilerleme değeri ile doğru orantılıdır. Kesme hızı sünek malzemelerde yüksek olması BUE oluşumunu azaltarak yüzey pürüzlülüğünün daha iyi olmasını sağlar.

d) Soğutma sıvısının kullanılması: Talaşın kesme bölgesinden daha hızlı atılması ve BUE oluşumunu azaltmak, kesme esnasında oluşan ısının azaltılmasında etkilidir.

e) Tezgahın rijitliği (Titreşim, tezgah kapasitesi,): Titreşimin oluşması ile tırlama yüzeyi olumsuz etkiler.

İş parçasının bitmiş yüzey pürüzlülüğünü etkileyen bu faktörler; ilerleme değeri, takım geometrisi ve takım-iş parçası arasında kendiliğinden meydana gelen titreşim olmak üzere üç kısma ayrılmıştır. Şekil 3.29'da yüzey pürüzlülüğüne etki eden faktörler ele alınmıştır.

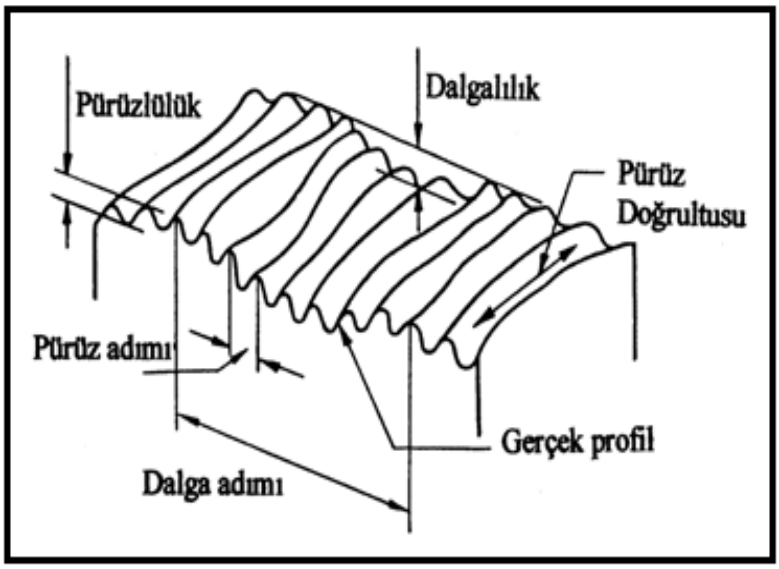


Şekil 3.29. Yüzey pürüzlülüğüne etki eden faktörler [2].

3.9.2. Yüzey Yapısının Özellikleri

İmalat teknolojilerindeki gelişmelere paralel olarak sadece boyutsal tamlığın ölçülmesi yeterli olmayıp, birbiri ile ilişkili, hatta ilişkili olmayan yüzeylerin pürüzlülüklerinin ve durumlarının da ölçülmesine ihtiyaç duyulmuştur. Bir yüzey yapısının kontrolünde üç önemli faktör sırasıyla; yorulma ömrü, yataklık etme özelliği ve aşınmadır. İşlenen yüzeylerde dalgalılık ve pürüzlülük olmak üzere iki tip yüzey sapması meydana gelir. Dalgalılık yüzeyin geometrik şeklini karakterize ederken, pürüzlülük yüzey kalitesini tayin eder. Yüzey pürüzlülüğü standartlara göre yüzeye dik olan bir kesitte, belirli bir numune uzunluğu boyunca, belirli bir referans profiline ve profil ortalama çizgisine göre tayin edilir. Referans profil olarak

genellikle geometrik profil alınır. Profil ortalama çizgisinin yeri, bu çizginin üstünde ve altında kalan alanların toplamı birbirine eşit olacak şekilde belirlenir. Düz bir yüzey denildiğinde dalgasız, pürüzsüz denildiğinde dalgalı, fakat gözle bakıldığında veya tırnakla kontrol edildiğinde, pürüzlülükleri fark edilemeyen yüzeyler anlatılmak istenir. Doğrultu, yüzey pürüzlerinin referans alınan bir alın yüzeyine göre durumunu belirler. Yüzey geometrileri, işleme metoduna bağlı olarak değişir. Şekil 3.30'da işlenmiş bir yüzey geometrisi görülmektedir [36].



Şekil 3.30. İşlenmiş bir yüzeyin yüzey karakteri [2].

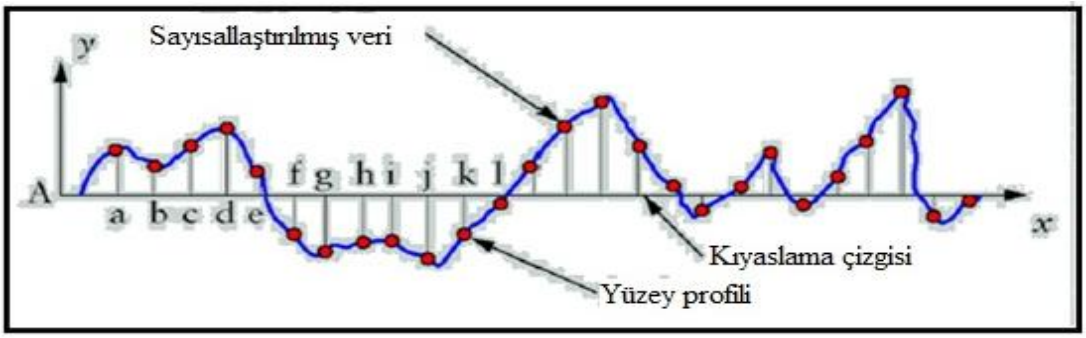
3.9.3. Yüzey Pürüzlülüğü Belirleme Metodu

Yüzey pürüzlülüğü genel olarak iki metotla belirlenir: aritmetik ortalama değer (R_a) ve kareköklerin ortalaması (R_q). Daha önceleri merkez çizgi ortalaması (CLA) olarak da tanımlanan aritmetik ortalama şekil 3.31'de şematik olarak gösterilen bir yüzeyin pürüzlülüğünün ölçülmesi esasına dayanır. Aritmetik ortalama değer (R_a) hesaplanması eşitlik 3.5'de verildiği gibi belirlenir [18]:

$$R_a = \frac{a+b+c+d+...}{n} \quad (3.5)$$

buradaki bütün ordinatlar (a,b,c,…) mutlak değerlerdir.

.



Şekil 3.31. Yüzey pürüzlülük ölçümü için kullanılan koordinatlar [19].

Kareköklerin ortalaması ile belirlenen yüzey pürüzlülük değeri (R_q) ise aşağıdaki eşitlikle belirlenir:

$$R_q = \sqrt{\frac{a^2 + b^2 + c^2 + d^2 + ...}{n}} \quad (3.6)$$

Şekil 3.31'deki Ax çizgisi, bu çizginin altında kalan alanların toplamı üzerinde kalan alanların toplamına eşit olacak şekilde konumlandırılır. Yüzey pürüzlülüğü için kullanılan birim genelde µm'dir [18].

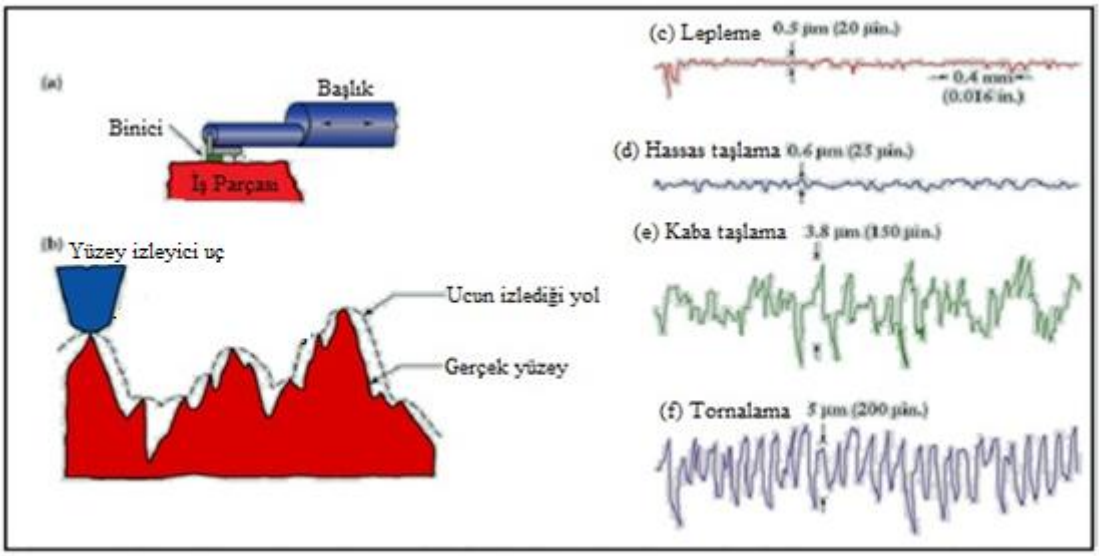
Ayrıca bazı durumlarda en yüksek yüzey pürüzlülük değeri de (R_t) bir pürüzlülük kriteri olarak kullanılabilir. Bu değer, bir yüzeyin en dip noktasından en yüksek noktasına olan mesafe olarak tanımlanır. Bu değer aynı zamanda parlatma veya diğer metotlarla düzgün bir yüzey elde etmek için kaldırılması gerekli malzeme miktarını da gösterir. Günümüzde yüzey pürüzlülüğü ölçümünde çoğunlukla R_a değeri kullanılır [18].

