

**SERTLEŞTİRİLMİŞ AISI H10A ÇELİĞİNİN CBN  
KESİCİ TAKIMLARLA İŐLENEBLİRLİĐİNİN  
İNCELENMESİ**

**2016  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ**

**Rifat AKDERE**

**SERTLEŞTİRİLMİŞ AISI H10A ÇELİĞİNİN CBN KESİCİ TAKIMLARLA  
İŐLENEBLİRLİĐİNİN İNCELENMESİ**

**Rifat AKDERE**

**Karabük Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü**

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

**KARABÜK  
Kasım 2016**

Rifat AKDERE tarafından hazırlanan “SERTLEŞTİRİLMİŞ AISI H10A ÇELİĞİNİN CBN KESİCİ TAKIMLARLA İŞLENEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Halil DEMİR

Tez Danışmanı, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir 04/11/2016.

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Mustafa GÜNAY (KBÜ)



Üye : Yrd. Doç. Fuat KARA (DÜ)



Üye : Prof. Dr. Halil DEMİR (KBÜ)



...../...../2016

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.”*

Rifat AKDERE

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### SERTLEŞTİRİLMİŞ AISI H10A ÇELİĞİNİN CBN KESİCİ TAKIMLARLA İŞLENEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

**Rifat AKDERE**

**Karabük Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Prof. Dr. Halil DEMİR**

**Kasım 2016, 87 sayfa**

Bu çalışmada, sertleştirilmiş AISI H10A sıcak iş takım çeliği kaplamasız ve kaplamalı CBN kesici takımlar kullanılarak yapılan deneyler, kuru ve MQL olmak üzere iki kesme ortamında gerçekleştirilmiştir. Taguchi Yöntemi'ne göre yapılan deney tasarımında işlenebilirlik kriterleri (Fc ve Ra) üzerinde doğrudan etkisi olan kesme parametreler belirlenmiştir. Kesme parametrelerinin, kesme hızı, ilerleme miktarı, kesme derinliği ve kesme şartlarının kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Kesme şartlarının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etki düzeylerini belirlemek amacıyla %95 güven düzeyinde varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır. Kaplamasız CBN takım ile kuru işlemede genel olarak ilerleme miktarı ve kesme derinliği arttıkça ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra)'nın arttığı gözlemlenmiştir. Kaplamalı CBN takım ile kuru işlemede, kesme derinliği ve ilerlemenin artması ile yüzey pürüzlülüğünde belirgin bir artış görülmüştür. L9 deney tasarımına nedeni ile kesme hızına göre yüzey pürüzlülüğünün değişiminde bir düzensizlik gözlenmiştir.

**Anahtar Sözcükler :** AISI H10A, MQL, CBN, yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvveti.

**Bilim Kodu** : 916.3.028



## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **HARDENED AISI H10 STEEL OF CUBIC BORON NITRIDE (CBN) TO BE IN WITH CUTTING TOOLS TURNING**

**Rifat AKDERE**

**Karabük University**

**Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**Department of Manufacturing Engineering**

**Thesis Advisor:**

**Prof. Dr. Halil DEMİR**

**November 2016, 87 pages**

In this study, machining tests were carried out on on hardened AISI H10 hot work tool steel using uncoated and coated CBN cutting tools. The tests were carried out dry and using MQL technique. The design of experiments was based on the Taguchi Method and cutting parameters having a direct impact on machinability criteria ( $F_c$  and  $R$ ) were determined. The effects of cutting speed, feed rate, cutting depth and cutting conditions on the cutting forces and surface roughness are analysed. To determine the level of influence of the cutting conditions on the surface roughness, ANOVA test was performed with 95% confidence level. It was observed that as the feed rate and depth of cut increase, the average surface roughness ( $R_a$ ) increases during dry cutting with uncoated CBN. A significant increase in the surface roughness was observed with increase in depth of cut and the feed rate during dry cutting with coated CBN. An irregularity was observed in surface roughness based on cutting speed due to the experimental design L9.

**Key Words** : AISI H10A, MQL, CBN, surface roughness, cutting force.

**Science Code** : 916.3.028





## TEŞEKKÜR

Emek ve bilgisiyle bu tez çalıőmasının ortaya çıkarılmasında tım gıcıyle yardımcı olan, hiçbir aőamasında beni yalnız bırakmayan tez danıőmanım çok değerli hocam Sayın Prof. Dr. Halil DEMİR'eteőekkür etmeyi borç bilirim.

Tez çalıőmama maddi olarak destek olan Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Birimi'ne, Karabük Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümü Doç. Dr. Mustafa GÜNAY'a ve deneysel çalıőmalarımnda yardımını esirgemeyen Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakóltesi İmalat Mühendisliği Bölümü Arő. Gör. Gültekin UZUN'a teşekkür ederim. Ayrıca yardımını esirgemeyen 7 yıl görev yaptığım Polatlı Ortadoğu Rulman San. Tic. A. Ő'ne ve Mühendislik Müdürü Turhan SAVAŐ'a ve Mühendislik Bölümünden Ali UÇAR'a çok teşekkür ederim.

Her zaman yanımda olarak maddi ve manevi hiçbir yardımını esirgemeyen sevgili aileme tım 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
LİTERATÜR İNCELEMESİ.....	3
BÖLÜM 3 .....	13
TALAŞ KALDIRMA ESASLARI VE İŞLENEBİLİRLİK .....	13
3.1. METAL KESME VE TORNALAMA.....	13
3.1.1. Dik Kesme Modeli.....	17
3.1.2. Talaş Oluşumu .....	19
3.2. KESME KUVVETLERİ .....	20
3.3. PARÇA YÜZEYLERİ .....	25
3.3.1. Yüzey Özellikleri.....	26
3.3.2. Yüzey Dokusu .....	27
3.3.3. Baskın Pürüz Yönü Veya Yüzey Dokusu Deseni (Lay).....	27
3.3.4. Yüzey Kusurları (Flaws).....	28
3.3.5. Yüzey Pürüzlülüğü .....	29
3.3.6. Yüzeyde Dalgalılık .....	34

	<b><u>Sayfa</u></b>
3.3.7. Yüzey Pürüzlülüğünü Etkileyen Faktörler .....	35
3.3.8. Gerçek Yüzey Pürüzlülüğü.....	36
3.3.9. Tornalama İşleminde Pürüzlülük Parametrelerinin Teorik Formüller ...	36
3.4. KESİCİ TAKIM .....	38
3.4.1. Kesici Takım Geometrisi.....	38
3.4.2. Kesici Takım Malzemeleri .....	39
3.4.2.1. Yüksek Hız Çeliği.....	40
3.4.2.2. Sementit Karbür .....	41
3.4.2.3. Kaplamalı Sementit Karbür .....	42
3.4.2.4. Nitrürler.....	43
3.4.2.5. Sermetler .....	44
3.4.2.6. Seramik .....	44
3.4.2.7. Sentetik Elmas (SPD) Ve Kübik Bor Nitrür (CBN).....	45
3.4.3. Kesici Takım Aşınması.....	46
3.5. İŞLENEBİLİRLİK.....	48
3.6. MİNİMUM MİKTARDA YAĞLAMA (MQL) SİSTEMİ .....	50
3.6.1. Dahili Minimum Miktarda Yağlama Sistemi (MQL).....	51
3.6.2. Harici Minimum Miktarda Yağlama Sistemi (MQL).....	53
BÖLÜM 4 .....	56
MATERYAL VE YÖNTEM .....	56
4.1. GİRİŞ.....	56
4.2. DENEY MALZEMESİ .....	56
4.2.1. Deney Malzemesinin Isıl İşlemi .....	57
4.3. DENEY MALZEMESİNİN İŞLENEBİLİRLİK ÖZELLİKLERİ .....	58
4.3.1. Takım Tezgahı Ve Kesici Takımlar .....	59
4.3.2. Kesme Kuvveti Ölçüm Cihazı Ve Deney Düzeneği.....	59
4.3.3. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Cihazı .....	61
4.3.4. Minimum Miktarda Yağlama .....	62

	<b><u>Sayfa</u></b>
4.4. DENEY TASARIMI .....	63
BÖLÜM 5 .....	65
SONUÇLAR VE TARTIŞMA .....	65
5.1. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	65
5.2. KESME KUVVETLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	72
BÖLÜM 6 .....	78
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	78
KAYNAKLAR .....	82
ÖZGEÇMİŞ .....	87

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 3.1. Kesme çeşitleri .....	13
Şekil 3.2. Kesme işleminin, enine kesit görünüşü.....	15
Şekil 3.3. Tornalama süreci, ilerleme ve kesme hareketi.....	16
Şekil 3.4. Tornalama operasyonunda, kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği .....	16
Şekil 3.5. Dikey kesme.....	17
Şekil 3.6. Talaş oluşumu sırasında kayma şekli.....	18
Şekil 3.7. Metal kesmede talaş oluşumu dört çeşit.....	19
Şekil 3.8. Kesme deformasyon sürecinin Thismore gerçekçi modeli .....	20
Şekil 3.9. Metal kesmede kuvvetler .....	22
Şekil 3.10. F, N, Fs, Fn, Fc ve Ft arasındaki geometrik ilişkileri gösteren kuvvet diyagramı.....	22
Şekil 3.11. Tornalama işleminde kesme kuvvetleri .....	23
Şekil 3.12. Farklı CBN içerikli araçlarını kullanırken kesme kuvvetleri tahmini.....	25
Şekil 3.13. Metal parçası yüzeyinin büyütülmüş kesiti.....	26
Şekil 3.14. Yüzey doku özellikleri .....	27
Şekil 3.15. Baskın pürüz yönü ya da yüzey dokusu deseni.....	28
Şekil 3.16. Nominal yüzeyden sapmalar .....	29
Şekil 3.17. Rt, Rp ve Rv parametrelerinin gösterimi .....	30
Şekil 3.18. Ortalama Pürüzlülük Rz gösterimi.....	31
Şekil 3.19. Pik-Vadi ortalama pürüzlülüğü .....	32
Şekil 3.20. Pürüzlülük Rpm gösterimi .....	32
Şekil 3.21. Pürüzlülük Rvm gösterimi .....	33
Şekil 3.22. Pürüzlülük Rmax gösterimi .....	33
Şekil 3.23. Dalgalık Wa gösterimi .....	35
Şekil 3.24. Dalgalık Wmax gösterimi.....	35
Şekil 3.25. Yüzey pürüzlülüğünü etkileyen faktörler.....	36
Şekil 3.26. Tornalama için teorik pürüzlülük şekilleri.....	37
Şekil 3.27. Kesici takım geometrisi.....	38

## **Sayfa**

Şekil 3.28. Çeşitli grupta kesicimalzemelerin özellik aralıkları.....	40
Şekil 3.29. Kesici takımındaki aşınmaların şematik olarak gösterilmesi.....	47
Şekil 3.30. Dahili MQL Sistem .....	52
Şekil 3.31. “SKF Digital Super System” örnek dahili sistem pnömatik şeması .....	53
Şekil 3.32. Basınç tankı ve kullanılan cihazlar .....	54
Şekil 3.33. “SKF Temel Sistem”, harici MQL sistemi pnömatik şeması .....	55
Şekil 4.1. Takım tutucu .....	59
Şekil 4.2. Kistler 9257B dinamometre ve elemanları .....	60
Şekil 4.3. Deney düzeneği.....	61
Şekil 4.4. “UFB20-Basic” MQL sistemi .....	62
Şekil 5.1. Kaplamasız CBN takım ile kuru işlemede oluşan Ra değişimi .....	66
Şekil 5.2. Kaplamalı CBN takım ile kuru işlemede oluşan Ra değişimi.....	67
Şekil 5.3. Kaplamasız CBN takım ile MQL kesme şartında oluşan Ra değişimi ....	68
Şekil 5.4. Kaplamalı CBN takım ile MQL kesme şartında oluşan Ra değişimi .....	69
Şekil 5.5. Kaplamasız CBN takım ile kuru işlemede oluşan Fc değişimi.....	72
Şekil 5.6. Kaplamalı CBN takım ile kuru işlemede oluşan Fc değişimi.....	73
Şekil 5.7. Kaplamasız CBN takım ile MQL kesme şartlarında oluşan Fc değişimi	74
Şekil 5.8. Kaplamalı CBN takım ile MQL kesme şartlarında oluşan Fc değişimi... 75	

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Çizelge 3.1. MQL işleminde kullanılan kesme sıvılarının özellikleri .....	51
Çizelge 4.1. Deney numunelerinin kimyasal bileşimi (Ağırlıkça %) .....	56
Çizelge 4.2. Yüze pürüzlülük ölçme cihazının teknik özellikleri .....	62
Çizelge 4.3. “Lubrioil” MQL sistem yağı özellikleri.....	63
Çizelge 4.4. Faktörler ve seviyeleri.....	63
Çizelge 4.5. Taguchi L <sub>9</sub> deney tasarımına göre yapılan deneyler.....	64
Çizelge 5.1. Kaplamasız CBN ile kuru kesme şartı için ANOVA sonuçları.....	70
Çizelge 5.2. Kaplamalı CBN ile kuru kesme şartı için ANOVA sonuçları .....	70
Çizelge 5.3. Kaplamasız CBN ile MQL kesme şartı için ANOVA sonuçları .....	71
Çizelge 5.4. Kaplamalı CBN ile MQL kesme şartı için ANOVA sonuçları .....	71
Çizelge 5.5. Kaplamasız CBN ile kuru kesme şartı için ANOVA sonuçları.....	76
Çizelge 5.6. Kaplamalı CBN ile kuru kesme şartı için ANOVA sonuçları .....	76
Çizelge 5.7. Kaplamasız CBN ile MQL kesme şartı için ANOVA sonuçları .....	77
Çizelge 5.8. Kaplamalı CBN ile MQL kesme şartı için ANOVA sonuçları .....	77

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

- V : Kesme hızı (m/dk)  
f : İlerleme (mm/dev)  
a : Kesme derinliği (mm)  
r : Kesici takım radyüsü (mm)  
R<sub>a</sub> : Ortalama yüzey pürüzlüğü (μm)  
R<sub>t</sub> : Maksimum yüzey pürüzlüğü (μm)  
R<sub>q</sub> : Geometrik ortalama değeri (μm)  
R<sub>z</sub> : Değerlendirme aralığındaki en yüksek beş çıkıntı ile en derin beş girintinin mutlak değerlerinin ortalaması (μm)  
R<sub>max</sub> : Değerlendirme aralığındaki filtre edilmemiş pürüzlülüğün en yüksek çıkıntısı ile en derin girintisi arasındaki mesafe (μm)

### KISALTMALAR

- AFM : Atomic Force Microscope (Atomik Kuvvet Mikroskobu)  
AISI : American Institute of Steel and Iron (Amerikan Demir ve Çelik Endüstrisi)  
BUE : Built Up Edge (Talaş yığılması)  
CBN : Cubic Boron Nitrid (Kübik Bor Nitrid)  
CNC : Computer Numerical Control (Bilgisayarlı Sayısal Denetim)  
CVD : Chemical Vapour Deposition (Kimyasal Buhar Çökeltme)  
DRY : Near-Dry Machining (Kuruya Yakın İşleme)  
EDX : Enerji Dağılımlı X-Işını Cihazı  
HRc (Rc) : Rockwell Sertlik Değeri  
HSS : High Speed Steel (Yüksek Hız Çeliği)



ISO	: International Standart Organization (Milletlerarası Standart Organizasyonu)
MQL	: Minimum Quantity of Lubrication (Minimum Miktarda Yağlama)
PCBN	: Çok Kristalli Kübik Bor Nitrür
PCD	: Polycrystalline Diamond (Çok Kristalli Elmas)
PVD	: Physical Vapor Deposition (Fiziksel Buhar Çökeltme)
SEM	: Scanning Electron Microscope (Taramalı Elektron Mikroskobu)
TiN	: Titanyum Nitrür
TiC	: Titanyum Karbür
TiCN	: Titanyum Karbonitrür
VSD	: Vickers Sertlik Değeri
YSA	: Yapay Sinir Ağı

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Sert tornalama modern makine takımları kullanarak sert çeliklerin işlenmesini içeren yeni bir teknolojidir. Sert işleme, daha iyi takım ömrü ve yüksek hassasiyetli parçaları işleme açısından, kesici takımın seçiminde zorluklar getirmektedir. Tek nokta kesici takım ile sertleştirilmiş çeliklerin tornalanmasında rulman, otomotiv, dişli üreticileri ve kalıp üretim sanayilerinde büyük ilgi görmektedir. Sert tornalamanın otomotiv ve rulman endüstrisinde, geleneksel taşlama prosesleri üzerinde çeşitli uygulama, alt ekipman ve maliyetler açısından daha kısa ayar zamanı, esnek ve karmaşık geometrili parçaların işlenmesinde potansiyel faydaları vardır. Ayrıca, sert tornalama süreçleri genellikle soğutucu ve yağlayıcı olmadan yapılır bu nedenle, depolama, elle temas ve kesme sıvısı bertaraf sorunu ortadan kalkmasıyla ve aynı zamanda tezgah operatörlerinin iş sağlığı açısından avantaj sağlamaktadır [1].

Sertleştirilmiş malzemelerin tornalanması, yüksek sertliğe ve aşınma direncine sahip kesici takımlar kullanılarak sertlikleri 50-60 HRC arasında değişen iş malzemelerinin uygun bir yüzey elde edilmesi için yapılan bir uygulamadır. Elde edilen yüzey kalitesi, kolay bir imalat metodu olması, taşlama işlemine göre avantajlı olmasındandır [2].

Üretim operasyonlarının birincil amacı, doğru parçaların verimli şekilde üretilmesidir. İşleme süreçlerinde önemli araştırmalar parça doğruluğundan ödün vermeden, malzeme kaldırma oranlarını artırmak için alternatif yollar üzerinde yoğunlaşmıştır. Malzeme kaldırma oranlarını yükseltmek için iki temel yol, kesme hızı ve talaş kesitini artırmaktır. Kesit artırılması, sapma ve istikrar sınırlamaları nedeniyle sınırlıdır. Bu nedenle yüksek hızda işleme önem kazanmaktadır.

Yüksek hızda üretim uygulamasını kullanan endüstriler hızla yayılmaktadır. Ancak yüksek hızda üretim kesme sıcaklığının artmasına ve kesici ucunun kırılmasına neden olmaktadır. Bu nedenle kesme ucunun aşınma direnci, yüksek hızda işlemede önemli bir rol almaktadır. Takım materyallerindeki son gelişmeler, yüksek hızda üretimin geniş alanlarda uygulanmasına imkan vermiştir.