Genel olarak, bir yüzey yalnızca R_a değerleriyle yeterince tanımlanamaz. Çünkü, bu değerler ortalama değerlerdir. İki yüzey aynı yüzey pürüzlülük değerine sahip olabilir ancak gerçek topografyaları oldukça farklı olabilir. Örneğin, birkaç tane derin girintinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi önemsiz olabilir. Ancak, üretilmiş bir parçanın yüzey profilindeki farklılıklar yorulma, sürtünme ve aşınma özellikleri bakımından önemli olabilir [18].

3.9.4. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçme Teknikleri

3.9.4.1. İzleyici Uçlu Cihazlar

Yüzey pürüzlülüğünü ölçmek ve kaydetmek için "yüzey profilometresi" olarak isimlendirilen çeşitli ticari cihazlar kullanılır. En yaygın olarak kullanılan cihaz, yüzey üzerinde doğru bir hat boyunca bir yol takip eden elmas izleyici uç ile yapılan yöntemdir [18]. Şekil 3.32'de izleyici uçlu cihazların çalışma şekli ve örnekleri verilmiştir.



Şekil 3.32. İzleyici uçlu cihazların çalışma şekli ve örnekler [18].

Şekil 3.32'de izleyici uçlu cihazların çalışma prensibi ve örneklerin açıklamaları:

a) İzleyici bir uçla yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesi,
b) Bir yüzey üzerinde izleyici ucun takip ettiği yol, tipik olarak,
c) Lepleme ile elde edilen yüzey,
d) İnce taşlama ile elde edilen yüzeyin görüntüsü,
e) Kaba taşlama ile elde edilen yüzeyin görüntüsü,
f) Tornalama ile elde edilen yüzeyin görüntüsü [18].

İzleyici uçlu cihazların çalışması: Yüzey pürüzlülüğünü belirgin hale getirmek için profilometre izleri düşey düzlemde büyütülerek kaydedilir. Düşey düzlemdeki girintiler ve çıkıntılar yatay düzlemdekilerden birkaç kat daha büyük olarak gösterilir. Bu nedenle kaydedilen profil gerçek yüzeye göre önemli derecede abartılmış olur [18]. Örneğin (şekil 3.32'de) c ve d'de görüldüğü gibi.

3.9.4.2. Optik Metot

Bir yüzey üzerine yansıtılan ışının geliş açısı ile yansıma açısı aynı olacaktır. Pürüzlü yüzeylerde ışının dağılımı optik sensörler ile ölçülerek yüzey pürüzlülüğü ölçülmektedir [23].

3.9.4.3. Temas Metodu

Yüzey üzerinde dolaştırılan bir probun sürtünme katsayısı bilinen bir yüzeye göre elde edilen neticelerinin karşılaştırılması esasına dayanır [23].

3.9.4.4. Mekanik Metot

Çelik bilye kullanılarak en düşük 500 gr ağırlığın yüzeyde; yüzeyin içine doğru 1 mikronluk yer değiştirmesi ile yapılan yüzey pürüzlülüğü ölçme tekniğidir [23].

3.9.4.5. Hidrolik Metot

Belli eğim ve uzunluktaki bir düzlemde ve belli hacimde yağ damlasının akış süresi ile pürüzlülük değeri arasında kurulan bir ilişki ile pürüzlülük değeri ölçülmesi esasına dayanır [23].

3.9.4.6. Yüzey Dinamometresi Metodu

İki yüzey arasındaki sürtünme katsayısı, parçaların pürüzlülük değerine bağlıdır. İki parça birbiri üzerinde kaydırılarak ve uygulanan kuvvet dinamometre ile ölçülerek pürüzlülük hakkında bilgi edinilebilir [23].

3.9.4.7. X ışını Metodu

Mikroskop altında yüzey düzensizliklerinde küçük açılarla gönderilen X ışınları ile 0,00254-0,0508 µm arasındaki pürüzlük değerleri ölçülebilir [23].

3.9.4.8. Elektron Mikroskobu Metodu

Elektron mikroskobu en küçük düzensizlikleri ölçme gücüne sahip olmasına rağmen ölçme boyutunun küçük tutulması zorunluluğu ve görüntünün kopyalanması gibi sorunlar bu metodu sınırlamaktadır [23].

3.9.4.9. Replika Metodu

Parça üzerindeki konumu nedeniyle ölçüm yapılacak yüzeye erişilemediği durumlarda yüzeye selüloz-asetat filmi, asetonla yumuşatılarak sertleşene kadar temizlenmiş yüzeye bastırılırsa elde edilen maske yüzey karakteri hakkında %80 oranın da bilgi verir [23].

3.9.4.10. Elektro Fiber Optik Metot

Yüzey pürüzlüğü ölçülecek malzeme X,Y yönünde hareket edebilen tablaya bağlanarak yatay konuma getirilir. Fiber optik algılayıcı ile parça yüzeyine dik olarak ışın gönderilir. Parça yüzeyinin pürüzlülüğüne göre dağılan ışınlar fiber optik algılayıcılara bağlanmış foto algılayıcılarla yorumlanarak pürüzlülük değeri bulunur [23].

BÖLÜM 4

GİRİŞ

4.1. ÇELİKLER

Çelik, bir Demir (Fe)-Karbon (C) alaşımıdır. Çelik içerisinde C'dan başka farklı oranlarda alaşım elementleri ve empürite elementler bulunmaktadır. Çeliğe farklı özellikler kazandıran içerdiği elementlerin kimyasal bileşimi ve çeliğin içyapısıdır.

Çelik içerisinde karbon miktarı, çeliğin özelliklerinde önemli bir değişikliğe neden olmaktadır. Karbon miktarındaki çok küçük değişmeler bile çeliğin farklı özelliklerde olması için yeterlidir. Çelik alaşımını sadece demir ve karbon ağırlıklı düşündüğümüzde bile, çeşitliliği oldukça fazla bir alaşımla karşılaşırız, oysa endüstrinin ihtiyaçlarına cevap verebilecek şekilde çelik üretimi, alaşım içerisinde başka element ve elementlerin ilavesini gerekli kılar. Bu yönüyle de alaşıma ilave edilen her katkı maddesi çeliğin özelliğinin değişmesine neden olur [3].

Çeliğin yapısındaki karbonun görevi alaşımı sertleştirmek ve demir atomlarının kaymasını engellemektir. Alaşımdaki karbon miktarı ile oynanarak çeliğin sertliği, esnekliği, sünekliği ve gerilme miktarı değiştirilebilir. Alaşımdaki karbon miktarının artması çeliğin sertliği ve kırılganlığını artırmakta, kaynaklanabilirliği ve sünekliği gibi diğer özelliklerini ise azaltmaktadır [3].

Demir-karbon alaşımının çelik olarak kabul edilebilmesi için içerisinde ağırlıkça %0,1 ile %2 arasında karbona sahip olması gerekmektedir. Günümüzde "demir ve çelik" endüstrisi tek isim altında kullanılsa da, geçmişte bu iki sektör birbirinden ayrı ayrı isimler altında toplanmaktadır. Metalurjinin bilim dalı olarak yaygınlaşması ile birlikte çeliğin kompozisyonunun değiştirilerek ya da ısıl işlem ile özellikleri farklılaştırılarak özellikle yüksek kopma mukavemeti ile

teleferik, inşaat, otomotiv, tıp ve birçok diğer alanda insanlığa hizmet verir hale getirilişi hızlandırılmıştır [3].

4.2. KİMYASAL BİLEŞENLERİNE GÖRE ÇELİKLER

Çeliklerin kimyasal bileşenlerine göre sınıflandırılmasında, malzemenin karbon, fosfor, kükürt veya silisyum oranları dikkate alınır. Çelik, iç yapısında, alüminyum, kurşun, bakır gibi başka elementlerde bulunuyorsa, sınıflandırmada bunlarda belirtilir. Kimyasal bileşenlerine göre sınıflandırma, çelik sınıflandırmaları içinde detaylı olarak ele alınır. Bunun nedeni olarak, çelik alaşımını oluşturan her bir elementin, çeliğe farklı bir özellik vermesi gösterilir [2]. Kimyasal bileşenlerine göre çelikler sade karbonlu çelikler ve alaşımlı çelikler olarak ikiye ayrılır.

4.2.1. Sade Karbonlu Çelikler

Çeliklerdeki en ucuz ve etkili alaşım maddesi karbondur. Karbon oranındaki her değişim, çeliğin özelliklerinin de değişeceği anlamına gelir. Sade karbonlu çelikler ötektoid oranları göz önüne alınarak iki ayrı grupta incelenir. İçerisinde %0.8'den az karbon içeren alaşımlara ötektoid altı çelik, %0,8'den fazla karbon içeren alaşımlara ise ötektoid üstü çelikler denir [3].

4.2.2. Alaşımlı Çelikler

Demir-karbon alaşımlarında karbon oranı arttıkça sertlik ve mukavemet artar, ancak tokluk ve süneklik azalır, çarpma mukavemeti düşer. Çeliklerde sünekliği koruyarak mukavemeti arttırmak için değişik türde alaşım elemanları katılır. Alaşım elemanları mukavemet ve tokluğu arttırmadan başka sertleşme yeteneği, korozyon ve yüksek sıcaklığa dayanıklılık gibi diğer önemli özellikleri sağlayabilirler. Bu amaçla çeliğe değişik oranda Mn, Si, Cr, Ni, Mo, W ve Ti gibi elemanlar katılır. Böylece endüstride ikibinden fazla tür alaşımlı çelik geliştirilmiştir.

Alaşım elemanları çoğunlukla katı eriyik oluşturmakla beraber bazıları kısmen katı eriyik, kısmen karbür, bazılarında ise kısmen karbür halinde bulunur. Örneğin Ni ve Mn yalnız katı eriyik, Cr kısmen katı eriyik, kısmen karbür, Ti ise karbür halindedir. Özellikle katı eriyik oluşturanlar mekanik özellikleri önemli ölçüde etkiler ve ısıl işlemde etkin rol oynarlar. Karbür oluşturan elemanlar sertliği ve aşınma mukavemetini arttırırlar, ısıl işlemlerde nötrdürler, özellikle yüksek sıcaklığa dayanıklı olurlar [3].

Alaşımlı çelikler alaşım elemanlarının oranına göre az alaşımlı ve yüksek alaşımlı olmak üzere iki sınıfa ayrılırlar. %5'den az alaşım elemanı içeren çeliklere az alaşımlı çelikler denir. Genellikle yüksek mukavemetli yapı elemanları ve makine parçaları üretiminde kullanılırlar. Bütün çeliklerde su verme işleminde martenzit fazının oluşmasını sağlayan esas eleman karbondur. Dolayısıyla yeterli miktarda karbon bulunan alaşımlı çelikler su verme ile sertleştirilebilirler. Çelik yapısında %5'den fazla alaşım elemanı içeriyorsa yüksek alaşımlı çelik denir. Bu çelikler çoğunlukla özel amaçlar için kullanılır.

4.3. KULLANIM ALANLARINA GÖRE ÇELİKLER

İnşaat çelikleri dışındaki çelikleri çoğaltmak mümkündür. Çelik hangi alan için üretilmiş ve kullanılmaktaysa, o alanın adını alır ve sınıflandırılır. Örneğin; cıvata ve somun çeliği, yay çeliği gibi. Alaşımsız çeliklerin karbon oranına göre sınıflandırılması aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- ✓ Genel yapım çelikleri,
- ✓ Makine yapım çelikleri,
- ✓ Sementasyon çelikleri,
- ✓ Nitrasyon çelikleri,
- ✓ Otomat çelikleri,
- ✓ Yüksek sıcaklığa dayanıklı çelikler,
- ✓ Paslanmaz çelikler,
- ✓ Rulman çelikleri,
- ✓ Takım çelikleri [42].

4.3.1. Otomat Çelikleri

Otomat çelikleri yüksek oranda Kükürt (S) ve Mangan (Mn) içeren alaşımsız çeliklerdir. Mangan ve Kükürt'ün oluşturduğu Mangan-Sülfür (MnS) sayesinde küçük ve kırılgan talaş oluşumu nedeni ile seri üretime yönelik çalışan hızlı takım tezgâhlarında (tek veya çok milli) işlenirler. Bu çeliklere %0.15-0.35 oranında ilave edilen kurşun (Pb) sayesinde kesme hızları arttırılmaktadır. Bazen kurşun (Pb) yerine Tellür (Te), Bizmut (Bi) ve Selenyum (Se) da aynı amaçla kullanılmaktadır. Diğer çeliklere oranla daha yüksek Fosfor (P) içermeleri talaş kırılganlığı ve kesme yüzeyi kalitesini iyileştirir [3].

Karbon oranı az alaşımlı çeliklerde olduğu gibi yazılır. Çelikte S, Mn, Pb ve P elementlerinden hangileri varsa bu sırayla gösterilir ve yalnız kükürdün ortalama yüzde oranı yüz ile çarpılarak belirtilir. Örneğin; bileşiminde %0,45 C, %0,20 S ve % 0,15 Pb bulunan otomat çeliği 45SPb20, bileşiminde %0,09 C, %0,15-0,30 S, %0,90-1,30 Mn ve %0,15-0,30 Pb bulunan otomat çeliği ise 9SMnPb23 şeklinde gösterilir [39].

Otomat çelikleri uygulanan ısıl işlemlere göre,

1- Isıl işlem uygulanmayanlar (yumuşak otomat çelikleri),
2- Isıl işlem uygulananlar,
   - ✓ Islah işlemi uygulananlar,
   - ✓ Sementasyon işlemi uygulananlar, olmak üzere iki ana gruba ayrılırlar.

4.3.1.1. Otomat Çeliklerine Uygulanan İşlemler

Talaş kaldırma gereği duyulmayan yüzeylerin hassas ölçü toleranslarında olması gerektiğinden, otomat çelikleri daha ziyade soğuk çekilmiş olarak kullanılır. Bu arada, yaklaşık %0.120 kükürt ve düşük karbon ihtiva eden ve yarı otomat çeliği olarak adlandırılan çelikleri iyi bir işlenebilirlik özelliğinin yanı sıra, sıcak ve soğuk dövme ve zımbalama parçalarının imalatında kullanılmaktadır, örneğin somunlar.

Yüksek kükürt ihtiva eden 9SMn28 kalitesi, sıcak dövme uygulamasında başarıyla kullanılmaktadır [3].

4.3.1.2. Otomat Çeliklerinin Kullanım Alanları

- ✓ Süratli ve seri üretim yapabilen torna ve otomat tezgahlarında,
- ✓ Otomotiv sanayi için değişik tür bağlantı elemanları,
- ✓ Makine ve teçhizat üreten endüstri kollarında ve inşaat sektöründe,
- ✓ Konstrüksiyon elemanları üretiminde,
- ✓ Hassas mekanik parçalar üreten endüstri kollarında (optik cihaz ve ölçü cihazları parçaları) kullanılmaktadır [40].

Bilindiği gibi, değişik çelik türlerinin talaşlı imalatında oluşan talaşlar tipik özellikler taşırlar. Örneğin, alaşımsız yumuşak çelikler, seri üretim yapan torna tezgahlarında işlemeye uygun olmayan talaş türlerinin oluşumuna neden olurlar [40]. Kısa kırılgan talaş elde etmek amacıyla, çelik yapısındaki kalıntıların homojen bir şekilde dağılmasını sağlamak ve çeliğin yapısını gevrekleştirmekle mümkün olur.

BÖLÜM 5

MATERYAL VE METOD

5.1. DENEY MALZEMESİ

Bu çalışmada 11SMnPb30 çeliğinin karbür ve sermet kesici takımlarla işlenmesinin incelenmesi ve işlemede en iyi kesme parametrelerinin belirlenmesi amacıyla bir dizi deney gerçekleştirilmiştir.

Deney malzemesi olarak 11SMnPb30 çeliği kullanılmıştır. Ø16 mm × 3000 mm boyutlarında Schmolz+Bickenbach çelik A.Ş. firmasından temin edilmiştir. Çizelge 5.1'de bu malzemenin içerisindeki elementlerin ağırlıkça oranları ve çizelge 5.2'de bu malzemenin mekanik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 5.1. Deneylerde kullanılan 11SMnPb30 çeliğinin kimyasal bileşimi.

Element	Kalite	C	Si	Mn	P	S	Pb	Fe
%(Ağırlık)	11SMnPb30	0,073	0,009	1,120	0,067	0,324	0,276	Diğer

Çizelge 5.2. Deneylerde kullanılan 11SMnPb30 çeliğinin mekanik özellikleri.