Üretim maliyetleri ve ürün kalitesini, kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliği işleme parametreleri olarak etkilemektedir. Bu nedenle, üretim maliyetlerini azaltmak için ve aynı zamanda, arzu edilen ürün kalitesini elde etmek için bu parametrelerin optimum düzeylerini belirlemek önemlidir. Verimlilikte artış arzu edildiği takdirde bu üç kesme parametrelerinde bir artış gereklidir. Ancak takım ömrü, takım aşınması, kesme kuvvetleri, kesme sıcaklığı, yüzey kalitesi vb., etkiler nedeniyle parametrelerin kesme sınırı vardır. Bu sınırlamalardan dolayı, pek çok araştırmacı sert tornalamaya ilişkin bu parametrelerin etkisini incelenmiştir [1].

Bu araştırmada;

- Tornalama ile işleme sırasında, kaplamalı/kaplamasız CBN kesici takımlarla AISI H10A sıcak iş takım çeliği malzemesinin farklı kesme parametrelerinde, kesme hızı, ilerleme miktarı, kesme derinliği farklı parametreler ile yapılan deneyler sonucu oluşan kesme kuvvetlerinin ve yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi,
- Deneyler sonucunda elde edilen verilerle esas kesme kuvveti ( $F_c$ ) ve ortalama yüzey pürüzlülüğü ( $R_a$ )'nın en düşük değerleri için en önemli kesme parametrelerinin bulunması,
- NDM (Near-Dry Machining) kuruya yakın işleme ile elde edilen kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü verilerinin, MQL (Minimum Quantity of Lubrication) Minimum Miktarda Yağlama şartlarında oluşan kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü değerleri ile karşılaştırılması ve dolayısıyla en iyi işleme parametrelerinin tespiti amaçlanmaktadır.

## BÖLÜM 2

### LİTERATÜR İNCELEMESİ

Literatürde çeşitli araştırmacılar tarafından yapılan pek çok çalışma vardır. Bu çalışmalar çoğunlukla AISI 52100 rulman çeliği, H13-H11 sıcak iş çeliği, AISI 4130 ve 4340 düşük alaşımlı çeliklerin CBN ve kaplamalı karbür takımlarla tormalanması işlemini içermektedir [3-4]. Sert tormalama işleminde karşılaşılan sorunların en başında kesici takımın aşınması gelmektedir. Bu yüzden, diğer kesici takımlara göre daha fazla aşınma direnci göstermesinden dolayı genellikle CBN kesici takımlar kullanılmaktadır [5].

J. A. Arsecularatne vd., Sertleştirilmiş AISI D2 çeliğinin PCBN kesici takımlar ile işlenmesi üzerine çalışma yapmışlardır. İşleme parametreleri olarak 0,08-0,20 mm/dev ilerleme, 70-120 m/dk kesme hızı seçilmiştir. Test sonuçlarında PCBN kesici takımlarının performans düşüşünün başlıca nedeninin yan yüzey aşınma ömrünün azalması olduğu öne sürülmüştür [4].

Krajnik ve Kopac, geleneksel işleme yöntemi ile yüksek hızda işleme (HSC) yöntemini karşılaştırdıkları çalışmada, yüksek hızlı işleminin geleneksel işleme yöntemlerine göre avantajlarını araştırmışlardır. Yüksek hızda işleminin avantajlarından bazılarını, işleme sürelerinin kısılması, yüzey kalitesinin artması, daha az ek operasyona ihtiyaç duyulması, kesme bölgesindeki sıcaklığın daha düşük olması ve takım ömrünün daha uzun olması şeklinde sıralamışlardır [6].

Godoy ve Diniz yaptıkları araştırmada, CBN ve seramik uçlar kullanarak sertleştirilmiş çelik malzemenin kesintili ve sürekli tormalanmasını araştırmışlardır. Hem sürekli hem de kesintili talaş kaldırma işleminde, CBN kesicinin yan yüzey aşınma oranı tüm kullanılan kesme hızları içinde seramik kesici takımlardan daha

düşük çıkmıştır. Bunun yanında düşük kesme hızlarında, aşınma mekanizmaları en çok sürtünmeden dolayı yüksek çıktığı gözlemlenmiştir [7].

Shalaby ve arkadaşları, yüksek karbon-krom çelik malzeme ile sert tornalama işlemleri yapmışlardır. Tornalama işlemlerinde birçok kesici takımın aşınma mekanizmaları incelenmiştir. Her kesici takımın ve iş parçası malzemesinin arasındaki kinetik sürtünmesi aşınma mekanizmasının kontrolünü sağlamaktadır. Ayrıca PCBN aşınma mekanizmaları yapışma ve difüzyonun bir bileşimi olarak kabul edilebilir [8].

Huang ve Liang, sert tornalamada CBN kesici takımın kesme şartlarına etkisi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışma sonucunda elde edilen değerler çalışma öncesinde tahmin edilen değerlere yakın bulunmuştur. Ayrıca, genel eğilimlere göre varyans analizi kesme hızı, ilerleme miktarı, kesme derinliği ve takım ömrünü belirleme açısından baskın bir rol oynamıştır [9].

Huang ve Dawson CBN kesici takımlarla sert tornalama işleminde kesici takımda oluşan krater aşınmasının modellenmesi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Tornalama için 52100 rulman çeliği malzeme kullanılmıştır. Deney sonuçları ve model tahminleri sonucunda takımda meydana gelen hakim aşınma mekanizmasının adhezyon aşınma mekanizması olduğu belirtilmiştir. Deney sonuçları ile tahmin sonuçları birbirine yakın değerler olarak bulunmuştur [10].

Günay, AISI 1040 malzemesinin işlenmesinde, talaş açısı ve yüzey kalitesi arasındaki bağlantının incelenmesi üzerine bir araştırma yapmıştır. Deneylerde ilerleme ve kesme derinliği sabit olarak ayarlanmıştır. Deneyler sonucunda negatif talaş açısının yüzey pürüzlülüğü üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Pozitif talaş açılarında 10°'ye kadar yüzey kalitesinde bir iyileşme olurken, talaş açısının artırılması ile birlikte yüzey kalitesindeki iyileşmenin önemli miktarda olmadığı gözlemlenmiştir [11].

Diniz ve Oliviera, CBN kesici takımlar kullanarak kesintili yüzeylerin sert tornalanması üzerine bir araştırma yapmışlardır. Çalışma da 7020 ve 7050 olmak üzere iki çeşit kalite sınıfında CBN kesici takım kullanılmıştır. Çalışma sonucunda en uzun

takım ömrü 7020 sınıf kalite CBN kesici takımında ölçülmüştür. Bunun yanında kesintili ve sürekli kesme, kesici kenardaki oluklu aşınmalar takım ömrünü kısıtlamıştır [12].

Remadna ve Rigal, araştırmanın amacı, sertleştirilmiş çeliklerin CBN takımlarla işleme proseslerinde uygun parametreleri belirlemektir. CBN kesici takımla sert çeliktornalama (alaşımli çelik 52 HRC) parametrelerini araştırmışlardır. Çalışmalarında takım aşınması ve kesme kuvveti yönü arasındaki ilişki analiz edilmiştir. Deney sonuçları, takımında kesme mesafesi ve yan yüzey aşınması arttıkça kesme kuvvetleri giderek arttığını göstermiştir. CBN kesici takımındaki aşınmanın doğrudan ve kayda değer bir şekilde yüzey kalitesini etkilemediği görülmüştür [13].

Bosheh ve Mativenga, yüksek kesme hızlarında CBN takımla DIN 1.2344 takım çeliğininin sert tormalanması esnasında beyaz tabaka oluşumu hakkında bir araştırma yapmışlardır. 54-56 HRC sertliğine getirilen çubuk malzemeler, 0,05 mm/dev ve 0,1 mm/dev ilerleme ve düşük kesme derinliğinde farklı kesme hızlarıyla deneyler yapılmıştır. CBN uçlar kullanılarak sertleştirilmiş takım çelikleri için tavsiye edilen kesme verileri (50 HRC sertlik ve üzeri için) 0,2-0,25 mm kesme derinliği, 0,1 mm/dev ilerleme ve 96-102 m/dk kesme hızı olarak belirlenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda, beyaz tabakanın hızlı ısıtma ve soğutma işlemlerinden kaynaklandığı belirlenmiştir. Ayrıca CBN takımlarla yüksek hızda işlemenin beyaz tabaka oluşumunu arttırabileceğini belirlemişlerdir [14].

V. Bushlyaa, J. Zhoua, J. E. Stähla, çalışmalarında Kesme hızı ve verimlilik açısından kaplanmamış ve kaplanmış PCBN takım ile süper alaşım Inconel 718 malzemesinin işlenebilirliğini, takım ömrü, takım aşınması ve yüzey kalitesi açısından incelemişlerdir. Kaplamalı PCBN kesicinin koruyucu işlevinin, düşük sınırlı kesme hızlarında takım ömrünü %20 kadar artırdığı tespit edilmiştir. 300 m/dk ve yukarıdaki kesme hızlarında kaplamalı kesicinin ömür açısından hiçbir yarar sağlamadığı görülmüştür. SEM - EDX ve AFM analizlerinde kimyasal ve fiziksel aşınma mekanizmaları tespit edilmiş, EDX analizi bulguları kimyasal aşınma mekanizmalarının takım ömründe baskın bir rol oynadığını göstermiştir. Atomik kuvvet mikroskopisinde PCBN kesicilerinde sürtünme aşınmasında da önemli bir rol oynadığını tespit etmişlerdir. İşlenmiş yüzeylerin kalıcı gerilim profilleri

değerlendirilmesinde avantajlı basınç yüzey gerilmelerinin oluşumunu göstermiştir. Kaplanmış PCBN kesicilerin, kaplanmamış olanlara kıyasla daha iyi yüzey basınç gerilimlerine sahip olduğu görülmüştür [15].

Asilturk ve Akkus, çalışmalarında kaplanmış karbür kesici aletlerle AISI 4140 (51 HRC) kuru tornalama işleminde kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliğiyüzey pürüzlülüğüne etkilerini araştırmışlardır. Deney sonuçlarıdailerleme hızının, yüzey pürüzlülüğü üzerinde en önemli etkiye sahip olduğu görülmüştür. Buna ek olarak, ilerleme- kesme hızı ve kesme derinliği - kesme hızı faktörleri arasında etkileşimin önemli olduğu belirtilmiştir [16].

Aouici, Yallese, Chaoui ve Mabrouki, %57 ve %35 TiCN kaplı CBN kullanarak AISI H11 (40, 45, 50 HRC sertleştirilmiş) çeliğin sert tornalanmasında yüzey pürüzlülüğü üzerinde kesme hızı, ilerleme hızı, iş parçası sertlik ve kesme derinliğinin etkilerini araştırmışlardır. Deney sonuçları ilerleme hızı ve iş parçası sertliğinin, yüzey pürüzlülüğüne anlamlı bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Bundan başka, en iyi yüzey pürüzlülüğü düşük ilerleme ve yüksek kesme hızında elde edilmiştir [17].

Chowdhury ve Dhar. , Kaplanmış karbür kesici kullanarak sertleştirilmiş orta karbon çeliği kuru ve Minimum Miktar Yağlama (MQL) ortamında tornalama işleminde kesme parametrelerini, takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğünü incelemişlerdir.Çalışma sonuçları MQL tekniği uygulaması önemli ölçüde kuru işleme göre kaplanmış karbür ucun daha iyi performans elde edilmesine yardımcı olduğunu belirtmişlerdir [18].

Thamizhmanii ve Hasan, CBN ve PCBN kesici takımların AISI 440C sert martenzitik paslanmaz çelik işlenmesi sırasında kesme kuvvetleri ve serbest yüzey aşınmasınadayalı performanslarını değerlendirmişlerdir. İşleme sırasında yüksek kesme kuvvetleri gözlemlenmiş ve bu yüksekliğin ısı ve serbest yüzey aşınma kombinasyonları nedeniyle olduğunu öne sürmüşlerdir. Buna ek olarak, aynı zamanda daha düşük kesme kuvvetlerinde düşük yanak aşınması, düşük yüzey pürüzlülüğü ve iyi boyutsal doğruluk sağlandığı görmüşlerdir [19].

Grzesik, Żak, Prazmowski, Storch ve Palka, Yaklaşık %60 CBN içeren CBN kesici takım kullanılarak  $57 \pm 2$  HRC sertliğe sahip düşük alaşımlı 41Cr4 çelik sert tornalamada yüzey bütünlüğü, kriyojenik soğutmanın etkisini araştırmışlardır. Bazı durumlarda, sert işleme olarak kabul edilebilir bir yüzey pürüzlülüğüne sahip yüzeyler ürettiğini teyit etmişlerdir. Beyaz tabaka oluşumu için uygun değilken kriyojenik sert kesme işlemleri kısmi durumlarda taşlama işlemleri ortadan kaldırılabılır görülmektedir [20].

Poulachon, Bandyopadhyay, Jawahir, Pheulpin ve Seguin, 54 HRC sertleştirilmiş çeliklerin (AISI D2 soğuk iş çeliği, AISI H11 sıcak iş çeliği, 35NiCrMo16 sıcak iş çeliği ve AISI 52100 rulman çeliği) finiş tornalamada CBN kesicilerin takım aşınma mekanizmaları incelenmiştir. Bu çeliklerin işlenmesinde takım aşınma oranlarında büyük bir değişim gözlemlenmiştir. Kesici takımın yanaktaki oluk-çentik aşınmasının parçaların sert karbür içeriği ile ilişkili olduğu bulunmuştur. Buna ek olarak, kesici takımlarda kimyasal yapışma aşınması ve krater aşınması oluşmuştur [21].

Lin, Liao ve Wei, TiC bazlı bağlayıcı ve sırasıyla %50 ve %45 CBN içeren CBN kesici takım ile AISI4340 alaşımlı çeliklerin farklı kesme hızlarda tornalamasında takım aşınma mekanizmalarını incelemişlerdir. Yüksek kesme kuvveti, düşük kesme hızında, kesicide özellikle abrazyon aşınması oluşmuştur. Yaptıkları çalışmada kesme hızı arttığı zaman, talaş-kesici arayüzünde kesici bağ malzemesinin, difüzyon sonucu, bir koruyucu tabaka oluşumunu ortaya çıkarmıştır. Oluşan Katman, bir difüzyon bariyeri olarak takım aşınma oranını azaltarak CBN kesici ömrünü uzatmaktadır. Yüksek kesme hızında, kayma geriliminin sebep olduğu yüksek sıcaklık ve homojen olmayan kesme kuvveti baskın faktör olmuştur. Talaş-kesici teması sürtünme kuvvetini artırmış, kesici üzerindeki koruyucu tabakanın çıkmasına neden olduğunu ve takım ömrünün azaldığını açıklamışlardır [22].

More, Jiang, Brown ve Malshe, AISI 4340 sertleştirilmiş çeliğin tornada CBN-TiN kaplamalı karbür uçlar ve PCBN kompakt uçlar ile takım aşınması ve işleme performansını incelemişlerdir. Takımdaki yan yüzey aşınmasının sertleştirilmiş alaşımlı sertleştirilmiş AISI 4340 ç. CBN-TiN kaplanmış takımların krater aşınması daha az olduğu tespit edilmiş, CBN-TiN kaplamada çeliğin mevcut olan martenzit



yapısının aşındırıcı eyleminden kaynaklandığını açıklamışlardır TİN kaplama tabakasının PCBN ye göre kaygan yüzey oluşturduğunu açıklamışlardır [23].

Panzer, Souza, Rubio, Abraove Mansur, AISI 4340 çeliğinin, kaplanmış karbür uçlar kullanarak kuru tornalamada kesme kuvvetine, kesme parametrelerinin (kesme hızı, ilerleme hızı ve talaş derinliği) etkisini araştırmışlardır. Çalışmalarının sonuçları kesme hızı artırıldığında kesme kuvvetinin azaldığı, ilerleme ve kesme derinliği ile doğrusal olarak arttığını belirtmişlerdir. Ayrıca, Varyans (ANOVA) analizi sonuçları kesme kuvvetinin kesme hızından önemli derecede etkilenmediğini ancak önemli ölçüde ilerleme hızı ve kesme derinliğinden etkilendiğini ortaya koymuştur [24].

Aouici, Yallese, Fnides ve Mabrouki, 50 HRC sertleştirilmiş AISI H11 çeliğin CBN (%57 CBN ve 35% Ti (C, N)) takım kullanarak tornalama esnasında kesme bölgesinde kuvvet bileşenleri, yüzey pürüzlülüğü, kesme sıcaklığına (Kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliği) kesme parametrelerinin etkisini ve takım ömrünü araştırmışlardır. Çalışma sonucunda teğetsel kuvvetin (esas kesme kuvveti) kesme derinliği varyasyonlarında çok hassas olduğunu, paralel kuvvetinin (İlerleme kuvveti), kesme kuvvetleri arasında baskın olduğunu, yüzey pürüzlülüğünün ilerleme hızı varyasyonlarında çok duyarlı olduğunu, kesme sıcaklığının kesme hızından etkilendiğini açıklamışlardır [25].

Umbrello vd., sertleştirilmiş AISI 52100 rulman çeliğinin, oluklu CBN takım kullanarak dik işlemede yüzey bütünlüğü üzerine kriyojenik (düşük sıcaklıklarda) soğutma sisteminin etkileri araştırılmıştır. Çalışma sonuçları çok düşük sıcaklıkta soğutma sıvısı kullanımının önemli ölçüde yüzey kalitesini etkilediğini ve fonksiyonel performansı artırdığını belirtmişlerdir [26].

Islam, farklı malzemeler için (alüminyum (6061 AISI), yumuşak çelik (AISI 1030) ve alaşımlı çelik (AISI 4340), boyutsal doğruluk özellikleri (çap hatası ve dairesellik), tornalama şartlarında (kuru, ıslak ve MQL) işlenen parçaların yüzey pürüzlülükleri incelenmiştir. Sonuçlar Geleneksel analiz, Pareto ANOVA ve Taguchi metodu uygulanarak analiz edilmiştir. Farklı soğutma yöntemleri, deney parçalarının boyutsal doğruluk özellikleri üzerinde önemli etkiler göstermiş, yüzey pürüzlülüğüne etkisi ise

nispeten düşüktür. Çap hatası ve dairesellik için katkı sağlamıştır. Farklı çalışma malzemelerinde yüzey pürüzlülüğü ve boyutsal değerlerin farklı soğutma yöntemlerinden etkilendiği ve çoğu durumda, en iyi sonuç MQL ile elde edilmiştir [27].