Malzeme	Akma Dayanımı (N/mm^2)	Çekme Dayanımı (N/mm^2)	%Uzama	Sertlik (HB)
Otomat Çeliği	478	492	10,2	172

5.2. KESİCİ TAKIMLAR VE TAKIM TUTUCULAR

5.2.1. Kesici Takımlar

11SMnPb30 çeliğini işlemek için dört farklı üreticiden temin edilen karbür ve sermet kesici takımlar kullanılmıştır. Çizelge 5.3 ve çizelge 5.4'te alın tornalama deneylerinde kullanılan kesici takımların üretici firması, geometrileri ve kaliteleri gösterilmektedir.

Çizelge 5.3. Takım aşınma deneylerinde kullanılan takımların bilgileri.

Takımların Markası	Geometrisi	Kalite	Uç Açısı
Sermet (Ceratizit)	DCGT 11T304EN-SF TCC410	P10-K05	55°
Karbür (Iscar)	DCMT 11T304 PF-IC907	P10-P30 M05-M20 K15-K30	
Karbür (ZCC-CT)	DCMT 11T302 HF YBC251	P10-P30	
Karbür (Korloy)	DCMT 11T302-HMP NC3220	P10-P25	

Çizelge 5.4. Yüzey pürüzlülük değerlerinin elde edilmesinde, kullanılan kesici takımların bilgileri.

Takımların Markası	Geometrisi	Kalite	Uç Açısı
Sermet (Ceratizit)	DCGT 11T304EN-SF TCC410	P10-K05	55°
	DCGT 11T302EN-SF TCC410		
Karbür (Iscar)	DCMT 11T302 PF-IC807	P10-P30 M05-M20 K10-K30	
Karbür (Tagutec)	DCMT 11T302 FA TT5100	P20-P35	
Karbür (Korloy)	DCMT 11T302-HMP NC3220	P10-P25	

5.2.2. Takım Tutucu

Alın tornalama deneylerinde kullanılan takımlar, SDJCL 2020 K11 kodlu takım tutucuyla birlikte rijit bir şekilde CNC torna tezgahına bağlanmıştır.

5.3. KULLANILAN TAKIM TEZGAHLARI VE CİHAZLAR

5.3.1. Kullanılan Takım Tezgahları

Alın tornalama işlemleri için özellikleri çizelge 5.5'de özellikleri verilen DMC DL 6G CNC torna tezgahı kullanılmıştır.

Çizelge 5.5. DMC DL 6G CNC torna tezgahının özellikleri.

Ayna kapasitesi	6"
Fener mili motor gücü	15 kW (20 Hp)
X – Z eksen motorlarının gücü	2 kW
Maksimum eksenlerde ilerleme değeri	36 m/dk
Kontrol ünitesi serisi	Fanuc 0iM-TD
Maksimum iş mili devir sayısı	6000 dev/dk
Maksimum tornalama Çapı :	Ø170 mm
Maksimum tornalama boyu :	240 mm
Kızak yapısı	Lineer - 60º Eğik banko
Toplam elektrik gücü	21 kVa

5.3.2. Kullanılan Cihazlar

5.3.2.1. Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Cihazı

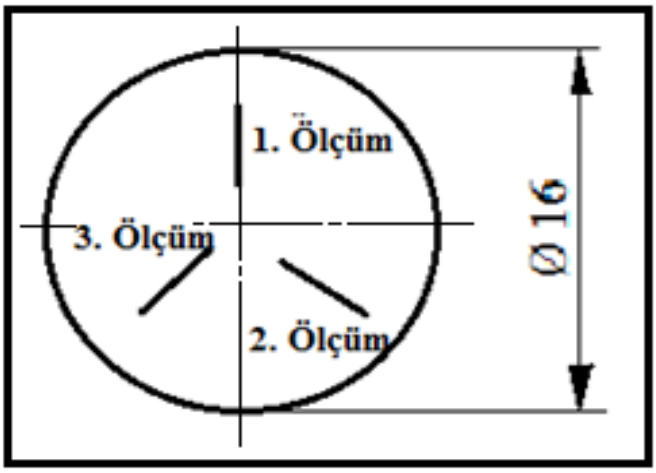
Deney malzemelerine uygulanan tornalama işlemi sonucunda elde edilen işlenmiş yüzeylerdeki pürüzlülük ölçümleri Mahr Marsurf PS1 tipi cihazı yardımıyla yapılmıştır. İş parçası üzerinde işleme sırasında oluşan yüzey pürüzlülük değerlerinin

ölçümleri için kesme uzunluğu 0,8 mm ve örnekleme uzunluğu 5,6 mm olarak seçilmiştir. Cihazın teknik özellikleri çizelge 5.6'da verilmiştir.

Çizelge 5.6. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazının teknik özellikleri.

Marka	Mahr
Model	Marsurf PS1
Tarama boyu (mm)	1,75 - 5,6 - 17,5 (ISO)
Kesme Boyu (mm)	0,25 - 0,8 - 2,5 (otomatik seçim)
Baskı kuvveti (mN)	0,7
İğne uç yarı çapı (µm)	2
Bağlantı	USB ve RS232 çıkışı
Yaklaşık ağırlık (gr)	400
Boyutlar (mm)	140x50x70
Kalibrasyon	Dinamik kalibrasyon
Bellek	15 profil; 20.000 ölçüm

Ölçümler iş parçası eksenine dik olacak şekilde ve işleme alanında üç farklı bölgede ölçüm yapılmıştır. Ölçümler sonucu bulunan değerlerin aritmetik ortalaması alınarak ortalama yüzey pürüzlülük (R_a) değerleri hesaplanmıştır. Şekil 5.1'de alın tornalanmış yüzeyden ölçüm yapılan bölgeler gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Alın tornalanmış yüzeyden alınan ölçüm bölgeleri.

5.3.2.2. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

Deneylerde aşınma deneylerinde kullanılan takımların Karabük Üniversitesinde Demir Çelik Enstitüsünde ZEISS ULTRAPLUS taramalı elektron mikroskobunda incelenmiştir.

5.3.2.3. Deney Değişkenleri

CNC tornada yapılan deneyler, farklı ilerleme değerlerinde, tek kesme derinliğinde ve kuru kesme şartlarında yapılmıştır. Bu çalışmada yapılan deneylerde 16 mm çapında 11SMnPb30 çeliği kullanılmıştır. Tornalama işlemi olarak, alın tornalama metodu kullanılmıştır. Alın tornalamada devir sayısının hesaplanmasında teorik olarak çapın yarısı alınarak hesaplanır bu çalışmada ise tezgahın iş mili devir kapasitesinin uygun olmaması nedeniyle deneylerde kullanılan iş mili devir sayılarının hesapları, Ø16'ya göre hesaplanmış ve devir sayıları sabit tutularak tüm deneyler tamamlanmıştır. Bu çalışmada deneylerde kullanılan deney değişkenleri çizelge 5.7'de verilmiştir.

Çizelge 5.7. Tüm deneylerin kesme parametreleri.

<table>
<tr><th>Kesici Takım</th><th>Kesici Takım Uç Yarıçapı (mm)</th><th>İlerleme Miktarı (mm/dev)</th><th>İş Mili Devir Sayısı (dev/dk)</th><th>Kesme Derinliği (mm)</th></tr>
<tr><td rowspan="2">Karbür (Iscar)</td><td>0,4</td><td>0,08</td><td rowspan="5">3000</td><td rowspan="10">0,5</td></tr>
<tr><td>0,2</td><td>0,08-0,1-0,15</td></tr>
<tr><td>Karbür (Tagutec)</td><td>0,2</td><td>0,08-0,1-0,15</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Karbür (Korloy)</td><td>0,4</td><td>0,08</td></tr>
<tr><td>0,2</td><td>0,08-0,1-0,15</td></tr>
<tr><td>Karbür (ZCC-CT)</td><td></td><td>0,08</td></tr>
<tr><td rowspan="5">Sermet (Ceratizit)</td><td rowspan="4">0,4</td><td>0,08</td><td>2500</td></tr>
<tr><td>0,08
0,12-0,16</td><td>3000</td></tr>
<tr><td>0,08</td><td>3500</td></tr>
<tr><td>0,08</td><td>4000</td></tr>
<tr><td>0,2</td><td>0,08-0,1-0,12-0,15-0,16</td><td>3000</td></tr>
</table>