Abhang ve Hameedullah, EN-31 çeliğin tornalanmasında çoklu performans özellikleri için (yüzey pürüzlülüğü ve talaş kalınlığı) için (kesme hızı, ilerleme, takım ucu yarıçapı ve kuru-sıvı-MQL kesme) optimum kesme parametrelerini tespiti için Grey Relational Analysis (GRY) kullanarak faktöryel tasarım ile birleştirilmiştir. Faktöryel tasarım ile birleştğinde Grey Relational Analysis (GRY)'in etkili kesme parametrelerinin optimal bileşimini elde etmek için kullanılabileceği sonucuna varıldı. Ek olarak, yüzey pürüzlülüğü ve tornalama işleminde talaş kalınlığı bu yaklaşımla etkili bir şekilde geliştirileceği gözlemlenmiştir. Minimum yüzey pürüzlülüğü optimum şartlarda: 1200 rpm kesme hızı, 0.06 mm/dev ilerleme, 0,8 kesici radüsü, yağlayıcı konsantrasyonunun % 10 Borik asit + SAE-40 baz yağı ile elde edilmiş ve küçük talaş kalınlığı, sırasıyla 9.83µm ve 0.32 mm bulunmuştur [28].

Deepakkumar ve Sadaiah, CBN kesici takım kullanarak AISI 4340 çeliğin tornalanması esnasında kesme hızı, ilerleme hızı ve yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması, farklı kesme ortamlarında (kuru, ıslak, ve MQL) etkileri araştırmışlardır. Kesme parametrelerinin etkisi incelenmiş ve ANOVA tekniği kullanılarak optimum koşullar belirlenmiştir. Kesme hızı arttırıldığında Düşük Radeğerlerini ve ilerleme hızı arttırdığında Ra değerlerinin arttığını görmüşlerdir. Ayrıca, 1.2 ve 1.1µm olarak kuru ve ıslak tornalama için Ra değeri gözlemlenmiştir. MQL tornalama işleminde ise, Ra değeri 0,9 µm oluşmuştur. Çalışmanın sonuçları göstermektedir ki kesme hızı ve ilerleme hızı artışı, takım aşınma değerlerini arttırmaktadır [29].

Hwang ve Lee, AISI 1045 çeliğin kaplanmış karbür uçlar kullanarak, MQL ve ıslak tornalama şartlarında (Nozül hızı, kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği) kesme parametrelerinin kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisi incelenmiştir. Kesme kuvveti üzerinde kesme hızı ve kesme derinliğinin etkisinin olduğunu, bu nedenle işlenebilirliğin kesme parametrelerinin optimal kombinasyonuna bağlı olarak farklılık göstereceğini, çünkü kesme koşullarının net bir şekilde standart altında

ayarlanması gerektiğini açıklamışlardır. Ayrıca, kesme hızı ve talaş derinliğinin MQL tornalamada yüzey pürüzlülüğü üzerinde ters etkileri görülmüş ve ıslak tornalamaya göre daha iyi yüzey pürüzlülüğü elde etmişlerdir. MQL tornalamasının ıslak tornalamaya göre daha fazla avantaj sağladığını gözlemlemişlerdir [30].

Yallese, Chaoui, Zeghib, Boulanouar ve Rigal, temperlenmiş 100Cr6 rulman çeliğinin sert tornalama sırasında CBN kesici takımın işleme performansını araştırmışlardır. 90 ile 220 m/dk değişen kesme hızları arasında CBN7020-100Cr6 için en çok ilgi çeken kesme koşullarının olduğunu gözlemlemişlerdir. Ancak, 280 m/dk üstündeki kesme hızlarında işleme şartları sonuçlarının kararsız hale geldiğini ve işlemenin sadece birkaç dakika sonra önemli kıvılcımlar ve titreşimler oluşturduğunu açıklamışlardır. Çalışmalarında, 120 m/dk kesme hızında 0,4 mm'nin altında kabul edilebilir bir yan yüzey aşınması ile optimum verimlilik elde etmişlerdir [31].

Chou vd., yapmış oldukları çalışmada ise; içeriğinde farklı oranlarda CBN içeren kesici takımların AISI 52100 çeliğinin tornalanması işleminde aşınma performanslarını araştırmışlardır. Elde edilen sonuçlar neticesinde düşük oranlı CBN içerikli kesici takım mekanik özelliklerine rağmen CBN oranı fazla kesici takımdan daha iyi bir aşınma performansı göstermiştir. CBN oranı fazla olan kesici takımda yüksek olan kesme sıcaklığı ile ilişkili olarak termal aşınmanın hızlı bir şekilde gerçekleştiği görülmüştür [32].

Chavoshi ve Tajdari, yapmış oldukları çalışmalarında AISI 4140 çeliğini CBN (Cubic Boron Nitride) kesici uçla sabit ilerleme ve talaş derinliği değerlerinde sertlik (H) ve kesme hızı değişkenleriyle sert tornalama işlemine tabi tutmuşlardır. İşlem sonucu ölçümünü gerçekleştirdikleri Ra değerinin değişimini gözlemlemişlerdir. Toplamda on sekiz deney yapmışlar. Regresyon ve Yapay Sinir Ağı (YSA) yöntemleriyle yüzey pürüzlülüğünü tahmin etmişlerdir. Sonuç olarak kesme hızı tahmini istenilen doğrulukta fakat sertlik tahmininin doğruluğu kabul edilebilir bulmuşlardır. Sertliğin yüzey pürüzlülüğü üzerinde önemli etkiye sahip olduğunu ortaya koymuşlardır [33].

Mithu ve ark.'ın araştırmasında AISI-1040 çeliğinin farklı kesme hızı-ilerleme koşullarında kaplanmamış karbür takımlarla tornalanmasında MQL (Minimum

Quantity of Lubrication)' in kesme sıcaklığı, talaş formu, yüzey kalitesi üzerindeki etkisini deneyselincelemelerle ilgilidir. Sonuçlar kuru işleme ve soğutucu olarakçözünebilir yağın kullanıldığı kesme şartları ile karşılaştırılmıştır. Deneyler sonucunda MQL kesme sıcaklığında veölçü sapmasında önemli düşüşler gözlemlenmiştir. Talaş formu ve talaş-takım üzerindeki etkisi MQL koşulu altında daha verimli sonuçlar elde edilmiştir. MQL'in işlenebilirlik açısından parametre değerlerinde önemli etkiye sahip olduğu görülmüştür [34].

Dhar ve ark. araştırmalarında MQL (Minimum Quantity of Lubrication)'deki son işleme ve ölçü nominal değerlerindeki sapma ve tolerans aralığında sapmaların iyileşmesinin takım ucundaki aşınma ve deformasyonun düşürülmesine bağlıolduğu ispatlamıştır. Takım aşınmasındaki bu MQL ile iyileşmesi takım ömrü, yüksekkesme hızı ve ilerlemeye imkan vererek, verimliliği artırmıştır. MQL kesme sırasında sıcaklık düşüşü ile takım-talaş ve iş-takım ara yüzeylerinde iyileşme, kesici ağızda yığılma, aşınmada, sürtünmede ve deney parçalarında termal etkilerde azalma görülmüştür [35].

Rahman ve ark. çalışmalarında, AISI 9310 çeliğinin farklı kesme ve ilerlemehızları altında minimum miktarda yağlamanın, kesici ve talaş kesiti arasındaki sıcaklık üzerinde durmuşlardır. Kesici ve takım arasındaki sıcaklıklar, ıslak, kuru veMQL (Minimum Quantity of Lubrication) koşulları gibi üç farklı soğutma şartları için karşılaştırılmıştır. Üretim parametrelerine bakarak, daha uygun soğutma için MQL kesme şartları belirlenmiştir. Minimum miktarda yağlama, yağ ve hava birlikte uygulanmıştır. MQL tornalama, ıslak ve kuru tornalamaya göre daha verimli sonuç gözlenmiştir. Araştırmadaki deney sonuçlarına göre ilerleme ve kesme hızının yükseltilmesi, talaş ile kesici arasındaki sıcaklığı yükseltmektedir.

Kesici ile talaş arasındaki sıcaklık MQL için ıslak ve kuru işleme şartlarına göre daha düşükdeğerler ortaya çıkmıştır. MQL'nin intizamlı olmamasından dolayı değişen parametreler, ortalama arayüz sıcaklık oranındaki değişim yüzdesini azaltmaktadır. Yüksek kesme hızları MQL'in etkisini azaltmakta, buna rağmen kuru ve ıslak ortamlara göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Bu nedenle, kesici ile talaş arasında MQL uygulaması, yukarıda belirtilen işlenebilirlik özellikleri, verimlilik, yüzey kalitesi ve maliyet açısından önemli sonuçlar elde edildiği görülmüştür [36].

Dogra, Sharma, Sachdeva, Suri ve Dureja, sertleştirilmiş AISI H11 çelik (48-49 HRC) finiş tornalama sırasında kaplanmış karbür ve kriyojenik (çok düşük sıcaklıklarda soğutma) kaplamalı/kaplamasız karbür uçlar ile CBN kesici uçların performansı arasında yapılan karşılaştırmada, CBN kesici takımların yan yüzey aşınma durumunun daha düşük olduğunu göstermiştir [37].

Pardeep Kumar ve S. R. Chauhan, çalışmalarında AISI H13 kalıp takım çeliğinin CBN uçlar ile 45-55 HRC aralığında sertleştirilmiş iş parçasının finiş tornalamada kesme kuvvetleri ( $F_c$  ve  $F_t$ ), yüzey pürüzlülüğü ( $R_a$ ), kesici kenar sıcaklık ( $T$ ) işleme parametrelerinin etkilerini araştırmışlardır. Bu çalışmalarında öncelikle kesme kuvvetlerinin, iş parçası malzemesinin sertliğinden etkilendiğini bildirmişlerdir. İş malzemesi sertliği, ilerleme hızı ve talaş derinliği kesme kuvvetleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlıdır. Kesme hızının, kesme kuvvetleri üzerinde en az etkiye sahip olduğunu, ayrıca, iş parçası sertliği, ilerleme hızı ve kesme derinliğinin artması ile kesme kuvvetlerinin arttığını belirtmişlerdir. Çalışma malzemesinin sertlik artışının daha iyi yüzey pürüzlülüğü ve kesici uç sıcaklığında artış olduğunu açıklamışlardır. Ayrıca, optimum parametreler, arzu edilen fonksiyon yaklaşımı kullanarak çoklu-tepki optimizasyon tekniği ile elde edilebileceğini açıklamışlardır [38].

## BÖLÜM 3

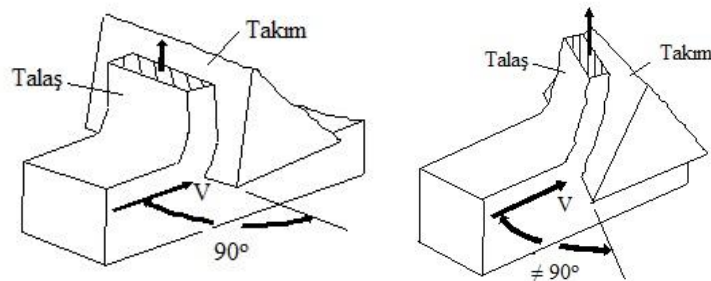
### METAL KESME VE İŞLENEBİLİRLİK

#### 3.1. METAL KESME VE TORNALAMA

İşleme veya şekillendirme, iş parçası malzemelerinin çeşitli kesici takımlarla işlenmesi, imalat sanayinde çok yönlü süreçlerden biridir. İşleme, gerekli şekli elde etmek için bir iş parçası için bir malzeme üzerinden talaş kaldırma olarak tanımlanır. Çeşitli şekillerdeki iş parçaları talaşlı imalat ile üretilebilmektedir [39].

Metal kesme işlemi, istenilen malzemelerden, istenen boyutta ve doğrulukta bitmiş parçalar üretmek için, malzeme üzerinden talaş kaldırılmasıdır. Metal kesme, mekanik işleme ile talaş oluşma sürecinde, kesici takım, iş parçası, talaş arasında sürtünmeyle ve ısıyla plastik deformasyona dönüştürülen, doğrusal olmayan ve birleştirilmiş termomekanik bir süreçtir [40].

İşleme operasyonu dik ve eğik kesme iki gruba ayrılabilir. Dikey kesme işleminde, iş ilerleme yönü ve kesici takım kesme kenarı birbirine göre diktir. Şekil 3.1’de dik ve eğik kesme arasındaki farkı göstermektedir.

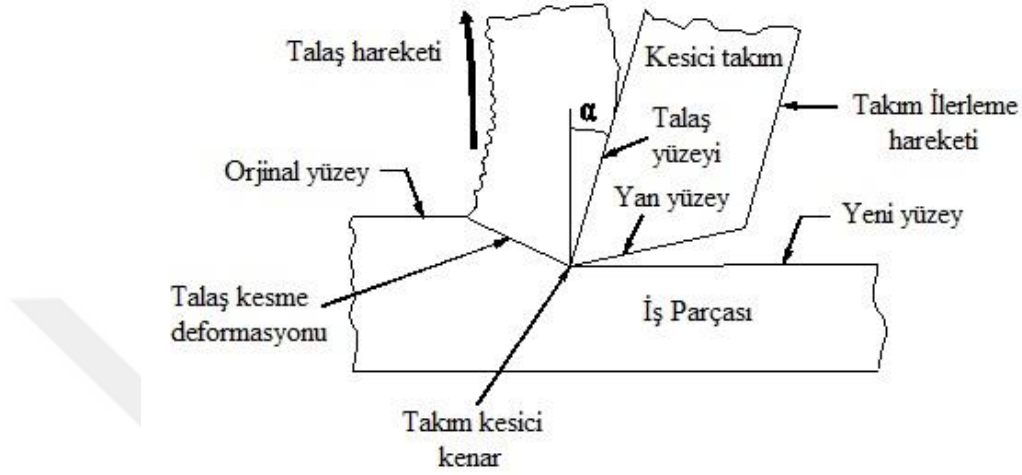


a) Dikey Kesme işlemi

b) Eğik kesme

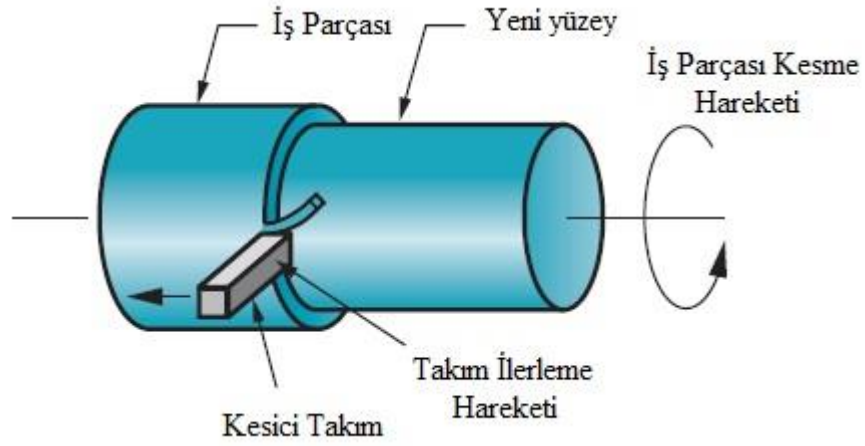
Şekil 3.1. Kesme çeşitleri [41].

Makine ile işlemede baskın kesme eylemi, çalışma materyalinden kopma deformasyonunu içerir ve talaş kaldırılarak, yeni bir yüzey elde edilir. Makine ile işleme genellikle döküm veya dökme ile elde edilen diğer üretim süreçleri sonrası gerçekleştirilir. Kesme işleminin, enine kesitsel görünüşü Şekil 3.2’gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Kesme işleminin, enine kesit görünüşü [42].

Tornalama işleminde genellikle silindirik yüzeyler işlenir. Bu tür bir işlem için kullanılan imalat makinesine, torna adı verilir [41]. Tornalama, tek bir kesici kenarı olan bir kesici takım ile silindirik bir şekil oluşturmak için dönen bir iş parçasından talaş kaldırmak için kullanılır. Tornalamada iş parçası kesme hareketi dönen parça tarafından sağlanır ve ilerleme hareketi, parçanın dönme eksenine paralel bir yönde yavaş hareket eden kesici takım ile elde edilmektedir. Tornalama döküm, dövme, ekstrüzyon veya taslak olarak oluşturulan parçaların daha iyi bir yüzey kalitesi elde etmek için ikinci bir işlem olarak kullanılır. Tornalama süreci Şekil 3.3’de gösterilmektedir.

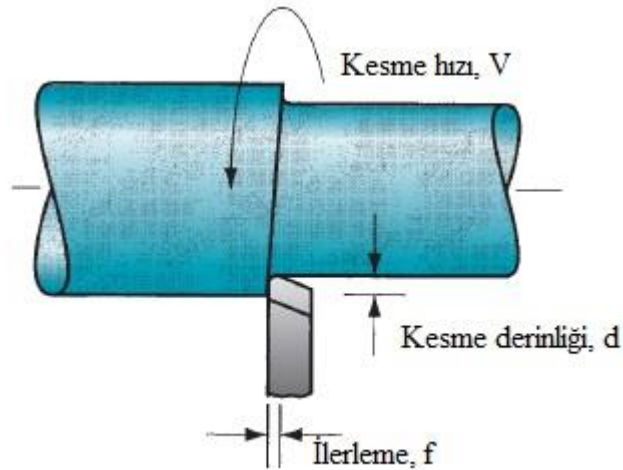


Şekil 3.3. Tornalama süreci, ilerleme ve kesme hareketi [42].

Bağıl hareket, bir işleme işlemi gerçekleştirmek için kesici takım ve iş parçası arasında gereklidir. Birinci hareket belli bir kesme hızı  $V$  olarak gerçekleştirilir. Ayrıca, takım çalışması boyunca yanal hareket ettirilmelidir. Bu ilerleme  $f$  adlı, çok daha yavaş bir harekettir. İşleme, kesme derinliği  $d$  olarak verilir. Bu parametreler malzeme kaldırma oranını hesaplamak için kullanılabilir.

$$R_{MR} = vfd \quad (3.1)$$

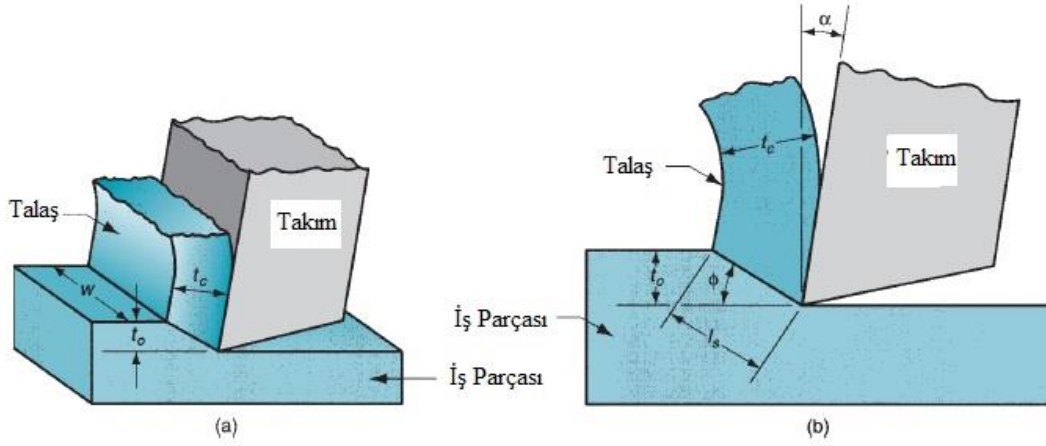
- $R_{MR}$  : Malzeme kaldırma oranı ( $\text{mm}^3/\text{sn}$ )
- $V$  : Kesme hızı ( $\text{m/dk}$ ) -  $\text{mm/sn}$  çevrilmelidir.
- $f$  : İlerleme ( $\text{mm/dev}$ )
- $d$  : Kesme derinliği ( $\text{mm}$ )



Şekil 3.4. Tornalama operasyonunda, kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği [42].



### 3.1.1. Dik Kesme Modeli



Şekil 3.5. Dikey kesme, a) üç boyut, b) iki boyut görünümü [42].

Dikey kesme tanım olarak, kesici kenarın kesme hızı yönüne dik olan bir köşe şekilli kesici takımın kullanılmasıdır. Kesici takım malzemeye doğru itilir, talaş iş yüzeyine  $\phi$  bir açı ile yönlendirilerek, kayma düzlemi denen bir düzlemde, ortaya çıkan kayma deformasyonu ile oluşmaktadır. Sadece aracın keskin kesme kenarının malzemeye batması ile malzemeden talaş ayrılması ile meydana gelir.

Dikey kesme aracı geometrisinin yalnızca iki ögesi vardır: (1) eğim açısı ve (2) boşluk açısıdır. Eğim açısı talaş akma yönünü belirler, boşluk açısı ise kesici yan yüzey ve yeni oluşturulan çalışma yüzeyi arasında küçük bir açıklık sağlar. Kesme esnasında, orijinal iş yüzeyi ile kesici takım kenarı belli bir mesafe altında konumlandırılmıştır. Bu talaş oluşumunda,  $t_o$  önce talaş kalınlığına karşılık gelir. Talaş kayma düzlemi boyunca kalınlığı artar  $t_c$ 'yi oluşturur.  $t_o$ 'ın  $t_c$  oranı talaş kalınlığı oranı olarak adlandırılan (veya basitçe talaş oranı)  $r$  :

$$r = t_o / t_c \quad (3.2)$$

olarak ifade edilir.

Kesme sonrasında talaş kalınlığı  $t_c$  kesme işleminden önceki kalınlık  $t_o$  her zaman daha büyük olduğu için, talaş oranı, her zaman 1'den az olacaktır. Dikey kesme modeli geometrisi bize talaş kalınlığı oranı, eğim açısı ve kayma düzlemi açısı arasındaki önemli bir ilişki kurmak için izin verir.  $l_s$  kayma düzlemi uzunluğu olsun.

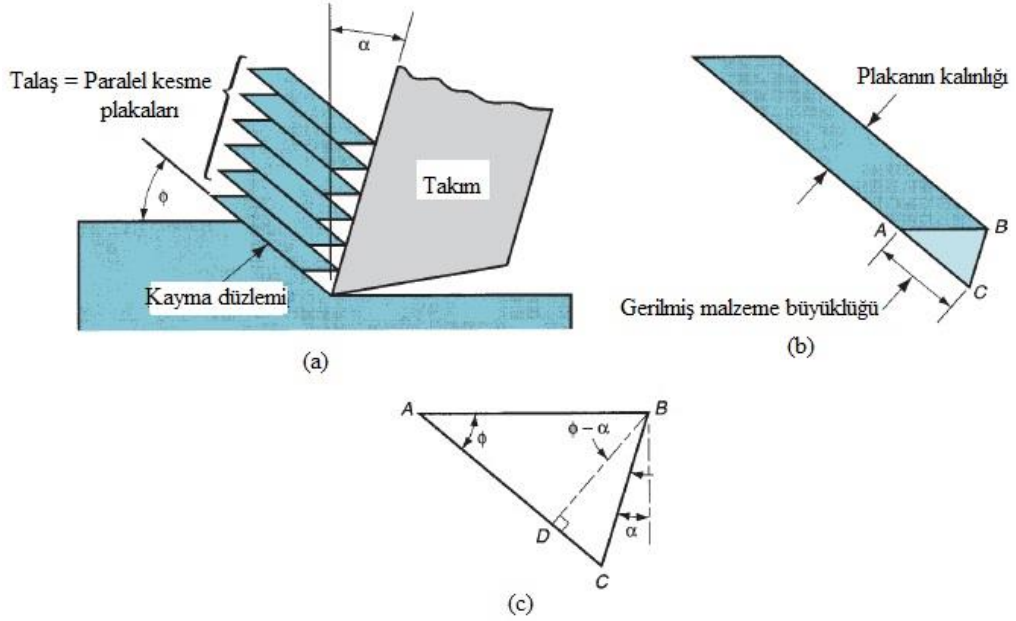
$$t_o = l_s \cdot \sin \phi \quad \text{ve} \quad t_c = l_s \cdot \cos (\phi - \alpha)$$

$$r = \frac{l_s \cdot \sin \phi}{l_s \cdot \cos (\phi - \alpha)} = \frac{\sin \phi}{\cos (\phi - \alpha)}$$

aşağıdaki gibi  $\phi$  belirlemek için yeniden düzenlendiğinde :

$$\tan \phi = \frac{r \cos \alpha}{1 - r \sin \alpha} \quad (3.3)$$

Kayma düzlemi boyunca oluşan kayma gerilimi incelenerek tahmin edilebilir. Şekil 3.6. (a) Talaş oluşturmak üzere birbirine göre kaymakta olan paralel plakalaryaklaşık dizi olarak kesme deformasyonunu gösterir.



Şekil 3.6. Talaş oluşumu sırasında kayma şekli: a) talaş oluşumu birbirine göre kayan paralel plakalar bir dizi olarak gösterilmiştir; b) paralel plaka modeline göre, plakalardan birinde gerilmiş malzeme büyüklüğü gösterilmiştir ve c) üçgen kayma şekli 3.4 eşitliğini türetmek için kullanılır [42].

Her bir plaka, Şekil 3.6 (b) 'de gösterilen bir kesme gerilmesine maruz kalır. (c)'ye bakıldığında aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\gamma = \frac{AC}{BD} = \frac{AD + DC}{BD}$$

Metal kesmede, kesme gerilmesinin, aşağıdaki tanıma indirgenebilir :

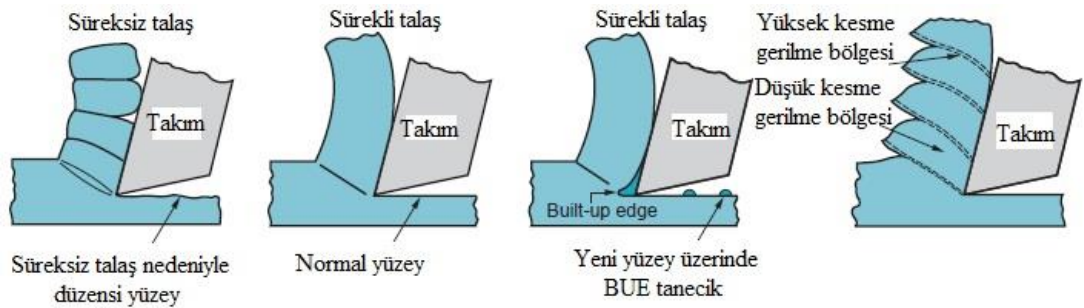
$$\gamma = \tan(\phi - \alpha) + \cot \phi \quad (3.4)$$

### 3.1.2. Talaş Oluşumu

Talaşlı imalat işleminde iş parçasını (yarı mamul; döküm, dövülmüş, haddelenmiş) istenilen geometriye getirmek için üzerindeki fazlalıklar uygun takım tezgâhı (torna, freze, matkap) ve kesici takım kullanılarak talaşlar şeklinde uzaklaştırılıp, istenilen boyutlar ve yüzey kalitesi sağlanır. İş parçası metal olduğu zaman işlem metal kesme olarak da isimlendirilir. Talaşlı imalat işleminde etkin olan kesme hareketi, iş parçasının kesici takım önündeki plastik deformasyonunu ve deforme olan bu katmanın talaşa dönüşmesini gerektirir [43].

Metal kesmede talaş oluşumu, kesici takım ile  $\phi$  bir açıda kayma düzlemi oluşur. Bu kayma açısı olarak bilinir. Şekil 3.7’de metal kesme sırasında talaş oluşum mekanizmasını göstermektedir.

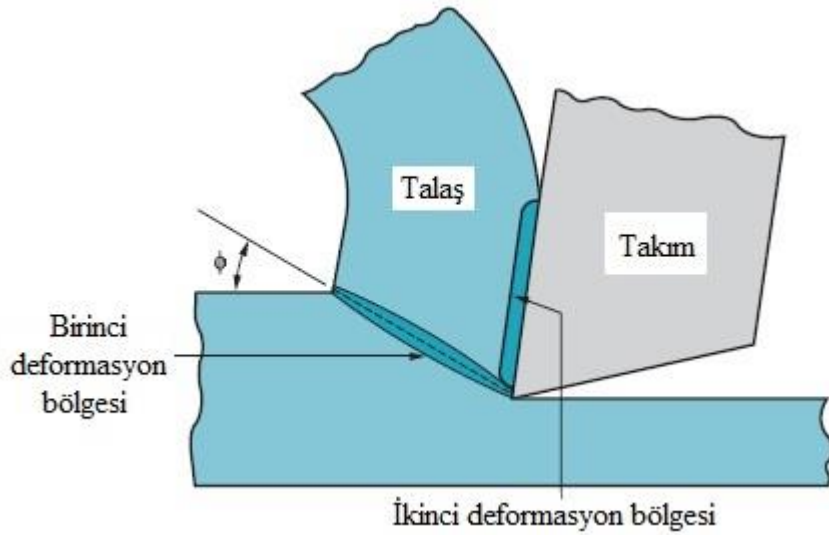
Farklı metal kesme şartlarında talaş oluşumu birkaç kategoride sınıflandırılabilir. İş parçası malzemesi ve kesme koşulu, işleme sırasında oluşan talaş türünü etkileyecektir. Yüzey kalitesi ve kesme işlemi önemli ölçüde üretilen talaştan etkilenmektedir. Metal kesimi sırasında üretilen talaş çeşitleri sürekli talaş, süreksiz talaş, tırtıklı talaş ve kesici kenarda yığılma (BUE) birlikte sürekli talaştır.



Şekil 3.7. Metal kesmede talaş oluşumu dört çeşit: a) süreksiz, b) sürekli, c) sürekli built-up BUE, d) tırtıklı [42].

İlk olarak, kesme deformasyonu bir süreç bir düzlem boyunca ortaya çıkabilir, ancak bir bölgede değildir. İşlemede kesme deformasyon sürecinin Thismore gerçekçi modeli Şekil 3.8’de gösterilmektedir. Malzeme gerçekçi bir şekilde yaklaşmak için, kayma deformasyonu ince bir kesme bölgesi içinde gerçekleşmesi gerekir. Metal kesme deneyleri kesme bölgesinin kalınlığını, bir inçin birkaç binde biri olduğunu göstermiştir. Kesme bölgesi çok ince olduğu için, bir düzlem diye söz edildiği durumda, doğruluğundan büyük bir kayıp söz konusu değildir.

İkinci kesme bölgesinde kayma deformasyonu meydana gelir, oluşan ilave kesme hareketiyle talaş oluşur. Talaş, takımın eğimli yüzey boyunca, sürtünme ile birlikte kayarak uzaklaşmasıyla ikinci kesme son bulur.



Şekil 3.8. Kesme deformasyon sürecinin Thismore gerçekçi modeli [42].

### 3.2. KESME KUVVETLERİ

Kesici takım tarafından talaşa karşı uygulanan kuvvetler, karşılıklı olarak dik bileşenler halinde ayrılabilir. Sürtünme kuvveti,  $F$  aracının talaş yüzü boyunca talaş akışını direnen sürtünme kuvveti olduğunu, Sürtünme  $N$  normal kuvvet, sürtünme kuvvetine diktir. Bu iki bileşen, takım ve talaş arasındaki sürtünme katsayısını belirlemek için kullanılabilir :

$$\mu = \frac{F}{N} \quad (3.5)$$

Sürtünme kuvveti ve normal kuvvet bileşkesini oluşturmak için vektörel kuvvet eklenebilir. Yaptığı açıya  $\beta$  sürtünme açısı denir. Sürtünme açısı, sürtünme katsayısıyla ilişkilidir :

$$\mu = \tan\beta \quad (3.6)$$

Kesme kuvveti ve normal kesme kuvveti: talaş üzerindeki takıma etki eden kuvvetlere ek olarak, iş parçası tarafından uygulanan iki kuvvet bileşeni vardır. Kesme kuvveti  $F_s$ , kesme düzleminde, kesme deformasyona neden olan güçtür.  $F_n$  normal kesme kuvveti, kesme kuvvetine diktir. Kesme kuvvetine dayanarak, kayma düzlemi boyunca hareket eden kayma gerilmesi tanımlanabilir.

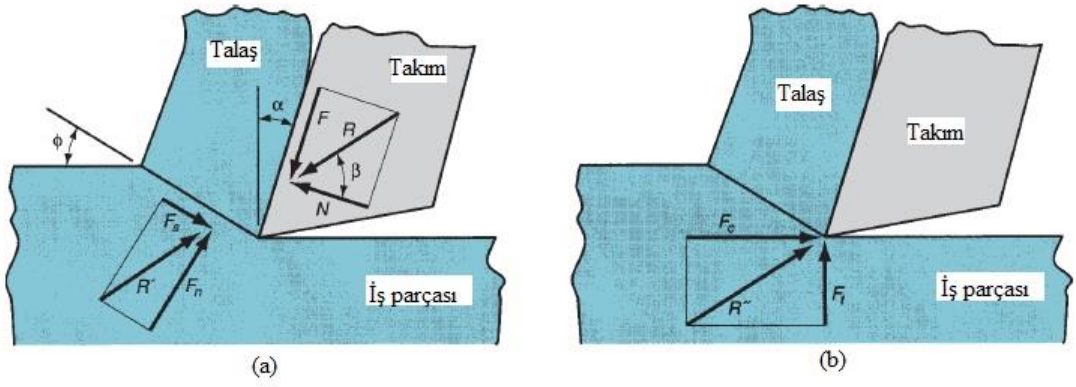
$$\tau = \frac{F_s}{A_s} \quad (3.7)$$

Burada,  $A_s$ = kayma düzlemi alanı :

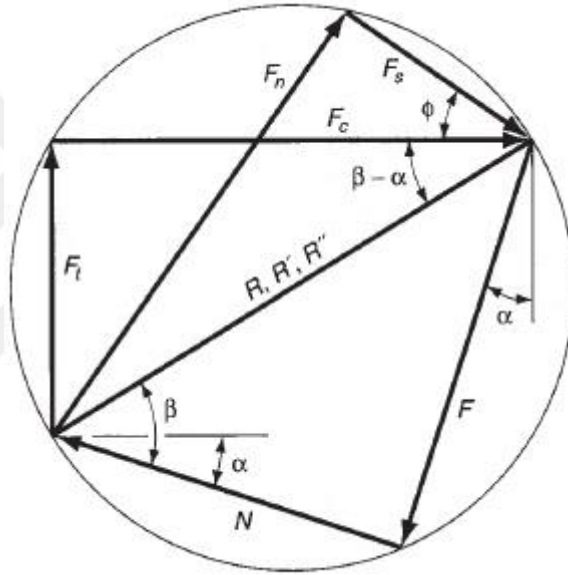
$$A_s = \frac{t_o w}{\sin\phi} \quad (3.8)$$

(3.7) Denklem kayma gerilmesi. İşleme işlemi gerçekleştirmek için gerekli olan kayma gerilim düzeyini temsil eder. Bu nedenle, bu kayma gerilimi kesme meydana geldiği koşullarda çalışma malzemesinin kesme mukavemetine eşittir ( $\tau = S$ ).

Vektörel iki kuvvet bileşenleri  $F_s$  ve  $F_n$ , bileşke kuvvet  $R'$  verir. Talaş üzerine etki eden kuvvetlerin dengede olması için, bu elde edilen  $R'$  ve elde edilen  $R$ , büyüklük olarak eşittir ters yönde ve eşdoğrusal olması gerekir.



Şekil 3.9. Metal kesmede kuvvetler: a) dik kesmede talaş yönünde hareket ile oluşan kuvvetler ve b) kesici takıma etki eden kuvvetler [42].



Şekil 3.10.  $F$ ,  $N$ ,  $F_s$ ,  $F_n$ ,  $F_c$  ve  $F_t$  arasındaki geometrik ilişkileri gösteren kuvvet diyagramı [42].