BÖLÜM 6

DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

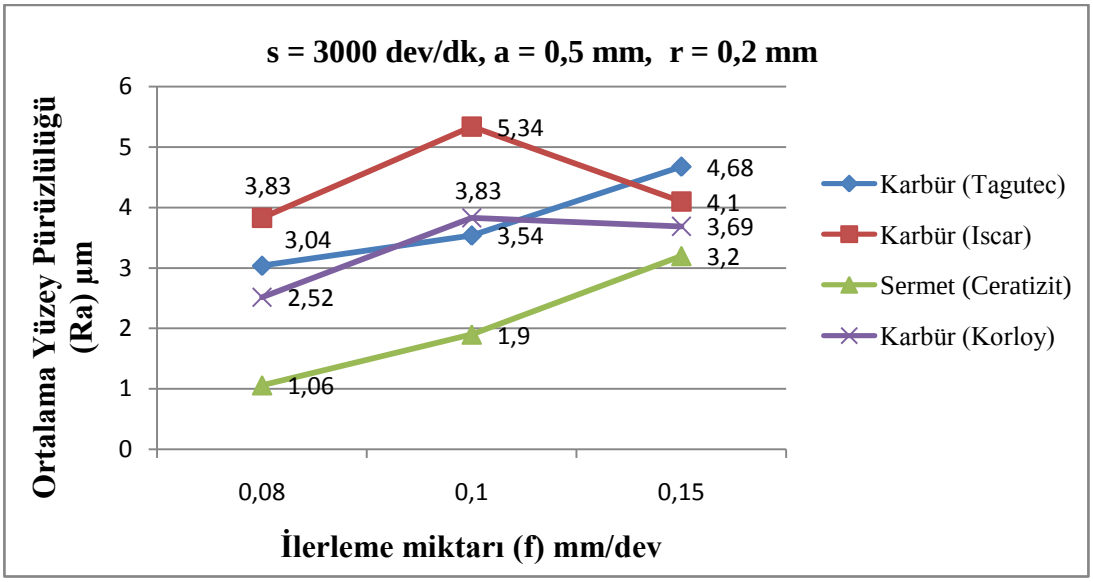
Yapılan bu çalışmada 11SMnPb30 çeliğinin karbür ve sermet kesici takımlarla işlenmesinin incelenmesi ve işlemede en iyi kesme parametrelerinin belirlenmesi amacıyla bir dizi deney gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneylerde elde edilen takım aşınma görüntüleri, yüzey pürüzlülük değerleri çizelge ve grafik halinde verilmiştir.

Şekil 6.1'de dört ayrı kesici takımla sabit devir sayısında ve farklı ilerleme değerlerinde elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri verilmektedir. Şekil 6.1'den en düşük yüzey pürüzlülük değerlerinin bütün ilerleme değerlerinde sermet kesici takımla elde edildiği görülmektedir. Bu durum ise kesme esnasında sermet takımlarda iş parçasının takıma yapışma (BUE) eğilimlerinin karbür kesici takımlara nazaran çok daha az olması ile bire bir ilişkili olduğu düşünülmektedir. Çizelge 6.1'de alın tornalama yöntemi ile elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri verilmiştir. Özellikle 0,08 ve 0,1 mm/dev ilerleme değerlerinde çok karbür takımlarla elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri ile sermet takımla elde edilen pürüzlülük değerleri arasında çok ciddi farklar görülmektedir. Bu durum da sermet kesici takımların karbür takımlara göre önemli derecedeki üstünlüğünü göstermektedir.

Çizelge 6.1. Karbür ve sermet kesici takımlarla elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri.

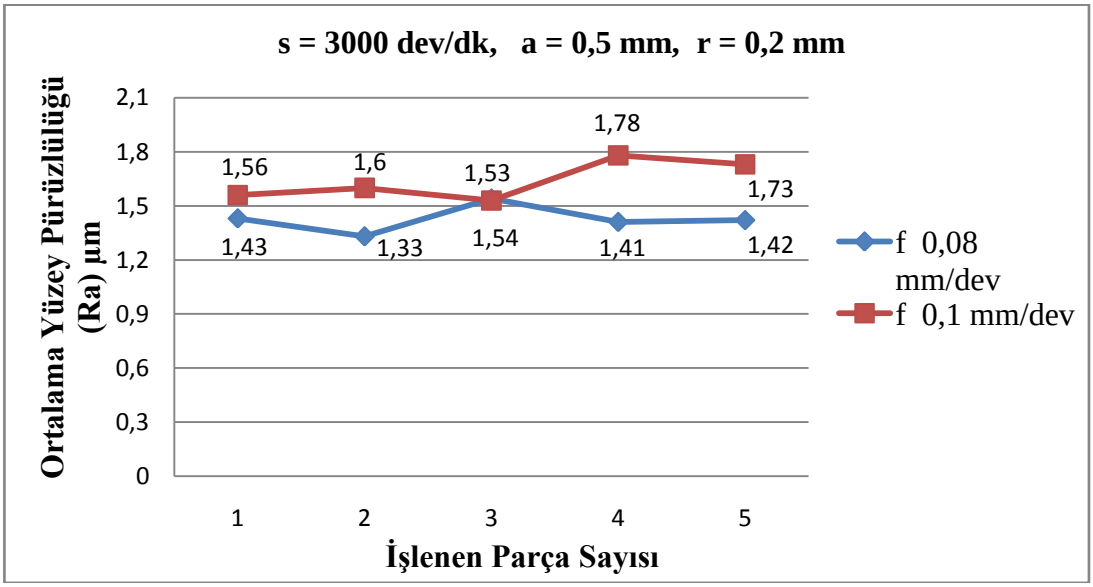
D. No	Kesici Takım Markası	Kesici Takım Kalitesi	Kesici Takım Uç Yarıçapı (mm)	Kesme Derinliği (mm)	Kesme Hızı (m/dk)	İlerleme Miktarı (mm/dev)	Yüzey pürüzlülüğü, Ra (µm)
1	Karbür (Korloy)	Karbür	0,2	0,5	150	0,08	2,52
						0,1	3,83
						0,15	3,69
2	Karbür (Tagutec)					0,08	3,04
						0,1	3,4
						0,15	3,26
3	Karbür (Iscar)					0,08	3,83
						0,1	5,34
						0,15	4,1
4	Sermet (Ceratizit)	Sermet				0,08	1,06
						0,1	1,9
						0,15	3,2

Bu deneylerde karbür kesici takımlardan, alın tornalama sonrası elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinin ilerleme değerine bağlı olarak, sabit bir artış olması gerekirken, dengesiz artışlar görülmektedir. Bu dengesiz artışlar, kesici takımın uç kısmında oluşan BUE'nin kararsız bir şekilde kopup, tekrar oluştuğunun göstergesi olabilir.



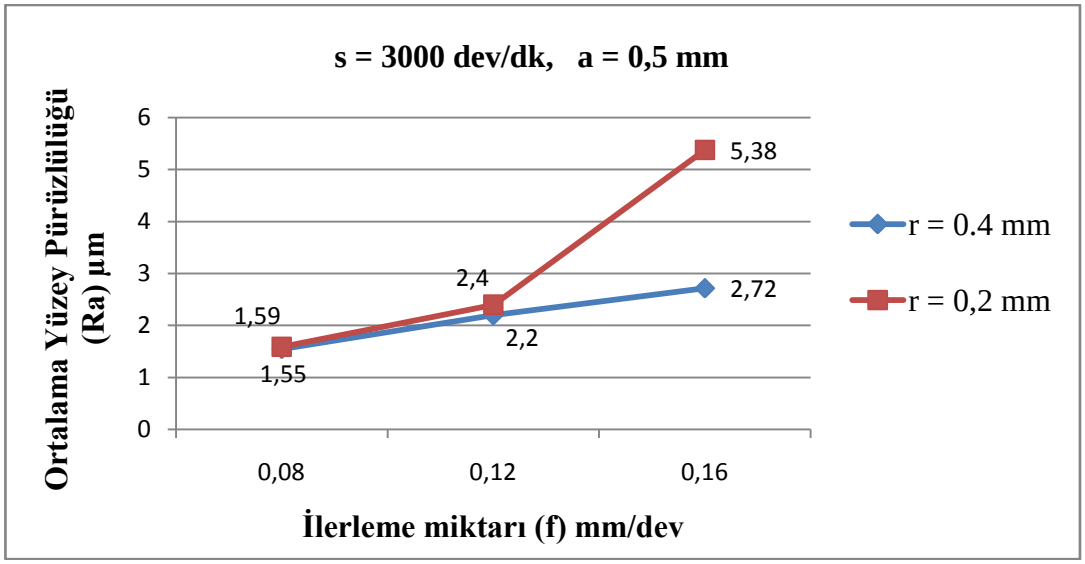
Şekil 6.1. Karbür ve sermet kesici takımlarla elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri.

Şekil 6.2'de sermet kesici iki ilerleme değerinde elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri her bir takımla işlenen 5 farklı parça için verilmektedir. Elde edilen değerlere bakıldığında ilerleme değerinin yüzey pürüzlülüğünü bir miktar etkilediği görülmektedir. Yüksek ilerleme değerinde beklendiği şekilde genellikle yüksek yüzey pürüzlülük değerleri elde edildiği görülmektedir.