Uygulanan kuvvetler farklı takım geometrileri ve kesme koşullarına göre değişir, çünkü dört kuvvet bileşenleri  $K$ ,  $N$ ,  $F_s$  ve  $F_n$  mevcut bir işleme işleminde ölçülebilir. Kesme kuvveti ve itme kuvveti (b) birlikte bileşke kuvvet  $R''$  Şekil 3.9'da gösterilmektedir. Kesme kuvveti  $F_c$  kesme yönünde, kesme hızı  $V$  ve itme kuvveti  $F_t$  aynı yönde kesme kuvvetine diktir ve kesme öncesi talaş kalınlığı ile ilişkilidir. Denklemler dört kuvvet bileşenleri ilişkilendirilerek türetilebilir. Şekil 3.10 kuvvet diyagramı kullanarak aşağıdaki trigonometrik ilişkiler elde edilebilir [42]:

$$F = F_c \sin \alpha + F_t \cos \alpha \quad (3.9)$$

$$N = F_c \cos \alpha - F_t \sin \alpha \quad (3.10)$$

$$F_s = F_c \cos \phi - F_t \sin \phi \quad (3.11)$$

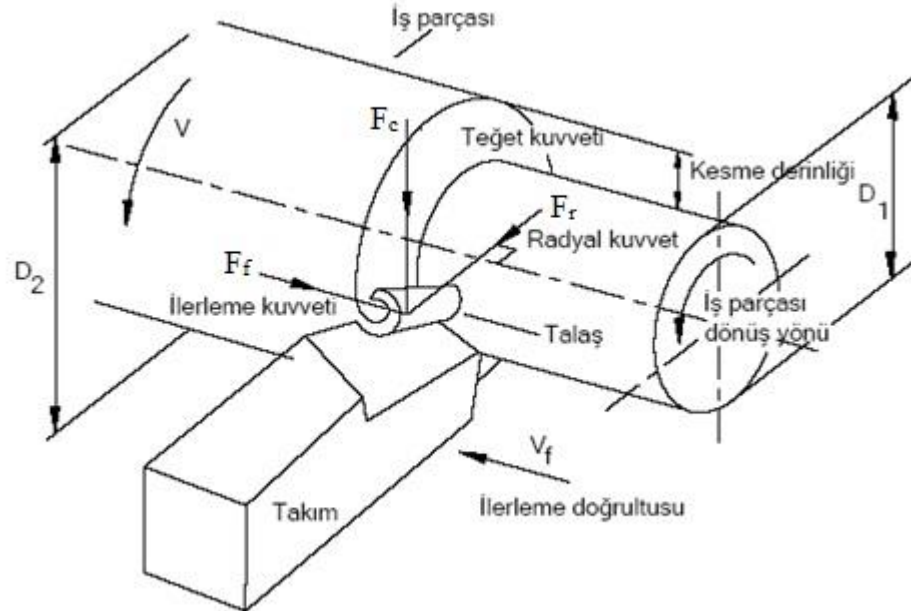
$$F_n = F_c \sin \phi + F_t \cos \phi \quad (3.12)$$

Denklemden (3.7) gelen kesme kuvveti  $F_s = S.A$ 'dan Şekil 3.10 kuvvet diyagramı aşağıdaki denklemleri elde etmek için kullanıldığında :

$$F_c = \frac{S_t w \cos(\beta - \alpha)}{\sin \phi \cos(\phi + \beta - \alpha)} = \frac{F_s \cos(\beta - \alpha)}{\cos(\phi + \beta - \alpha)} \quad (3.13)$$

$$F_t = \frac{S_t w \sin(\beta - \alpha)}{\sin \phi \cos(\phi + \beta - \alpha)} = \frac{F_s \sin(\beta - \alpha)}{\cos(\phi + \beta - \alpha)} \quad (3.14)$$

Tornalama işlemi esnasında oluşan kuvvetler Şekil 3.11'de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Tornalama işleminde kesme kuvvetleri.

Tornalamada kesme kuvvetinin üç bileşeni mevcuttur:

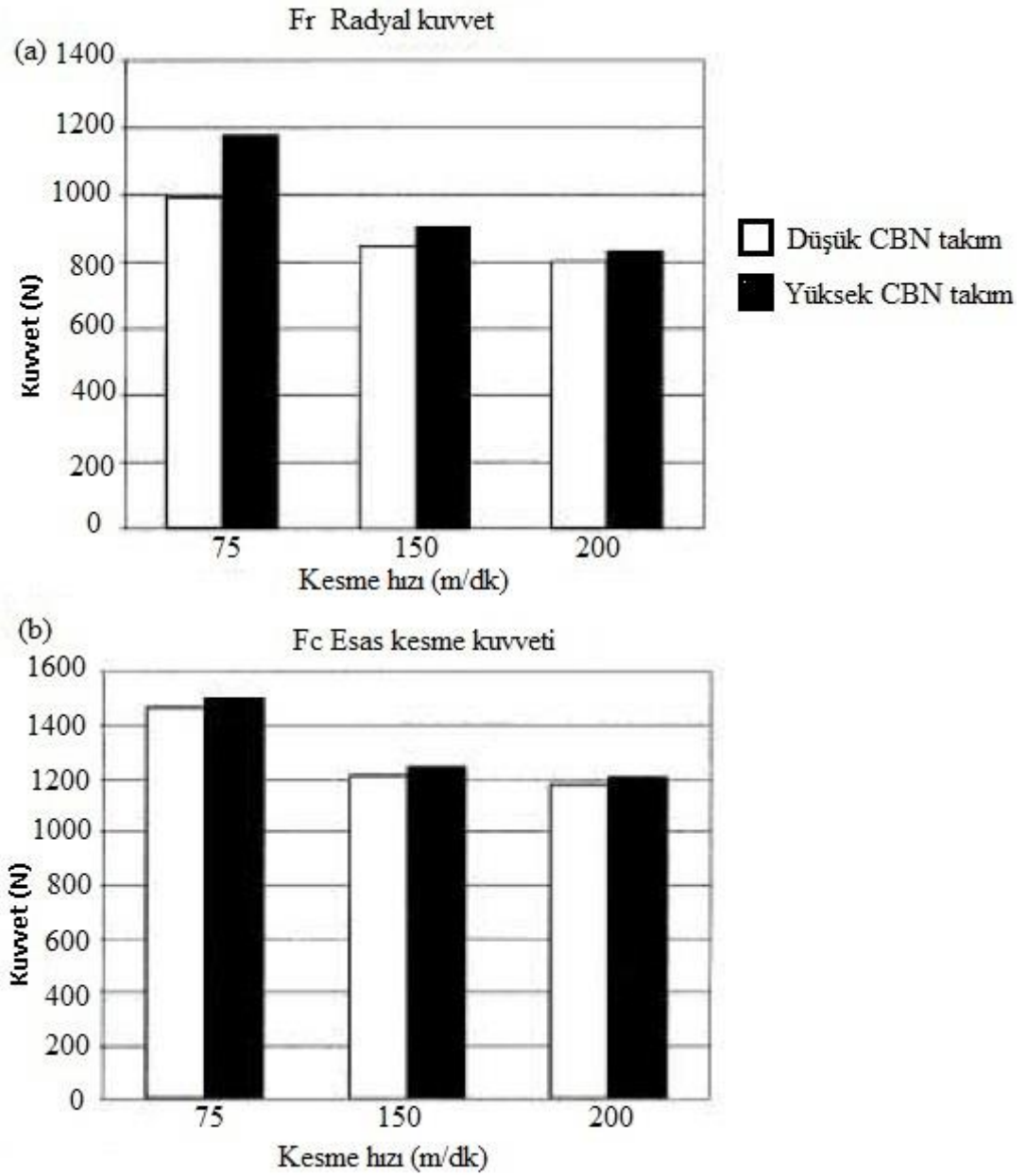
- İlerleme kuvveti ( $F_f$ ): Kesici takımın ilerleme doğrultusundaki kuvvettir. Genellikle esas kesme kuvvetinin yaklaşık %50'si kadardır.
- Esas kesme kuvveti ( $F_c$ ): Parça Kesme hızı yönündeki teğet kuvvettir. En büyük kuvvet olup metal kesme işleminde harcanan gücün genelde %99'una karşılık gelir.
- Radyal (pasif) kuvvet ( $F_r$ ): İşlenen yüzeye dik olan radyal kuvvettir. Bu kuvvet ise genellikle ilerleme kuvvetinin yaklaşık %50'si kadardır [44].

Bileşke kuvvet bu üç kuvvetin vektörel olarak birleştirilmesiyle hesaplanır:

$$F_R = \sqrt{F_c^2 + F_f^2 + F_r^2} \quad (3.15)$$

Şekil 3.12'de Aynı kesme koşulu altında ve yüksek CBN içerikli kesici takım kullanılarak oluşturulan radyal kuvvetleri, düşük CBN içerikli kesici takıma göre daha büyük olduğu görülmektedir. Radyal kuvvete göre düşük CBN içerikli takım ve yüksek CBN içerikli takımlarda Esas kesme kuvvetinde daha büyük bir değişim karşılaşılabılır [45].





Şekil 3.12. Farklı CBN içerikli araçlarını kullanırken kesme kuvvetleri tahmini: a) Radyal kuvvet ile kesme hızı 75, 150 ve 200 m/dk; b) Esas kesme kuvveti ile kesme hızı 75, 150 ve 200 m/dk [45].

### 3.3. PARÇA YÜZEYLERİ

Parçanın amaçlanan yüzeyinin hatlarını temsil eden bu nominal yüzeyler, mühendislik çizimleri tarafından tanımlanır. Nominal yüzeyler geometrik olarak kusursuz mutlak düz çizgiler, ideal daireler, yuvarlak delikler, diğer kenarları ve yüzeyleri gösterir. İmal edilmiş bir parçanın gerçek yüzeyleri yapılmasında kullanılan işlemlerle belirlenir.

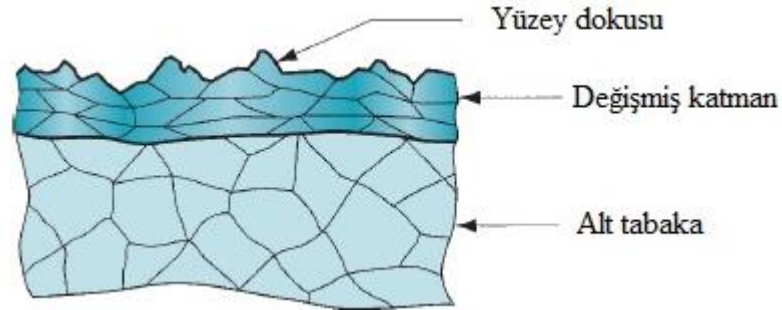
Yüzey özelliklerinin geniş varyasyonlar sonucu üretiminde mevcut proseslerin çeşitliliği ve mühendislik teknolojilerinin kavranması için önemlidir. Yüzeyler, ticari ve teknolojik nedenlerden dolayı önemlidir. Farklı uygulamalar için farklı nedenler sıralanabilir:

- Pürüzsüz, çizik ve leke içermemesi,yüzeylerin estetik nedenlerle müşteride olumlu bir izlenim verilmesi için tercih edilir.
- Yüzeyler, iş parçası dokunma, tutma emniyetini etkiler.
- Sürtünme ve yüzey özelliklerine bağlı olarak aşınma istenmez.
- Yüzeyler mekanik ve fiziksel özellikleri etkiler.
- Parça montajına göre iş parçası yüzeyleri istenilen özelliklerde olmalıdır.
- Pürüzsüz yüzeyler daha iyi elektrik temas sağlar.

Yüzey teknolojisi, (1) yüzeyin tanımlayan özellikler, (2) yüzey dokusu, (3) yüzey bütünlüğü ve (4) üretim süreçleri ve elde edilen yüzey özellikleri arasındaki ilişki ile ilgilidir [42].

### 3.3.1. Yüzey Özellikleri

Bir parçayüzeyinin bir mikroskopik görünümü onun düzensizlikler ve kusurlarını ortaya koymaktadır. Tipik yüzey özellikleri Şekil 3.13'te, bir metal parçasının yüzeyi oldukça büyütülmüş enine kesit olarak gösterilmektedir.



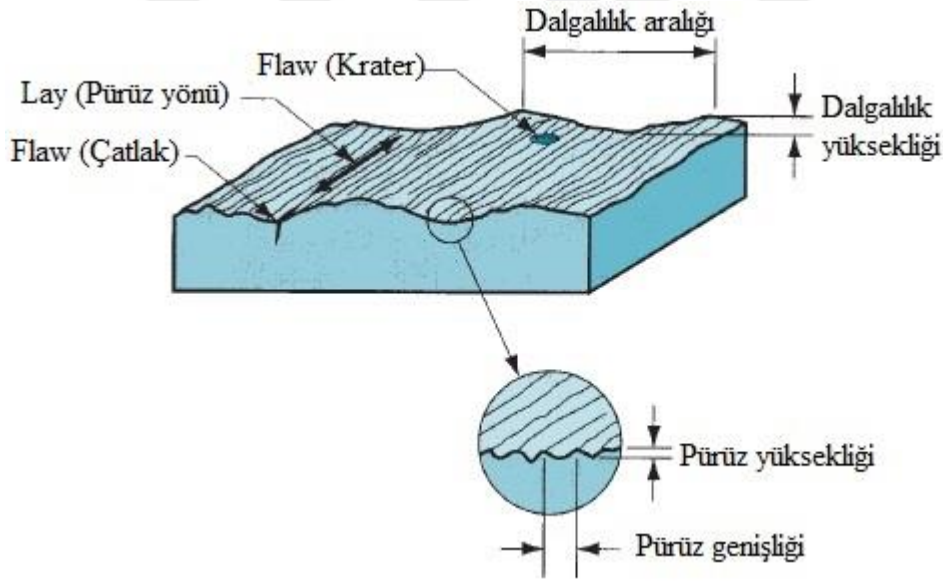
Şekil 3.13. Metal parçası yüzeyinin büyütülmüş kesiti. [42].

Alt tabaka olarak adlandırılan parçanın dökme hali, metalin bir önceki işleme bağlı olan bir tanecik yapısı vardır; Örneğin, alt-tabaka metalin yapısı, kimyasal bileşimi, dökme işleminde kullanılacak metal, herhangi bir şekil değiştirme işlemleri ve döküm üzerine uygulanan ısı muamelelerinden etkilenir.

Parçanın dış görünümü olan topografisi düz ve pürüzsüz bir yüzeydir. Bu son derece büyütülmüş kesitte, yüzey pürüzlülüğü, dalgalılık ve kusurları vardır. Bu geometrik yüzey özelliklerin tümü, terimler yüzey dokusuna dahil edilmiştir [42].

### 3.3.2. Yüzey Dokusu







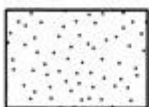
Yüzey dokusu bir nesnenin anma yüzeyinde tekrarlayan ve/veya rasgele sapmalar oluşur; dört özellik ile tanımlanmaktadır: pürüzlülük, dalgalılık, pürüz yönü, yüzey kusurları Şekil 3.14’te gösterilmiştir [42].



Şekil 3.14. Yüzey doku özellikleri [42].

### 3.3.3. Baskın Pürüz Yönü Veya Yüzey Dokusu Deseni (Lay)

Baskın pürüz yönü ya da yüzey deseni şekil 3.15’de açıklamalarıyla birlikte verilmiştir.

Pürüz İşleme Yönü	Yüzey Deseni	Açıklama
=		Sembolün uygulandığı görünüşün iz düşüm düzlemine paralel izler.
⊥		Sembolün uygulandığı görünüşün iz düşüm düzlemine dik izler.
X		Sembolün uygulandığı görünüşün iz düşüm düzlemine her iki doğrultuda eğik ve çapraz izler.
M		Çok doğrultulu izler.
C		Sembolün uygulandığı yüzeyin merkezine göre daire şekilli izler.
R		Sembolün uygulandığı yüzeyin merkezine göre yaklaşık radyal izler.
P		Nokta izi, doğrultusuz veya çukurlu... (Kumlama vb.)

Şekil 3.15. Baskın pürüz yönü veya yüzey dokusu deseni [46].

### 3.3.4. Yüzey Kusurları (Flaws)

Yüzeydemeydana gelebilir düzensizliklerdir. Yüzeyde çatlaklar, çizikler gibi benzeri kusurları içerir. Bazı kusurlar yüzey dokusu ile ilgili olsa da, onlar da yüzey bütünlüğünü etkileyecektir.

Genellikle malzemenin üniform olmaması nedeniyle, ya da bu çizikler, ezikler, çukurlar ve çatlaklar işleme sonrası yüzeyinin zarar görmesi durumundan kaynaklanabilir. Bu gibi durumlarda, boşluklar yüzey dokusu ölçümlerinde dikkate

alınmamalıdır. Kusurları olan parçaların kabulü veya reddi kesinlikle kusur kısmının amaçlanan işlevini tehlikeli olup olmayacağını dayalı kararmeselesidir.

Aşağıdaki gibi yüzey dokusu değerleri, herhangi bir parça çizimlerinde belirtilen değerler kontrol sırasında dikkat etmek için, bir not ve tipik sembol kullanılıyor olabilir [47].

### 3.3.5. Yüzey Pürüzlülüğü

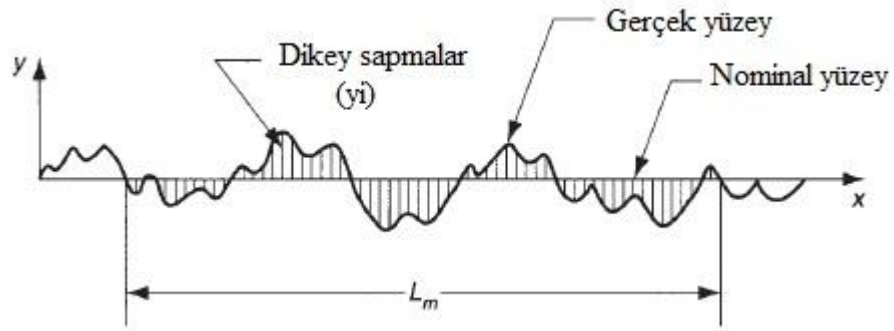
Ra, yüzey dokusunda en sık kullanılan ölçü yüzey pürüzlülüğüdür. Şekil 3.16'da gösterilen, yüzey pürüzlülüğü belirtilen bir yüzey uzunluğu boyunca, nominal yüzeyden dikey sapmaların ortalaması olarak tanımlanabilir. Denklem olarak; [42].

$$R_a = \frac{1}{L_m} \int_0^{L_m} |y| dx \quad (3.16)$$

Ra = Ortalama pürüzlülük değeri

yi = Nominal yüzeyden dikey sapma (mutlak değerine dönüştürülür)

Lm = Yüzey üzerinde sapmaların ölçüldüğü belirtilen mesafeyi



Şekil 3.16. Nominal yüzeyden sapmalar [42].

Denklem (3.16), matematiksel olarak aşağıdaki gibi ifade edilir.

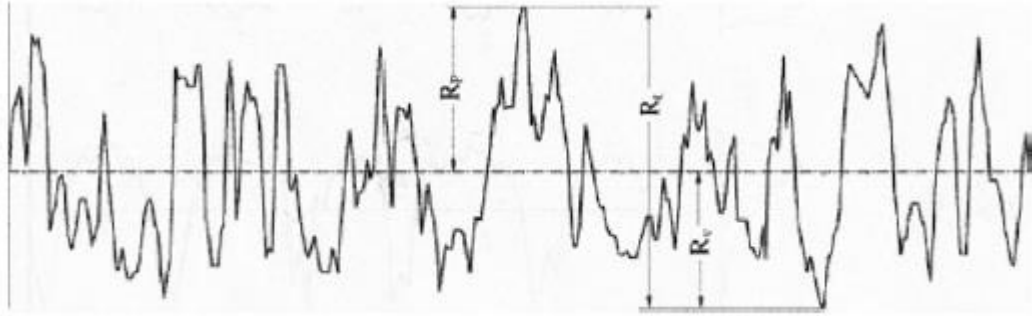
$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i| \quad (3.17)$$

Ra (CLA), aritmetik ortalama pürüzlülük (ortalama merkez çizgi): değerlendirme uzunluğu içerisindeki merkez çizgi hakkında sapmaların tespiti filtrelenmiş pürüzlülük profilinin aritmetik ortalama değeri bir işleme süreci ve ürün kalite kontrolü için en popüler parametredir. Bu parametreyi tanımlamak kolay hatta en gelişmiş bir pürüzlülük ölçme cihazlarıyla ölçmek kolaydır ve yüzeyin genel bir tanımını verir. Pürüzlülük ölçümü için ulusal standart oluşturulmuştur. Öte yandan, bu profil parametresi küçük değişimlere karşı hassas değildir, ayrıca girinti ve çıkıntılar arasında herhangi bir ayırım yapılmadan belirlenen uzunlukta herhangi bir bilgi verir [48].

Rp, orta çizginin üstünde en yüksek tek tepe değeri; Mevcut pikleri malzemenin uzaklaştırmada duyarlıdır.

Rv, orta çizginin altında derin girinti; yüksek baskı altındaki yüzeyin mekanik davranışında yağ tutması için bir göstergedir [48].

Şekil 3.17'de Rt, Rp ve Rv gösterilmiştir.



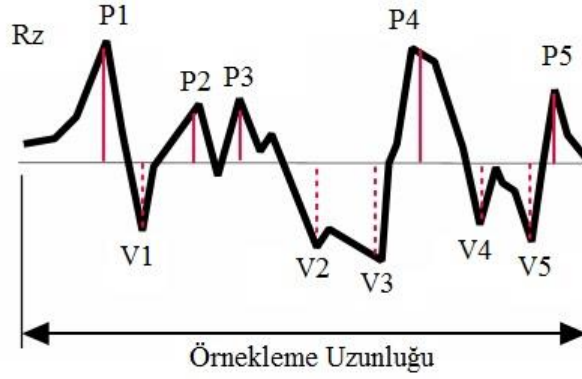
Şekil 3.17. Rt, Rp ve Rv parametrelerinin gösterimi [48].

Rt, değerlendirme uzunluğu boyunca süzölmüş profilin en maksimum yükseklik ile maksimum girinti; ortalama çizgiden büyük sapmalara karşı çok duyarlıdır. Çok yaygın, genel bir gösterge olarak Ra ile birlikte kullanılır [49].

En yüksek tepe ve en yüksekgirinti arasındaki değerin toplamı;

$$R_t = R_p + R_v \quad (3.18)$$

$R_z$ , ortalama vadi-pik yüksekliği:  $R_t$ 'ye göre yüzey temsilcisi değildir, büyük sapmaları yumuşatır.



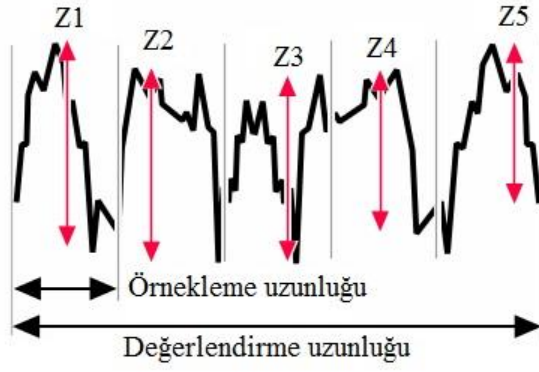
Şekil 3.18. Ortalama Pürüzlülük  $R_z$  gösterimi [49].

$$R_z = \frac{[(P1 + P2 + P3 + P4 + P5) - (V1 + V2 + V3 + V4 + V5)]}{5} \quad (3.19)$$

$R_q$ , Ortalamaların kareleri toplamının karekökü veya RMS pürüzlülüğü: pürüzlülük profili ordinatlarının karelerinin ortalama karekökü anlamına gelir;  $R_a$  ve  $R_t$ 'den daha duyarlıdır [48].

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{L} \int_0^L y^2(x) dx} \quad (3.20)$$

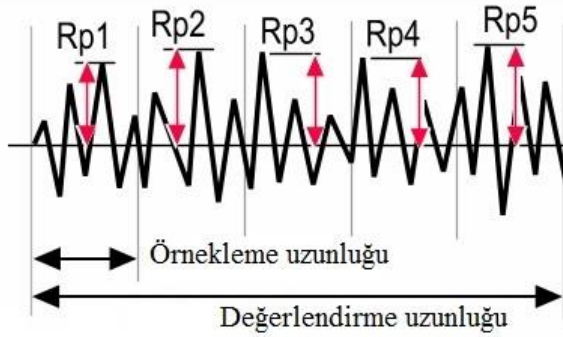
$R_{tm}$ , Peak-vadi ortalama pürüzlülüğü; en yüksek tepe ve en vadi arasındaki fark tarafından belirlenir. Profil verileri için beş numune uzunlukları dayanmaktadır [49].



Şekil 3.19. Pik-Vadi ortalama pürüzlülüğü [49].

$$R_{tm} = \frac{(Z1+Z2+....+Zn)}{n} \quad (3.21)$$

R<sub>pm</sub>, ortalama pik profil yüksekliği; Ortalama pik yüksekliği, örnekleme uzunluğu başına bir pike dayanır. Tek yüksek tepe, beş numune uzunlukları bulunur ve daha sonra ortalaması alınır [47].

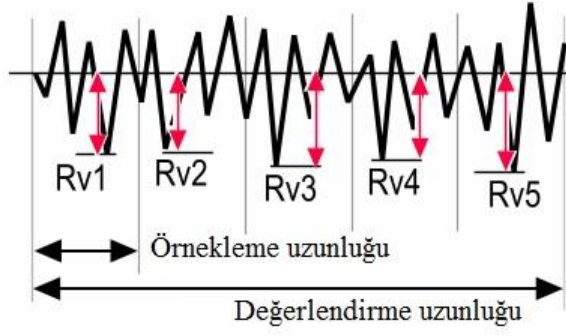


Şekil 3.20. Pürüzlülük R<sub>pm</sub> gösterimi [49].

$$R_{pm} = \frac{Rp1+Rp2+....+Rpn}{n} \quad (3.22)$$

R<sub>vm</sub>, ortalama vadi profil derinliği: Ortalama vadi derinliği örnekleme uzunluğu başına bir Pike dayanır. Tek derin vadi, beş numune uzunlukları bulunur ve daha sonra ortalaması alınır.

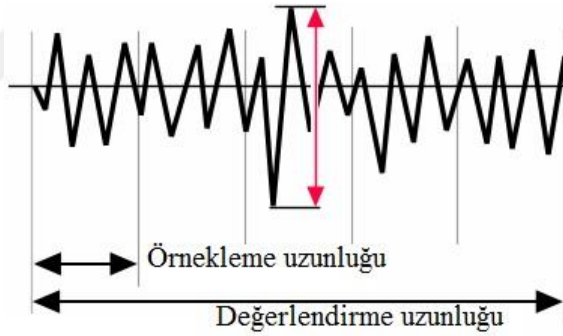




Şekil 3.21. Pürüzlülük Rvm gösterimi [49].

$$R_{vm} = \frac{R_{v1} + R_{v2} + \dots + R_{vn}}{n} \quad (3.23)$$

Rmax, maksimum pik-vadi profili yüksekliği: Herhangi bir örnekleme uzunluğu içinde en büyük peak-vadi mesafesidir.



Şekil 3.22. Pürüzlülük Rmax gösterimi [49].

Pürüzlülük Aralık Parametreler:

Rsm, orta çizgiseviyesinde pürüzlülük ortalama aralıklarıdır; o ardışık tepeler arasındaki mesafenin bir tahminini sağlamaktadır.

$\lambda_a$ , profilin ortalama dalga boyu; profil ana dalga boyu (örneğin, besleme) durum işleme ile ilgili ilgilidir.

m, Pik sayısı: birim uzunluktaki profil piklerin sayısı; kaplama uygulamalarında kullanışlıdır.

n (0), ortalama çizgi profilin kesişme sayısı; pik formu hakkında kabaca bilgi verir

**Pürüzlülük Hibrid Parametreler:**

$R\Delta_a$ , profilin ortalama eğimi; sürtünme ve hidrodinamik yağlama ile çok yakından ilişkilidir.

$R\Delta_q$ , profilinin eğim karelerinin karakökü anlamına gelir; profilaşımından dolayı güçlü değişikliklere  $R\Delta_a$  daha duyarlıdır.

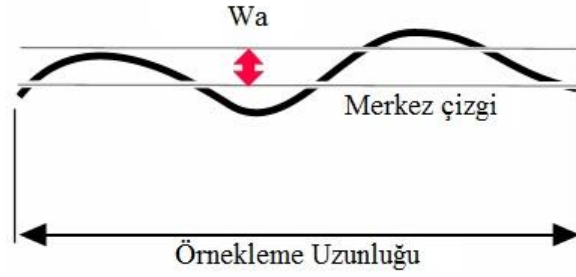
$r_p$ , pürüzler ortalama yarıçapı; önemli bir parametre, aşınma ve yorulma mekaniği ile yakından yakından ilgilidir.

$Rl_o$ , profilin geliştirilmiş uzunluğu; bu profil eğimiyle doğrudan ilişkili, profil açıklık ölçüsüdür ve kaplama uygulamaları için kullanışlı bir parametredir [49].

### **3.3.6. Yüzeyde Dalgalık**

Yüzey pürüzlülüğü önemli bir işlenebilirlik parametresi olarak çok dikkat çekmiştir. Yüzey dalgalık genellikle bağımlı değişkeni işlemede, makine sistemi ya da kötü işlemede fonksiyon arızalarından kaçınmak için belirtici olarak kabul edilir.

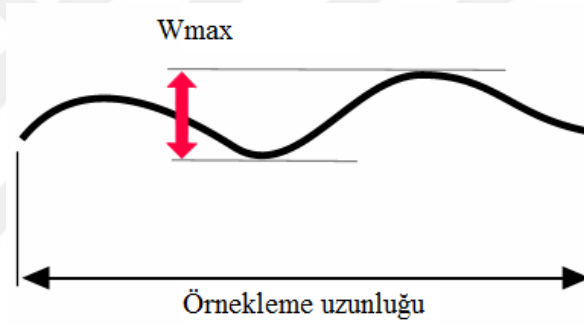
$W_a$ , profilde oluşan dalgaların ortalama değeri. Dalgalık, profili mutlak değerlerinin aritmetik ortalamasıdır.



Şekil 3.23. Dalgalılık  $W_a$  gösterimi [49].

$$W_a = \frac{1}{L} \int_0^L |z(x)| dx \quad (3.24)$$

- $W_{max}$ , profil dalgaların maksimum değeri.



Şekil 3.24. Dalgalılık  $W_{max}$  gösterimi [49].

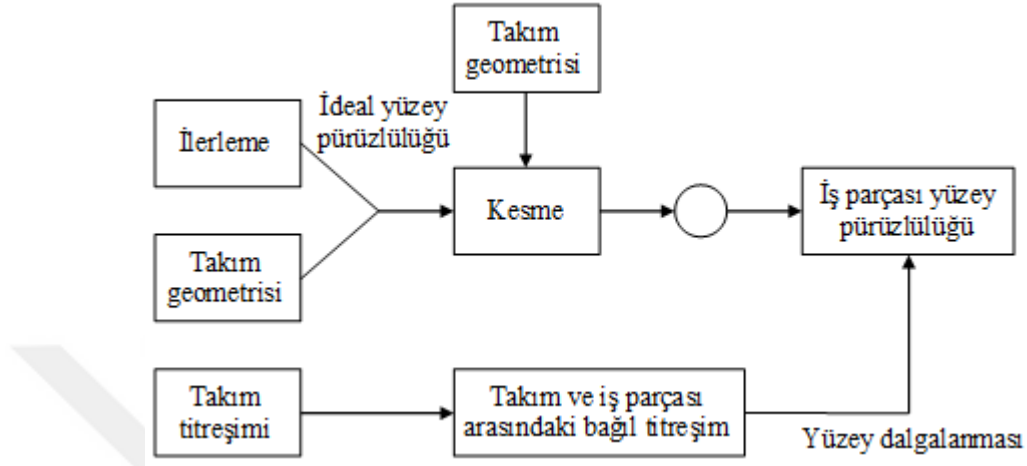
Her iki parametre, takım tezgahına bir dış kaynaktan, kesici takım veya iş parçası eksantriklik ya da şiddetli titreşim durumunda düşünülmelidir [48].

### 3.3.7. Yüzey Pürüzlülüğünü Etkileyen Faktörler

Aşağıdaki faktörler kesme işlemlerinde önemli bir etkiye sahiptir:

- Kesme koşulları (ilerleme, kesme hızı, kesme derinliği)
- Süreç kinematiği
- Kesici takım geometrisi ve malzemesi
- İşlenen malzemenin mekanik özellikleri

- Makine-kesici takım sistemindeki titreşimler
- Takım tezgahının hassaslığı-rijitlik ve hizmet koşulu durumu işleme yüzeylerini etkilemektedir [48].



Şekil 3.25. Yüzey pürüzlülüğünü etkileyen faktörler [50].

### 3.3.8. Gerçek Yüzey Pürüzlülüğü

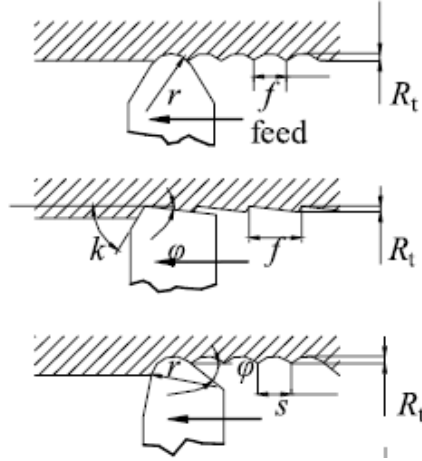
Deneysel testler tarafından elde edilen fiili pürüzlülük değerleri genellikle teorik açıdan belirlenen değerlerden çok daha fazladır.

Kesme işlemlerinde gerçek ya da doğal pürüzlülüğü oluşumu için belirleyici faktör talaş oluşum modu (built-up kenar, süreksiz talaş, termal varyasyonlar, iş parçası yüzey altında kayma bölgesi genişlemesi, vb.) etkilemektedir.

Ayrıca, diğer nedenleri olabilir: makine takım sisteminde titreşim, malzeme kusurları, kesici takım aşınma, ilerleme mekanizması düzensizlikleri, parça ve diğerleri dönen eksantrik hareketler [48].

### 3.3.9. Tornalama İşleminde Pürüzlülük Parametrelerinin Teorik Formülleri

Teorik veya kinematik pürüzlülük; Teorik pürüzlülük değerleri süreç kinematiği ve takım geometrisine bağlı olarak analitik olarak tespit edilebilir. Torna için bilinen formüller aşağıda verilmiştir.



Şekil 3.26. Tornalama için teorik pürüzlülük şekilleri [48].

Maksimum pürüzlülük değeri  $R_t$  olarak ifade edilir;

$$a) R_t = f^2 / 8r [mm] \quad (3.25)$$

$r$  yarıçaplı bir yuvarlak kesici takım ucu için ve İlerleme mm/dev

$$b) R_t = \frac{f}{\cot k + \cot \varphi} [mm] \quad (3.26)$$

mükemmel keskin alet için;  $k$  ve  $\varphi$  ilerleme için ilgili kenar açıları

$$c) R_t = f \tan \varphi + \frac{r}{2} \tan^2 \varphi - \sqrt{2 \cdot f \cdot r \cdot \tan^3 \varphi} [mm] \quad (3.27)$$

Burada  $f \geq 2 \cdot r \cdot \tan \varphi$

$R_a$  ortalama pürüzlülük değeri (a) ve (b) denklemlerinden;

$$R_a = 0.0321 \frac{f^2}{r} [mm] \quad (3.28)$$

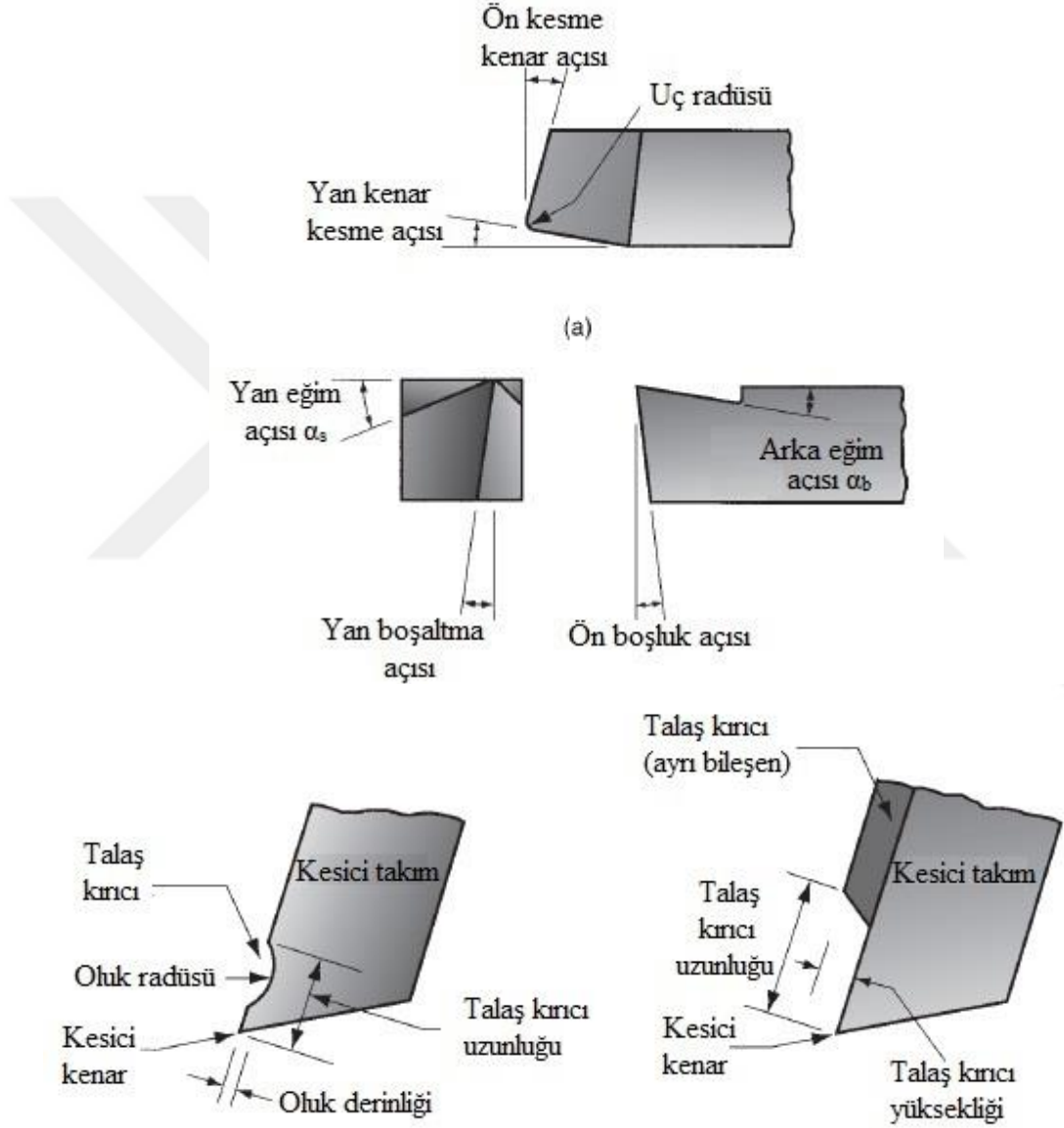
$$R_a = \frac{f \tan \varphi}{4 \cdot (1 + \tan \varphi)} [mm] \quad (3.29)$$

olarak ifade edilir [48].