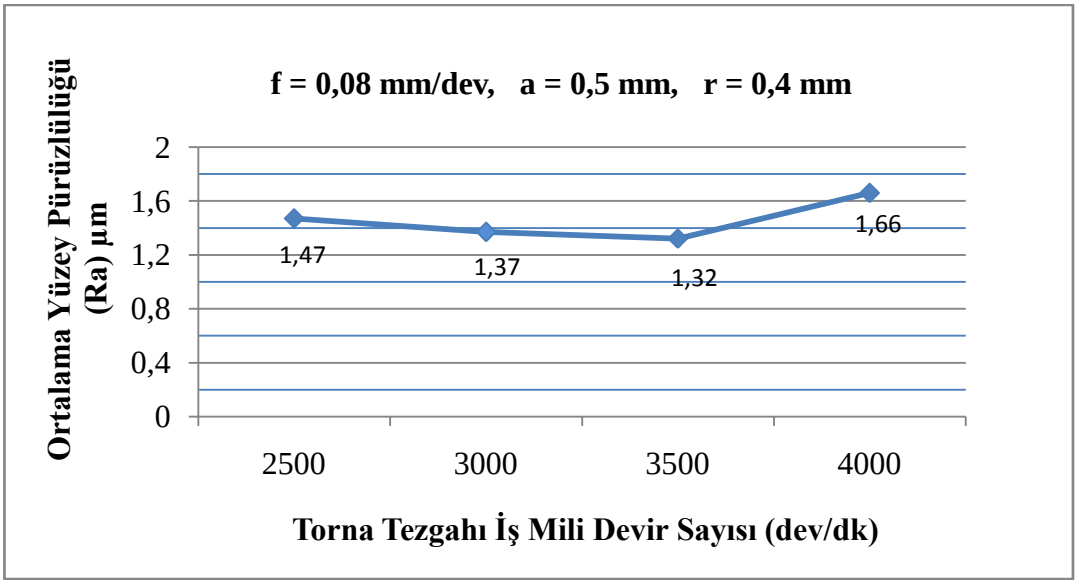
Şekil 6.2. Sermet kesici takımla iki ayrı ilerleme değerinde elde edilen yüzey pürüzlülükleri.

Şekil 6.3'de takım uç yarıçapının yüzey pürüzlülük değerine etkisi verilmiştir. Sonuç olarak 0,08 ve 0,12 mm/dev ilerleme değerinde her iki takımla elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinin çok yakın olduğu görülmektedir. Düşük ilerleme değerinde takım uç yarıçapının yüzey pürüzlük değerine etkisinin az olduğu görülmektedir.



Şekil 6.3. 0,2 mm ve 0,4 mm uç yarıçapına sahip sermet kesici takımlarla elde edilen, ortalama yüzey pürüzlülük değerleri.

Şekil 6.4'deki verileri incelediğimizde devir sayısının (kesme hızı) artması ile yüzey pürüzlülük değerinin belirli bir değere kadar düştüğü ancak daha fazla artışı ile de tekrar arttığı görülmektedir. Devir sayısının artması ile yüzey pürüzlülük değerinin düşmesi hem yapılan araştırmalarda ve hem de uygulamada sıklıkla karşılaşılan bir durumdur. Ancak, devir sayısının daha fazla artışının yüzey pürüzlülük değerini artma eğilimine döndürmesi ise takım tezgahının yüksek devir sayılarındaki kararsızlığı (titreşim) ve kesici takımın da yüksek kesme hızlarında yüksek ısı sonucu daha fazla aşınarak aşınmasıyla açıklanabilir.

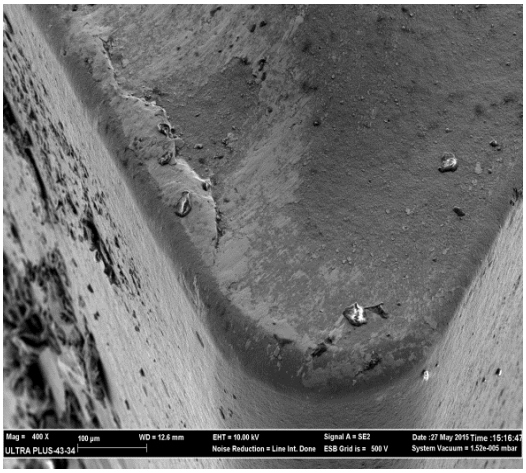


Şekil 6.4. 0,4 mm uç yarıçaplı sermet kesici takımla dört farklı devir sayılarında elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri.

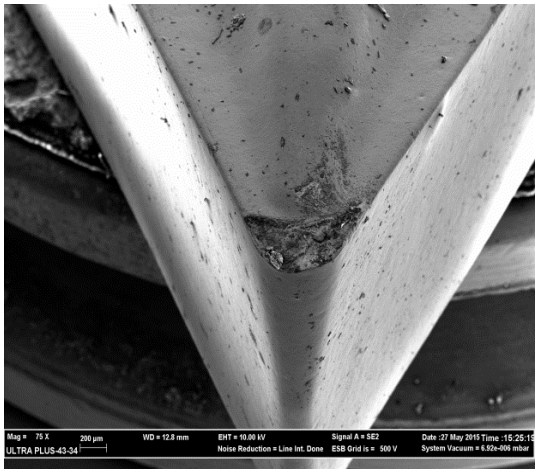
6.1. KESİCİ TAKIM AŞINMASI

Kesici takımlarda oluşan aşınmaları incelemek için dört farklı takımla 0,08 mm/dev ilerleme değerinde, 0,5 mm kesme derinliğinde ve 150 m/dk kesme hızında her bir takım ile 6 adet numune işlenmiştir. Deneysel çalışmada, kesici takım çeşitleri olarak sementit karbür (Korloy, Iscar, ZCC-CT), sermet (Ceratizit) takımlar kullanılmıştır. Kesici takımlarda aşınma istenmeyen bir durum olmakla birlikte kaçınılmazdır.

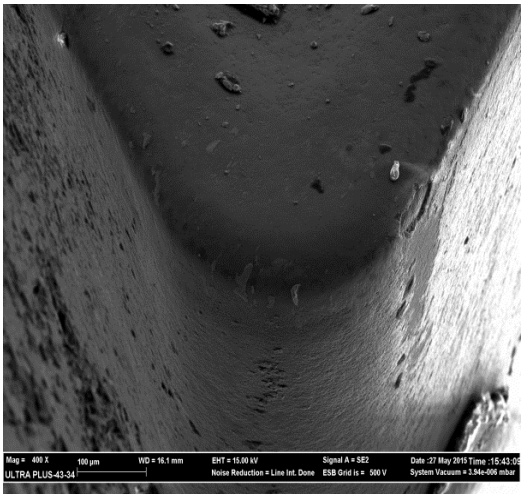
Şekil 6.5'te kesici takımların kesme yapan bölgelerinin SEM fotoğrafları verilmektedir. Şekil 6.5 a'da ZCC-CT kesici takımının krater aşınmasına eğiliminin olduğu. Ayrıca, bu takımda ciddi miktarda iş parçası malzemesinin kesici takım yapıştığı görülmektedir. Kesici takımdan kırılan parçalar çok küçük veya büyük parçalar şeklinde olabilir. Aşınma işleminin aksine (aşınma işlemi tedrici bir süreçte kesici takımın kütlesinden kayıptır), kırılmalar, kesici takım parçalarının ani kaybıdır [41]. Karbür takımlardan (Iscar) kesici takımının uç kısmında oluşan kırılma (Şekil 6.5 b) takım ömrünün çok kısa sürede bittiğinin göstergesidir. Şekil 6.5 c'de ise Korloy marka kesici takımda diğerlerine kıyasla ciddi miktarda yan yüzey aşınması görülmektedir. Bu da bu takımın ömrünün kısa olacağının bir göstergesidir. Şekil 6.5 d'de gösterilen sermet takımda ise diğerlerine nazaran hem daha az iş parçası yapışması ve hem de daha az kırılma veya aşınma şeklinde hasarlar görülmektedir.