### 3.4. KESİCİ TAKIM

#### 3.4.1. Kesici Takım Geometrisi

Şekil 3.27’de tek noktadan kesme işlemi yapan bir kesici takımın geometrisi görülmektedir.



Şekil 3.27. Kesici takım geometrisi [42].

Tek nokta kesici takımında, talaşın yönlendirilmesi iki açı, arka eğim açısı ( $\alpha_b$ ) ve yan kenar eğim açısı ( $\alpha_s$ ) ile tanımlanır. Bu açılar eğim yüzeyine talaşın akışının yönünü

belirlemede etkili olmaktadır. Tek nokta kesici takım kenarı, iki bölümden, yan kesici kenar ve ön kesici kenar olarak oluşur. Takımın kesici kenarları, yan boşaltma açısı ve ön boşluk açısı ile tanımlanır. Burun yarıçapı, büyük ölçüde operasyonla oluşturulan yüzeyin dokusunu belirler. Birçok sivri takım (küçük uç radiusü) iş parçası yüzeyinde çok belirgin ilerleme izleri oluşturur. Yüzeye karşı sürtünme ve sürtünme azaltıcı, takımın ön kesme kenar açısının arka tarafı ve yeni oluşturulan çalışma yüzeyi arasında bir boşluk sağlar [42].

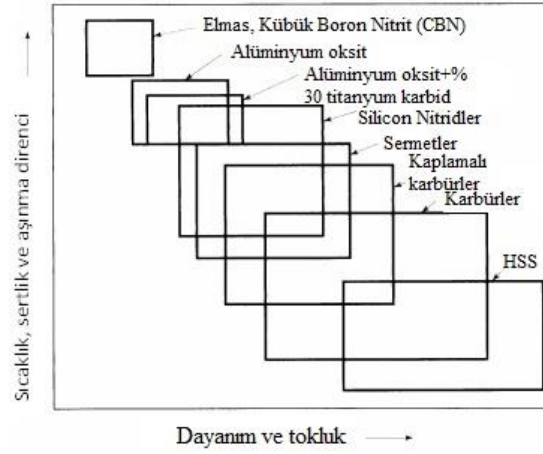
### **3.4.2. Kesici Takım Malzemeleri**

Çeşitli kesici takım malzemeleri uygulamaları farklı üretim endüstrilerde kullanılmaktadır. Kesici alet malzemelerin büyük çeşitliliği nükleer ve uzay sanayinde çeşitli programları karşılamak için geliştirilmiştir.

Kesici takım malzemelerinden beklenen önemli özellikler;

- Tokluk, kırılma direnci sağlamak için, takım malzemesi yüksek tokluğa sahip olmalıdır. Tokluk, malzemenin enerjiyi absorbe etme kapasitesidir. Genellikle malzeme mukavemet ve esneklik kombinasyonu ile karakterize edilmektedir.
- Yüksek sıcaklıkta sertlik, takım malzemesinin yüksek sıcaklıklarda sertliğini muhafaza edebilme yeteneğidir.
- Aşınma direnci. Sertlik aşınmaya karşı gerekli tek ve en önemli özelliktir. Tüm kesme takım malzemeleri sert olmalıdır. Aşınma direncinin etkileyen diğer özellikler, takım ve iş parçası malzemelerinin kimyasal yapısı ve bir kesme sıvısı kullanılıp kullanılmadığıdır [42].

Şekil 3.28’de farklı kesici takım malzemelerinin özellik aralıkları verilmiştir.



Şekil 3.28. Çeşitli grupta kesicimalzemelerin özellik aralıkları [47].

### 3.4.2.1. Yüksek Hız Çeliği (HSS)

Yüksek hız çeliği, yüksek sıcaklıklarda yüksek karbon ve düşük alaşımlı çeliklerden daha iyi sertliğini koruma yeteneğine sahiptir.

Yüksek hız çeliklerinin, çok çeşiti mevcuttur, ancak bunlar iki temel gruba ayrılabilir: (1) tungsten-tipi, Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü (AISI) tarafından belirlenen T-sınıflarda; ve (2) molibden-tipi, AISI tarafından belirlenen M-sınıflarda.

Tungsten-tipi HSS başlıca alaşım madde olarak tungsten (W) içerir. Ek alaşım elemanları, krom (Cr), vanadyum (V) 'dir. Özgün ve en iyi bilinen HSS kalitelerinden biri % 18 W, % 4 Cr ve % 1 V içeren, T1 veya 18-4-1 yüksek hız çeliğidir.

Molibden HSS sınıflarda, başlıca alaşım madde olarak molibden (Mo) ihtiva eder. Ek alaşım elemanları, krom (Cr), vanadyum (V) 'dir. Kobalt (Co) bazen yüksek sıcaklıkta sertliği arttırmak için HSS eklenir. Tabii ki, yüksek hız çeliğinde karbon, tüm çeliklerin ortak ögesini içeriyor.

Kullanımda en önemli kesici takım malzemelerinden biridir. Matkaplar, klavuzlar, freze kesicileri ve broşlama gibi komplike bir takım geometrisi içeren uygulamalara uygundur. Bu karmaşık şekilleri genellikle daha kolay ve diğer takım malzemelere göre HSS olarak üretmek daha ucuzdur [42].



### 3.4.2.2. Sementit Karbür

Sementit karbürler (sinterlenmiş karbürler olarak da adlandırılır) bağlayıcı olarak kobalt (Co) ile tungsten karbür (WC) sert kesici malzeme olarak kullanılır.

WC ilave olarak, titanyum karbür (TiC) ve/veya tantal karbid (TAC), karışımın diğer karbür bileşikleri olabilir. Sementit karbürler iki temel tipe ayrılır: (1) çelik olmayan kesme işleminde sadece WC- Co oluşan ve (2) çelik kesme işlemlerinde TiC ve TaC kombinasyonları ekli WC-Co takımlardır.

Sinterlenmiş Karbürlerin Sınıflandırılması:

- P serisi (mavi): Yüksek alaşımlı (WC– TiC–TaC–Co), tungsten karbürü takım olup, çelik, çelik döküm, sfero dökme demir,uzun talaş çıkaran malzemelerin işlenmesinde kullanılır.
- M serisi (sarı): Alaşımlı (WC–TiC–TaC–Co),tungsten karbürü takım olup titanyum oranı P serisinden azdır. Çelik, pıkk döküm, ostenitik paslanmaz çelik, süper alaşımların işlenmesinde kullanılır.
- K serisi (kırmızı): Düz (WC–Co), tungsten karbür kobalt alaşımlı takım olup, gri dökme demir, demir olmayan metaller ve metal olmayan malzemelerin işlenmesinde kullanılır

Sementit karbürlerin genel özellikleri;

- Yüksek basınç dayanımı, fakat düşük-orta çekme dayanımı
- Yüksek sertlik
- İyi sıcak sertliği
- İyi aşınma direnci
- Yüksek ısı iletkenlik
- Yüksek elastikiyet modülü yaklaşık  $600 \times 10^3$  MPa
- Yüksek hızlı çelikten daha düşük tokluk [42].

### 3.4.2.3. Kaplamalı Sementit Karbür

Kaplanmış karbürler, titanyum karbid, titanyum nitrid, ve alüminyum oksit ( $Al_2O_3$ ) ve aşınmaya karşı dirençli bir malzemedan bir veya daha fazla ince tabakalar ile kaplanmış karbür kaplaması vardır.

Kaplama, kimyasal buharla biriktirme ya da fiziksel buhar çöktürmeile alt tabakaya tatbik edilir. Kaplama kalınlığı sadece 2,5 ila 13  $\mu m$ 'dur. Bundan daha kalın kaplamaların, çatlama ile sonuçlanan, kırılğan olmaya eğilimli olduğu ve alt tabakadan ayrılmalara neden olmuştur.

Kaplanmış karbürlerin ilk nesil, sadece tek bir katman kaplama (TiC ya da  $Al_2O_3$ ) vardı. Daha yakın zamanda, kaplı insertler birden fazla tabakadan oluşturularak geliştirilmiştir.

Kaplamalı karbür torna ve freze tezgahlarında dökme demirlerin ve çeliklerin işlenmeleri için kullanılır. En iyi dinamik kuvvet ve termal şokun az olduğu durumlarda yüksek kesme hızlarında uygulanır. Bu koşullar, bazı kesintili kesme işlemlerinde olduğu gibi, çok şiddetli hale gelirse, kaplamanın erken bozulmasına ve takım başarısızlığı ile sonuçlanabilir. Bu durumda, sertlik için formüle edilmiş kaplanmamış karbürler tercih edilir. Düzgün uygulandığında, kaplamalı karbür takımları genellikle kaplanmamış sementit karbürler ile karşılaştırıldığında kabul edilebilir kesme hızlarında artışa izin verir.

Kaplamalı karbür takımları, geliştirilmiş takım ömrü ve yüksek kesme hızı için demir dışı metal ve ametal uygulamalarla genişletilmektedir. Farklı kaplama malzemeleri krom karbür (CrC), zirkonyum nitrid (ZrN) ve elmas gibi malzemeler kullanılmaktadır [42].

#### 3.4.2.4. Nitrürler

Önemli nitrürler, seramik silisyum nitrür ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ), bor nitrür (BN) ve titanyum nitrür (TiN) bulunmaktadır. Bir grup olarak, nitrürler kırılğan ve bunlar yüksek sıcaklıkta erir. Genellikle, TiN dışında, elektriksel olarak yalıtıcıdır. Düşük ısıl genleşme, termal şok ve kayma direncine sahiptir. Erimiş demir dışı metaller ile korozyona karşı dayanıklıdır.

Özellikle silikon nitrit, yüksek sıcaklık derecelerinde yapısal uygulamalar da uygundur  $\text{Si}_3\text{N}_4$  yaklaşık 1200 °C okside olur ve kimyasal açıdan 1900 °C civarında ayrışır.

Bor nitrür, karbona benzer birçok yapılarda, bulunmaktadır. BN önemli formları (1) altıgen ve (2) küp (elmas gibi aynı) bulunmaktadır. Sertliği elmas ile karşılaştırılabilir. Bu ikinci yapı kübik bor nitrür sembol CBN olarak adlandırılır. Çok yüksek basınç altında altıgen BN ısıtılarak üretilir. CBN elmas kesici takımlarla ve taşlama taşları ile rekabet etmez. CBN çelik için uygun iken elmas, çelik olmayan malzemelerin işlenmesi ve taşlanması için uygundur.

Titanyum nitrid elektrik iletkenliği dışında, bu gruptaki diğer nitrit ile benzer özelliklere sahiptir; bir iletkenidir. TiN, yüksek sertlik, iyi aşınma direnci ve metaller ile düşük bir sürtünme katsayısına sahiptir. Bu özelliklerin birleşimi TiN kesme takımları üzerinde bir yüzey kaplaması olarak ideal bir malzemedir. Kaplama kalınlığı sadece yaklaşık 0,006 mm'dir.

Nitrür grubuna ve aynı zamanda oksitlere bağlı, sialon denilen oksinitrür yeni seramik bir malzemedir. Bu elementler, silikon, alüminyum, oksijen ve azottan oluşmaktadır  $\text{Si-Al-O-N}$ : ve adı bu malzemelerden kaynaklanmaktadır. Kimyasal bileşim, tipik bir bileşim olup  $\text{Si}_4\text{Al}_2\text{O}_2\text{N}_6$  olmak üzere değişkendir. Sialonlar özellikleri silikon nitrit ile benzerdir, ancak  $\text{Si}_3\text{N}_4$  daha yüksek sıcaklıklarda oksidasyona karşı daha dirençlidir [42].

### 3.4.2.5. Sermetler

Semente karbürler, teknik sermet kompozitleri olarak birlikte sınıflandırılır, kesici takım teknolojisinde terimi sermet, genellikle bağlayıcı maddeler olarak nikel ve molibden TiC, kalay ve titanyum karbon (TiCN) kombinasyonlarından oluşur. Sermet kimyasallarından bazıları daha karmaşık (örneğin,  $TaxNbyC$  gibi seramikler ve  $Mo_2C$  bağlayıcı) malzemelerden oluşur. Sermetler uygulama alanları, yüksek hızlarda, paslanmaz çelik ve dökme demirlerin finiş işlemlerinde kullanılmaktadır. Düşük ilerleme kullanılarak daha iyi bir yüzey kalitesi ile genellikle taşlama ihtiyacını ortadan kaldırılmasında kullanılır [42].

### 3.4.2.6. Seramik

Bazı imalatçılar, küçük miktarlarda (örneğin, zirkonyum oksit gibi) diğer oksitleri ilave eder, ancak alüminyum oksit, (% 99 olarak) oluşan genellikle çok saf malzemedir. Seramik araçları üretiminde, alüminyum oksit tozu çok ince tane büyüklüğü kullanımı ve malzemenin düşük dayanıklılık özelliğini arttırmak için yüksek basınçlı sıkıştırma yoluyla karışım yoğunluğunu arttırmak için önemlidir.

Alüminyum oksit kesme takımları dökme demir ve çeliğin yüksek hızda tornalamasında başarılı bulunmaktadır. Uygulamalar da yüksek kesme hızı, düşük ilerleme ve derinliklerde ve sertleştirilmiş çeliklerin finiş tornalama işlemlerinde kullanılmaktadır. Doğru bir şekilde uygulandığında, seramik kesici alet, çok iyi bir yüzey kalitesi elde etmek için kullanılabilir. Seramik, düşük tokluk nedeniyle ağır kesintili kesme işlemlerinde (örneğin, kaba işleme) için tavsiye edilmez. Geleneksel imalat işlemlerinde insert kesici takım olarak kullanımına ek olarak,  $Al_2O_3$  yaygın taşlama ve diğer aşındırıcı işlemlerinde bir aşındırıcı malzeme olarak kullanılır.

Diğer ticari olarak temin edilebilen seramik kesici-takım malzemeleri, silikon karbür tek kristal visker takviyeli silikon nitrit (SiN), sialon (silisyum nitrür ve alüminyum oksit,  $SiN-Al_2O_3$ ), alüminyum oksit ve titanyum karbid ( $Al_2O_3-TiC$ ) mevcuttur. Bu araçlar genellikle özel uygulamalar için tasarlanmıştır [42].

### 3.4.2.7. Sentetik Elmas (SPD) Ve Kübik Bor Nitrür (CBN)

Elmas bilinen en sert malzemedir. Elmasın sertliği tungsten karbür ya da alüminyum oksit gibi sert malzemelerden üç ila dört kat daha fazladır. Yüksek sertlik kesici takım için çekici özelliklerinden biri olduğu için, doğal işleme ve taşlama uygulamaları için elmas düşünmek doğaldır. Sentetik elmas kesme takımları 1970 tarihinin başlarından itibaren sinterlenmiş elmas polikristal (SPD) üretilir. Sinterlenmiş polikristalin elmas istenilen şekilde, yüksek sıcaklık ve basınç altında ince taneli elmas kristaller, sinterleme yoluyla imal edilir. Çok az birleştirici kullanılır veya hiç kullanılmaz. Kristallerin rastgele yönelimi var ve bu tek kristal elmas ile karşılaştırıldığında SPD araçları hatırı sayılır tokluk sağlar. Kesici uçlar genellikle sementite karbür malzemenin yüzeyde yaklaşık 0.5 mm kalınlığında bir SPD tabakasının biriktirilmesiyle yapılmaktadır. Çok küçük kesici uçlar aynı zamanda, %100 SPD ile yapılır [42].

Elmas, saf karbondan oluşan ve bilinen tüm malzemelerden en sert malzemedir. Bununla birlikte, son derece sert, çok kırılabilir ve bu nedenle etki ve ısı stresinden dolayı çok hassas malzemedir. Bu özellikler etkili bir elmas kesici madde olarak uygulandığı alanları etkiler. Doğal ve sentetik elmas işleme operasyonlarında kullanılmaktadır.

Hem monokristal (DIN ISO 513 kod: DM) ve polikristal elmas (DIN ISO 513 kod: DP) kullanılır. Polikristal elmas imalat takımlarından söz ederken kısaltma PCD olarak sık kullanılır. Monokristal elmas, özellikle hassas işleme operasyonları için çok uygundur ve yaygın olarak ultra-hassas işleme alanında uygulanır [51].

CBN, General Electric Company tarafından Borazon ticari adı altında üretilen bir aşındırıcıdır. CBN taşlama taşları gibi sertleştirilmiş takım çelikleri ve havacılık alaşımlar gibi sert malzemelerin işlenmesi için kullanılır.

Elmasta sonra, kübik bor nitrür (CBN) günümüzde mevcut en sert malzemedir. Kristalli CBN karbür alt tabakaya bağlanmış ve bir kesici takım olarak kullanılır. CBN

tabaka çok yüksek bir aşınma direnci ve kenar mukavemeti sağlar. Elmas ve CBN her ikisi de, taşlama operasyonu için aşındırıcı olarak kullanılır [47].

### 3.4.3. Kesici Takım Aşınması

Talaşlı imalat işlemlerinde kullanılan kesici takımların aşınması, talaşlı imalat işleminin verimliliğini, üretilen iş parçasının boyutlarını ve yüzey kalitesini doğrudan etkiler. Kesici takımın aşınma arttıkça, kesme kuvvetleri, kesme bölgesinde sıcaklık, titreşim ve ses artar. Artan kesme kuvvetleri sonucu daha fazla enerji gereksinimine ihtiyaç duyulur. Aynı zamanda, artan kesme kuvvetleri iş parçası ve kesici üzerinde daha fazla gerilme oluşturur.

Aşınmış kesici takımın kesici ucunda keskin bir kenardan farklı olarak sürtünen bir bölge olacağı için bu bölgenin iş parçası ile sürtünmesi sonucu daha fazla ısı enerjisi açığa çıkarak, kesme bölgesinde kesici takım ve iş parçasının sıcaklığı artar. Artan sıcaklıkla, kesici takımın aşınma direnci ve dayanımı azalır.