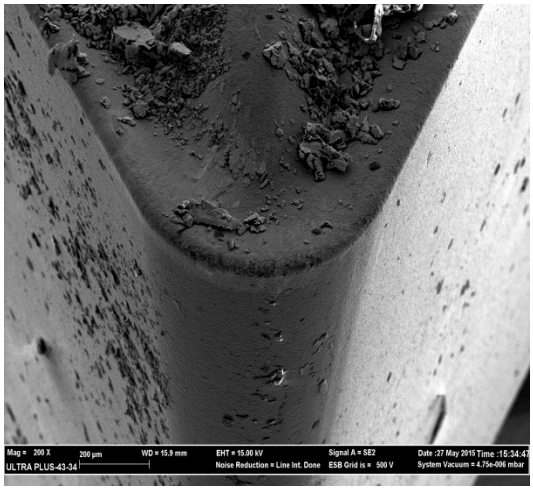
a) ZCC-CT



b) Iscar



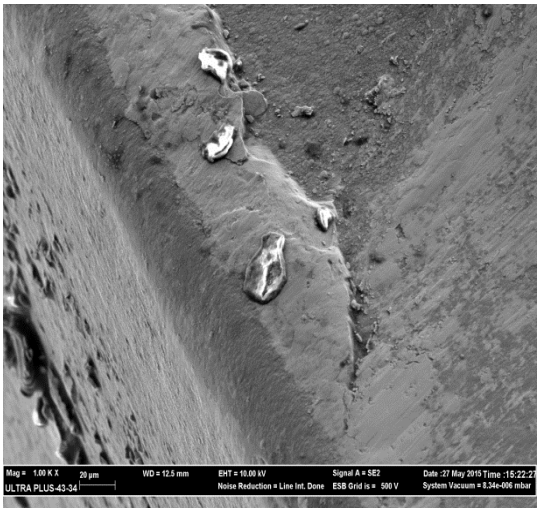
c) Korloy



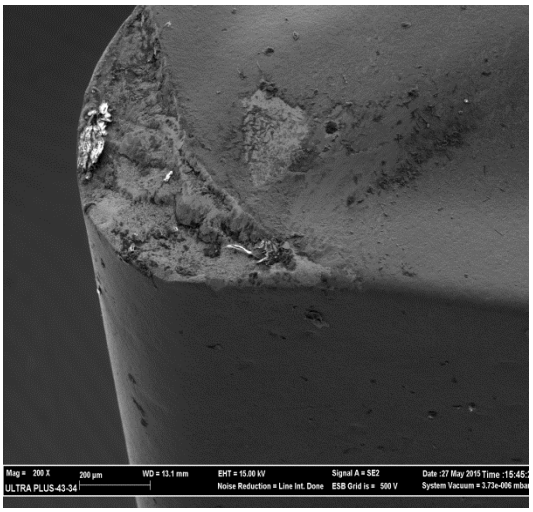
d) Ceratizit

Şekil 6.5. Dört farklı kesici takıma ait SEM fotoğrafları.

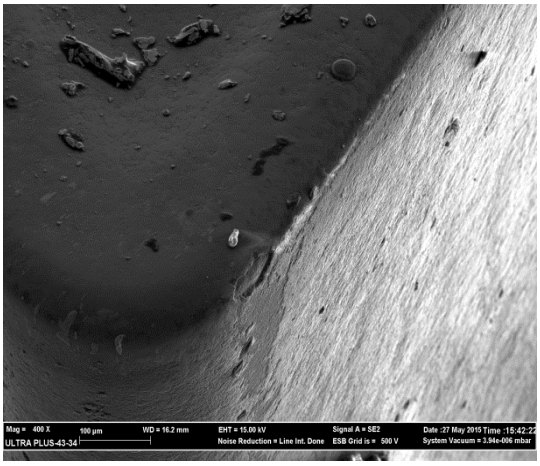
Şekil 6.6’da kesici takımdaki kırılmalar ve aşınmalar daha ayrıntılı olarak görülmektedir.



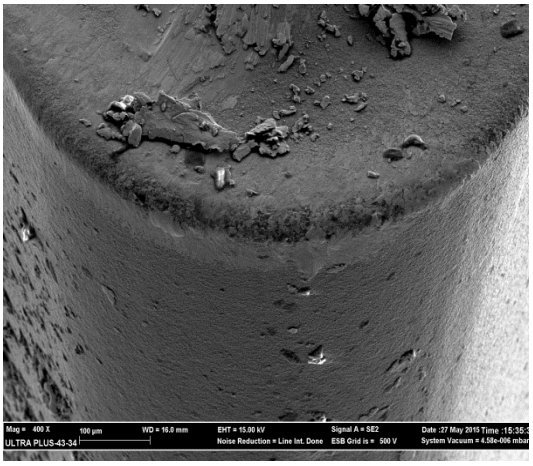
a) ZCC-CT



b) Iscar



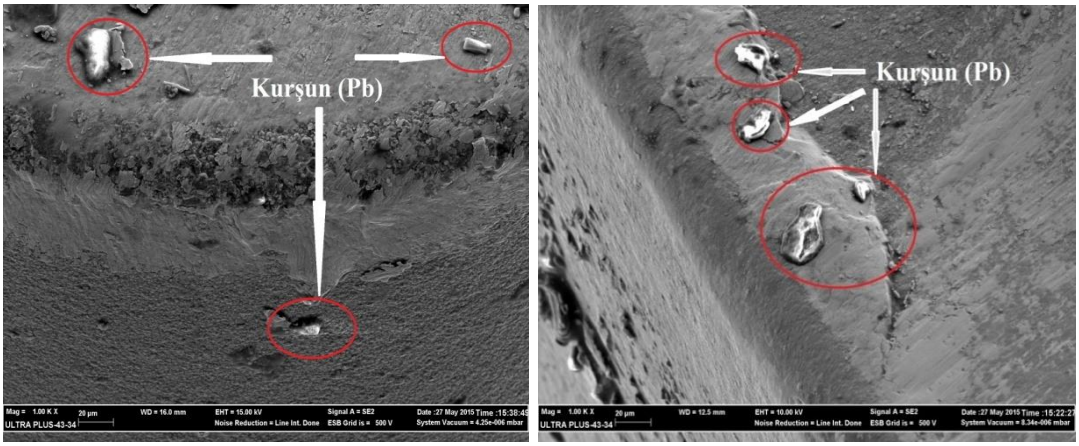
c) Korloy



d) Ceratizit

Şekil 6.6. Dört farklı kesici takıma ait yüksek büyütme ile elde edilen SEM fotoğrafları.

Şekil 6.7’de verilen SEM fotoğraflarında kurşun elementinin kesici takımlara yapıştığı görülmektedir.



Şekil 6.7. Aşınmış kesici takımlara yapışan kurşun elementi.

BÖLÜM 7

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada 11SMnPb30 çeliği üzerinde karbür ve sermet kesici takımlar kullanılarak alın tornalama deneyleri yapılmıştır. Deneyler farklı uç yarıçaplarına sahip kesici takımlarla farklı işleme parametrelerinde yapılmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- ✓ Yapılan alın tornalama deneyleri sonucu en düşük yüzey pürüzlülük değerleri bütün ilerleme değerlerinde sermet kesici takımlarla elde edilmiştir.

- ✓ Sermet kesici takımla en düşük ilerleme değerinde elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri yaklaşık 1 µm civarında iken karbür kesici takımlarla elde edilen yaklaşık 2,5 µm civarında olmuştur.

- ✓ Sermet kesici takımın uç yarıçapının artması ile yüzey pürüzlük değerlerinde özellikle düşük ilerleme değerlerinde kayda değer bir değişiklik gözlenmemiştir.

- ✓ Sermet kesici takımlarla farklı kesme hızlarında yapılan deneyler sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinin kesme hızının artmasıyla belirli bir değere kadar arttığı ancak bu kesme hızı değerinin ötesinde arttığı görülmüştür.

- ✓ Aşınmış kesici takımların SEM fotoğraflarından karbür kesici takımlarda iş parçası yapışması, kırılma ve yan yüzey aşınması görülürken sermet kesici takımda karbürlere nispeten yapışma, kırılma ve yan yüzey aşınması gibi hasarlar hemen hemen görülmemiştir.

KAYNAKLAR

1. Şirin, Ş., "Al_2O_3 Seramik malzemenin talaşlı imalat yöntemleriyle şekillendirilmesinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, ***Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Karabük, 1-23-24 (2012).

2. Akgün, M., "AISI 1040 çeliğinde deformasyon oranının işlenebilirliğe etkisi", Yüksek Lisans Tezi, ***Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Karabük, 1-2-4-33-34 (2013).

3. Ulusoy, A., "Orta karbonlu ve otomat çeliklerinde kesme hızının işlenebilirlik üzerine etkisi", Yüksek Lisans Tezi, ***Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Kütahya, 2-5-7-8-9-10-20 (2008).

4. Demir, H., Ulaş, B. ve Zeyveli, M., "Stavax Esr çeliğinin yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri açısından değerlendirilmesi", ***5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu***, Karabük, 1270-1273 (2009).

5. Çalık, F., "Alın tornalama operasyonunda yüzey pürüzlülük kalitesinin artırılmasının deneysel olarak incelenmesi", ***Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalı***, Ankara, 5 (1998).

6. Turan, A., "AISI 1040 çeliğin tornalanmasında kesme kuvvetlerinin ve titreşimlerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi", Yüksek Lisans Tezi, ***Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,*** Diyarbakır, 4 (2014).

7. Çiftci, İ., Balcı, B., "AISI 304 Östenitik Paslanmaz Çelik Malzemenin İşlenmesinde Yüzey Pürüzlülüğünün İncelenmesi", ***UTIS09 Bildiriler Kitabı***, İstanbul, 136-141 (2009).

8. Bayrak, M., "Ç1020, Ç1040, Ve 9SMnPb28 Çeliklerinin talaşlı işlenmesinde yüzey pürüzlülüğünün uzman sistemle hesaplanan değerlerin deneysel değerle karşılaştırılması", Yüksek Lisans Tezi, ***Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,*** Ankara, 2 (2002).

9. Yontar, A. A., "AISI 304 Paslanmaz çeliklerin işlenebilirliğinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, ***Selçuk Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalı***, Konya, 144-145 (2011).

10. Korkut, I., ve Dönertaş, M. A., "Kesme parametrelerinin frezelemede oluşan kesme kuvvetleri üzerinde etkileri", ***Politeknik Dergisi***, 6 (1): 385-389 (2003).

11. Çiftçi, İ., ve Uzun, G., "Ç 5140 çeliğinin mekanik özelliklerinin takım aşınması ve kesme kuvvetlerine etkisinin incelenmesi", ***Gazi Üniversitesi Politeknik Dergisi***, 15 (1): 29-34 (2012).

12. Kuş, A., “AISI 52100 rulman çeliğinin tornalanmasında uygun kesici takım ve kesme parametrelerinin belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, ***Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Karabük, 12-13-14-15-26-30-32-44-47-48 (2013).

13. Çiftçi, İ., *“*Alüminyum esaslı kompozitlerde takviye oranı ve boyutunun mekanik özellikler ve işlenebilirlik üzerine etkisinin araştırılması”, Doktora Tezi, ***Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Ankara, 33-34-35-36-43 (2003).

14. Genç, G., “İmalat İşlemleri 2 ders notları”, ***Marmara Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu***, Önlisans Ders Notları, İstanbul, (2015).

15. İnternet: Seco Tools Kesici Takımlar Makine Sanayi, “Fotoğraf”, **https://www.secotools.com/tr/Global/Products/Milling1/General-Turning/FF2-Chipbreaker/**, (2015).

16. İnternet: Mesleki Eğitim ve Öğretim Sistemini Güçlendirme Projesi, “Temel Tornalma-1”, **http://megep.meb.gov.tr**, (2015).

17. Topçu, O., “Çift fazlı bir çeliğin işlenebilirliğinin araştırılması ve yapay sinir ağları ile kestirimi”, Yüksek Lisans Tezi, ***TOBB Ekonomi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,*** Ankara, 33 (2009).

18. Çiftçi, İ., “Talaşlı imalat ders notları”, ***Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi***, Lisansüstü Ders Notları, Karabük, (2014).

19. Çiftçi, İ., “Takım tasarımı ders notları”, ***Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi***, Lisans Ders Notları, Karabük, 2-3-4-23-28 (2008).

20. Sur, G., “Karma takviyeli alüminyum matrisli kompozitlerin üretimi, mekanik özellikler ve işlenebilirliklerinin incelenmesi”, Doktora Tezi, ***Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,*** Ankara, 104-106-107 (2008).

21. Koçak, H., “GGG 90 küresel grafitli dökme demirin işlenebilirliğinin kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması açısından değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, ***Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Ankara, 12 (2011).

22. Demirayak, İ., “Kesme parametreleri ve kaplama tabakasının talaş kaldırma işlemine etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, ***Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,*** Bursa, 17-18- 44 (2006).

23. Özay, Ç., “Teğetsel tornalama-frezeleme yönteminde işleme parametrelerinin teorik ve deneysel olarak araştırılması”, Doktora Tezi, ***Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Elazığ, 27-28-34-42 (2009).

24. Taylan, F., “Sert malzemelerin frezelenmesinde takım aşınma davranışlarının belirlenmesi”, Doktora Tezi, ***Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,*** Isparta, 7 (2009).

25. İnternet: Bülent Ecevit Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, **“**İmalat teknolojileri ders notları fotograf**”, http://makina.beun.edu.tr/eskisite/dersler/MAK349_ Imalat_Teknolojileri/Notlar/03_Imalat_Teknolojileri.pdf,** (2015).

26. Sürücüler, S., “Tornalamada kesme parametrelerindeki değişime göre kesme kuvvetlerinin tahmini için matematiksel bir model geliştirme”, Yüksek Lisans Tezi, ***Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Ankara, 16-18 (2010).

27. İşbilir, Ö,. “Talaş kaldırmada değişken yüklemenin takım ömrüne etkisinin belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, ***Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, İzmir, 33-38 (2008).

28. Çiftçi, İ., “Kesici takımlar ve kesme teorisi”, ***Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi***, Lisans Ders Notları, Karabük, 30-34-35-36 (2008).

29. Özçatalbaş, Y., “1050, 4140, 8620 Çeliklerinin ısıl işlemle değişen mikro yapı ve mekanik özelliklerine bağlı işlenebilirlikleri”, Doktora Tezi, ***Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,*** Ankara, 19 (1996).

30. Pul, M., “Al matrisli MgO takviyeli kompozitlerin infiltrasyon yöntemi ile üretilmesi ve işlenebilirliğinin değerlendirilmesi”, Doktora Tezi, ***Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Ankara, 91-92-95 (2010).

31. Motorcu, A. R., “Ç1050, Ç4140 ve Ç52100 çeliklerinin işlenebilirliliği ve modeller geliştirilmesi”, Doktora Tezi, ***Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,*** Ankara, 14-15 (2006).

32. Altınkaya, E., “AISI 316 Östenitik çeliğin işlenmesinde kesme değerlerinin ve takım kaplamasının yüzey pürüzlülüğüne ve takım aşınmasına etkilerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, ***Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,*** Ankara**,** 35-36-40-41 (2006)

33. İnternet: Sandvik Endüstriyel Mamüller Sanayi, “Takım Aşınması Dökümanları**”, http://www.sandvik.coromant.com/tr-tr/knowledge/general_ turning/troubleshooting-/tool-wear/pages/default.aspx**, (2015).

34. Şenkal, D., “Yüzeyi sertleştirilmiş soğuk iş kalıp çeliklerinin tornalanması işlemlerinde takım ömrü-kesme parametreleri ilişkisinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, ***Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Bursa, 28 (2012).

35. Taylan, F., “Sert malzemelerin frezelenmesinde takım aşınma davranışlarının belirlenmesi”, Doktora Tezi, ***Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,*** Isparta, 48 (2009).

36. Neşeli, S., “Tornalamada takım geometrisi ve tırlama titreşimlerinin yüzey pürüzlülüğüne etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, ***Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Konya, 49-51(2006).

37. Şahin, A., “Sertleştirilmiş mikro alaşımlı çeliğin (30MnVS6) farklı kesicilerle işlenmesinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, ***Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Karabük ,43 (2013).

38. Şan, S.,“Mikro alaşımlı çeliklerin işlenebilirliklerinin takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğü açısından değerlendirilmesi” Yüksek Lisans Tezi, ***Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Ankara, 53-54 (2007).

39. Savaşkan, T., “Malzeme Bilgisi Ve Muayenesi”, ***Karadeniz Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü***, Trabzon, 192 (2009).

40. İnternet: ÇEL-MER Çelik Endüstrisi A.Ş., (Otomat Çelikleri Döküman), **www.celmercelik.com/otomat_celikleri.htm**, (2015).

41. Balcı, B., “AISI 304 östenitik paslanmaz çelik malzemenin işlenmesinde yüzey pürüzlülüğünün incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, ***Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Karabük, 52 (2008).

ÖZGEÇMİŞ

İsmail KORKMAZ, 1987 yılında Bolu merkez'de doğdu. İlk ve orta öğrenimini aynı ilde tamamladı. Ortaöğrenimini ise İzzet Baysal Endüstri Meslek Lisesi CNC bölümünde tamamladıktan sonra. 2005 yılında İzzet Baysal Üniversitesi Bolu Meslek Yüksek Okulu Makine Bölümünü birincilikle tamamladı. 2007 yılında Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Talaşlı Üretim öğretmenliği programına girmeye hak kazandı. 2010 yılında bölüm birincisi olarak lisans eğitimini tamamladıktan 2 yıl sonra İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. Halen Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde öğrenimine devam etmektedir.

İletişim Bilgileri:
Telefon: 05456158634
Bürnük köyü no:50 / BOLU
korkmaaz_14@hotmail.com