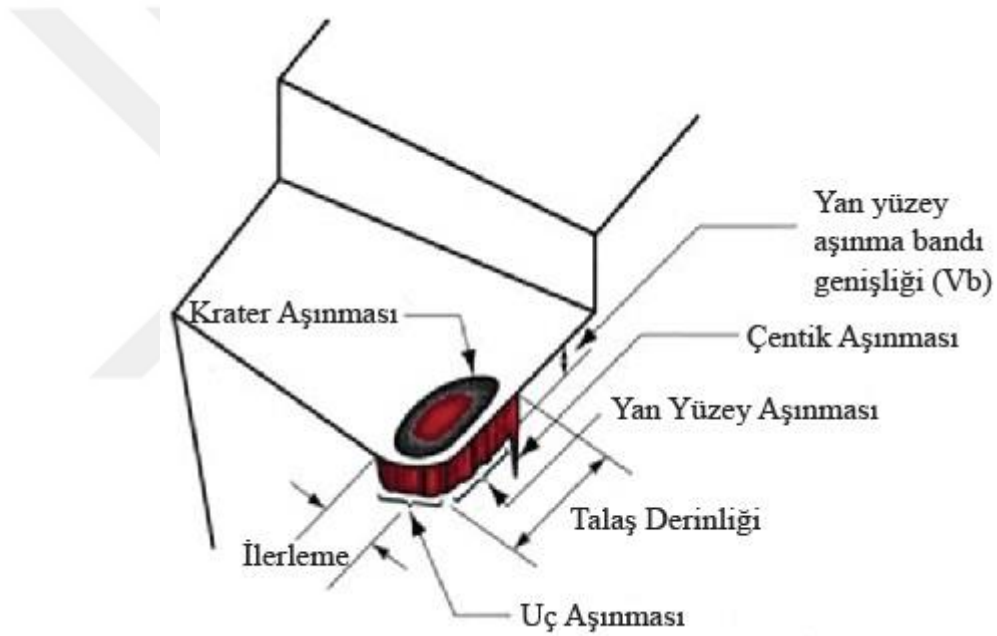
Artan sıcaklıkla aynı zamanda, iş parçası boyutlarında sapma olur ve istenilen ölçü toleranslarının dışına çıkılarak hatalı parçalar üretilir. Yüksek sıcaklık sonucu iş parçasının yüzeyinde ve yüzey altında istenilmeyen metalurjik dönüşümler oluşabilir.

Bu dönüşümler iş parçası yüzeyinde çekme tipinde kalıcı gerilmelere neden olarak iş parçalarının yorulma dayanımını azaltabilir.

Kesici takımın aşınması sonucu ortaya çıkan diğer bir olumsuzluk da titreşimdir. Titreşim sonucu iş parçası yüzey pürüzlülüğü artar. İş parçası yüzey pürüzlülüğü kesici takımın küçük kırılmalar şeklinde aşınma olduğunda da artar. Talaşlı imalat işleminde titreşim kesici takım üzerinde çevrimsel yükler oluşturacağı için kesici takımın kırılmasına da neden olabilir. Şekil 3.29'da, kesici takımındaki aşınmalar şematik olarak gösterilmiştir [52].

Talaş kaldırma işlemi esnasında kesici takımın aşınması aşağıdakilerden biri veya birkaçının aynı anda gözlenmesiyle anlaşılır:

- Kesme kuvvetlerindeki aşırı yükselme,
- Sıcaklık artışı,
- Aşırı titreşim,
- Yüksek gürültü,
- İşlenen malzeme boyutlarındaki değişim,
- İşlenen yüzeyin bozulmasıdır.



Şekil 3.29. Kesici takımdaki aşınmaların şematik olarak gösterilmesi [42].

Talaş kaldırma işlemi esnasında kesici takımın kesme kabiliyetini kaybettiği üç faktör mevcuttur:

**Kırılma:** Kesici takıma gelen anlık yüksek kuvvetler nedeniyle oluşan kırılmalar veya sürekli olmayan kesme işlemi (frezeleme işlemi gibi) esnasında mekanik ve ısıyı oluşturan sonuç kırık oluşumundan dolayı kesici takımda kırılma ve pullanma şeklinde oluşan aşınmalardır.

Plastik Deformasyon: Kesici takımda plastik deformasyon, yüksek basınç vesıcaklık sonucu oluşur. Plastik deformasyona uğramış kesici takım geometrisideğiştiği için kesme işlemini etkin bir şekilde yapamaz, sıcaklık artar ve talaş akışıdeğişir. Plastik deformasyona direnç için kesici takımın sıcak sertlik özelliğinin iyiolması gerekir. Ayrıca, uç yuvarlatma ve kesme geometrisi iyileştirilerek plastikdeformasyona direnç artırılabilir.

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 iç bükey alandır. Krater aşınmasının büyüklüğü, bu alanın derinliği ve alanı ölçülerek belirlenir. Yan yüzey aşınması ise yeni oluşan iş parçası yüzeyi ile kesici takım yan yüzeyinin sürtünmesiyle oluşur. Yan yüzey aşınması bu aşınma bandının genişliği ile ölçülür. 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 [53].

### **3.5. İŞLENEBİLİRLİK**

'İşlenebilirlik' teriminin benzersiz veya kesin hiçbir tanımı yoktur. İşlenebilirlik, bir malzemenin çeşitli işleme operasyonları veya tekniklerle işleme kolaylığını ya da zorluğunu belirleyen bu özellikleri özetleme olarak anlaşılabilir. Bir malzemenin işlenebilirliği kesici takım, makine, işleme tekniği, işleme koşulları, geometri ve malzemeye bağlı olarak çok güçlü bir şekilde değişebilir. Herhangi bir işleme operasyonun ana hedefi, istenen geometride bir iş parçasının imalatıdır. Katılan çok sayıda faktörler arasındaki karmaşık ilişkilerin ışığında, tek bir standart işleme kriteri açısından işleme operasyonlarını değerlendirmek mümkün değildir [51].

İşlenebilirlik, (1) takım ömrü, (2) güç gereksinimi ve (3) yüzey bütünlüğü açısından tanımlanır. Böylece, iyi bir işlenebilirlik derecesi uzun takım ömrü, düşük güç



gereksinimi ve iyi bir yüzeyin bir arada oluşturulmasıdır. Ancak, bu değişkenler arasında niceliksel ilişkiler geliştirmek zordur. Takım ömrü, genellikle takım değişiklikleri arasında işlenmiş parçaların sayısı olarak ifade edilir ve üretimde önemli bir faktör olarak kabul edilir. Çeşitli tablolar, farklı malzemeler için işlenebilirlik derecesini gösteren literatürde mevcuttur. Ancak, bu değerlendirmeler görecelidir. İşlemede yüzeyi etkileyen başlıca faktörler (1) iş parçası ile temas eden kesici takım profili, (2) kesme esnasında built-up kesici kenarda yığılma ile iş parçası üzerinde kalan talaş parçaları, (3) titreşim vardır. Yüzey kalitesinde iyileşme kesme hızı artırmak, ilerleme ve derinliği azaltılarak çeşitli derecelerde elde edilebilir. Kesme sıvısı, takım geometrisi ve takım malzemesinde değişiklikler de önemlidir. Malzemenin mikroyapısı ve kimyasal bileşimi yüzey üzerinde büyük etkisi vardır.

Mekanik çalışma ve termal etkilerin bir sonucu olarak, artık gerilmeler, genel olarak makine ile işlenmiş metal yüzeylerinde gelişir. Bu gerilmeler iş parçasının yorgunluk, stres ve korozyon direncini etkileyebilir. Artık gerilmeleri, keskin takımlar, orta derecede ilerleme ve orta talaş derinlikte işleme ile en aza indirmek için tavsiye edilir.

İşleme işlemleri sırasında plastik deformasyon, termal etkiler, kimyasal reaksiyonlar nedeniyle, işlenmiş yüzeylerdeki değişiklikler ciddi olarak parçanın yüzey bütünlüğünü etkiler. Stres korozyon özellikleri, yanık, çatlak ve bazı kısımlarda artık gerilmeler, bozulma, yorulma dayanımı gibi tipik zararlı etkiler, yüzey bütünlüğünü düşürücü etkiye sahip olabilir. Yüzey bütünlüğünü, zımpara ile parlatma, honlama, finiş işleme ve taşlama gibi teknikler ile elde edilerek iyileştirilebilir.

Makine takımlarında titreşim, çok karmaşık bir davranış olarak, erken oluşmuş takım hatası, kısa takım ömrü, oluşan kötü yüzey genellikle iş parçasında hasarın nedeni olabilir. Titreşim zorla ya da kendinden tahrikli olabilir. Titreşim ilgili tam bir çözüm olmamasına rağmen, bazı önlemler alınabilir [47].

### 3.6. MİNİMUM MİKTARDA YAĞLAMA (MQL) SİSTEMİ

MQL ile, kesici takım ve işlenecek parça arasında yağlama yağı ince dağılmış damlacıklar, aerosol (hava-yağ) yağ ihtiva eden bir hava akışı ile yapılır.

Kesme işleminde, yağlama yağı son derece küçük miktarlar ile elde edilerek yüksek verimlilik, yüksek kesme hızları ve uzun takım ömrü ile elde edilir. Bu işlemde soğutucu-yağlayıcı imha etmeye gerek yoktur.

Bu sistemde, sürtünmenin azalmasıyla takım ve iş parçası arasında oluşan talaşdan ısı aktarımı azalır. Sadece daha yüksek işleme hızları için değil, talaş oluşumu ve çıkarılması sırasında optimum yağlama sağlanarak çok daha iyi bir iş parçası yüzeyi elde edilir [54].

MQL, takım / iş parçası arayüzüne metal kesme sıvısı sunmada son tekniktir. Bu teknolojiyi kullanarak, doğru seçilmiş ve uygulanmış bir sıvı, takım performansına etkin önemli bir fark yaratabilir. Soğutucu kullanılan geleneksel operasyonlarda, kesme sıvıları kesme performansı temelinde esas seçilir. Ancak MQL sistemde, ikincil özellikler önemlidir. Bunlar güvenlik özellikleri (çevre kirliliği ve insan teması), biyolojik, oksidasyon ve depolama kararlılığı önemlidir [55].

MQL dağıtım sistemlerinin iki temel tipi vardır.

Dış püskürtme sistemi, bir ya da daha fazla meme içeren tüpler ile bağlantılı olan bir soğutucu tankına ya da rezervuardan oluşur. Sistem tezgah yanına veya makine üzerine monte edilerek bağımsız olarak ayarlanabilir ve hava ve soğutucu akışı sağlanır. Neredeyse tüm işleme operasyonları için, ucuz, taşınabilir ve kullanım kolaylığı sağlar.

İç dahili püskürtme sistemi, burada, yağ ve hava kesme bölgesine tezgahta mevcut kanallar ve miller içinde yerleşik olarak mevcut sistem ile elde edilir.

Çizelge 3.1’de MQL İşleminde kullanılan kesme sıvıları özellikleri verilmiştir [56].

MQLSıvılarının Karakteristik Özelliği		MQL Sıvılarının Uygulama Alanları	
Sentetik Esterler	Yağlı Alkoller	Sentetik Esterler	Yağlı Alkoller
Kimyasal bileşenli, bitkisel yağlar	Doğal hammadde veya mineral yağlardan yapılan, uzun zincirli alkoller	İşleme Teknolojileri İçin	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- İyi biyoparçalanabilirlik</li> <li>- Suya zararı azdır</li> <li>- Toksikolojik olarak zararsızdır</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>-Öncelikli olarak sürtünmeyi azaltmak</li> <li>-Yüksek yüzey kalitesi</li> <li>-Yapışmaya elverişli iş parçası kullanımlarında</li> <li>-Düşük kesme hızı ve yüksek yüklenme alanları uygulamalarında</li> <li>-Rayların desteklenmesi ve yağlanmasında</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Öncelikli olarak ısı transferi uygulamalarında</li> <li>-Gri döküm demir ve alüminyum döküm alaşımlarının, kesme, tormalama ve frezeleme işlemlerinde</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>-Düşük viskozitede, yüksek parlama ve kaynama noktası</li> <li>-İyi derecede yağlama özelliği</li> <li>-Düşük soğutma özelliği</li> <li>-Artıklar buharlaşır</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Yüksek viskozitede, daha düşük parlama ve kaynama noktası</li> </ul>		

### 3.6.1. Dahili Minimum Miktarda Yağlama Sistemi (Internal MQL)

Dahili besleme cihazları, kesme bölgesine yağlamayı doğrudan kaynak sağlar. Yağ iş mili, takım tabancası veya benzeri yollarla ve kesici takım iç soğutma kanalları aracılığıyla taşınmalıdır.

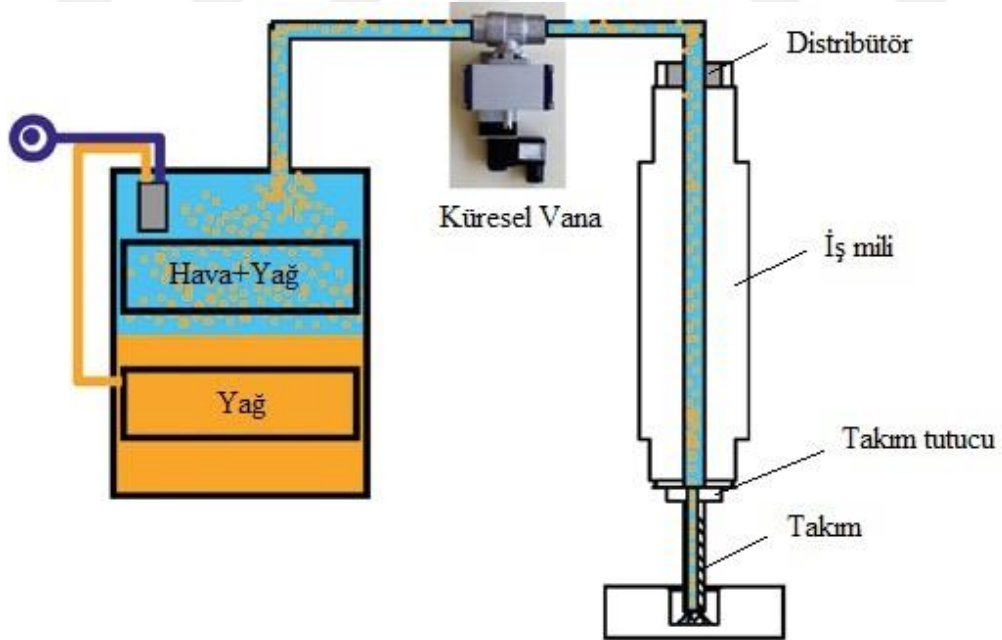
Makine bileşenlerinin tasarımı, bu nedenle asgari miktar yağlama işleyişi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir ve bazı durumlarda genel sistem optimizasyonu gerektirir. Yağlama tüm işleme dizisi sırasında kritik noktalarda sürekli olarak mevcuttur. Bu çok yüksek kesme hızlarında çok derin delik delme işlemleri gerçekleştirmek için kullanılır.

Harici besleme cihazlarının aksine, besleme memelerini ayarlamaya gerek yoktur ve dağılım nedeniyle çok az kayıp vardır. Yağ ve hava miktarları için ayarlar makine kontrol sistemi kullanılarak gerçekleştirilebilir.

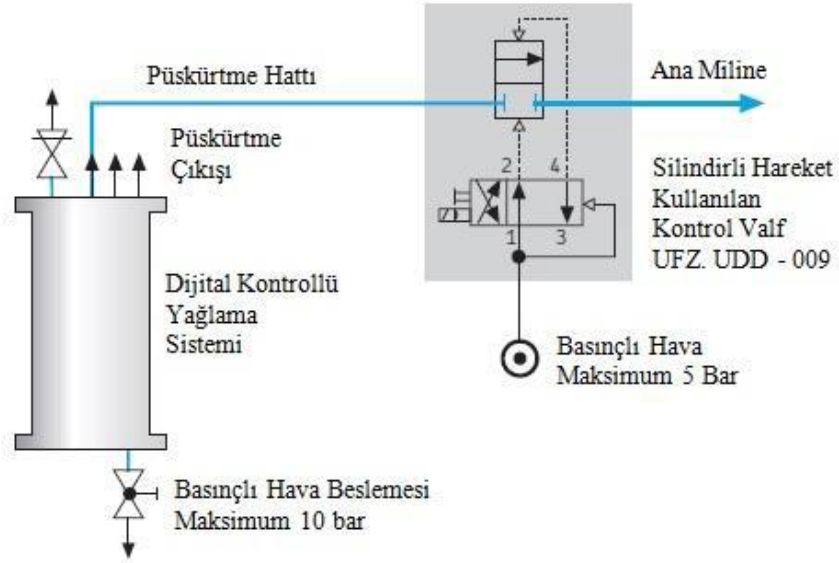
Büyük oranda üretim, seri imalat makine verimliliği açısından daha kısa işleme süreleri elde etmek için dahili sistemler tercih edilir.

Venturi prensibi kullanılarak kanallı sistemler ile atomizasyon en etkili ve güvenilir bir biçimde uygulanır. Sistemde, daha kaliteli bir aerosol (yaklaşık 0,5 mikron 2 mikron) oluşturulur ve neredeyse hiçbir kayıp oluşmadan kesme noktasına ulaşır. Yağlama için, kesme noktasına ulaşmada kullanılan kanallar (döner ayna, iş mili, takım tutucu, kesici takım) aracılığıyla yapılır. Şekil 3.30'da gösterilmiştir.

Esnek üretim sistemleri için aygıtlar makine kontrol sistemine bir alan veriyolu arabirimi ile bağlanır. Proses parametrelerinin ayarları NC programından doğrudan kontrol edilir [57].



Şekil 3.30. Dahili MQL Sistem [57].



Şekil 3.31. “SKF Digital Super System” örnek dahili sistem pnömatik şeması [54].

### 3.6.2. Harici Minimum Miktarda Yağlama Sistemi (External MQL)

Harici besleme cihazları, temas noktasının yakınına yağlayıcı ve ayrı atomizasyon havası oluşturur. Bu paralel sistem veya paralel boru paket içinde yer alır. Boru sonunda, yağ, bir püskürtme memesi nozül ile atomize edilir ve dışardan gelen bir aerosol olarak kesme bölgesine uygulanır.

Düşük maliyetli, mevcut sistemlere uydurulması ve mevcut kesici takımlar kullanılması seçeneği bu sistemlerin önemli avantajları arasında bulunmaktadır. Memeler (nozül) elle ayarlanabilir veya aracı ek konumlandırma eksenleri ile ayarlanabilir; dağıtım ve uygulama alanı etkileri nedeniyle kayıplar vardır [57].



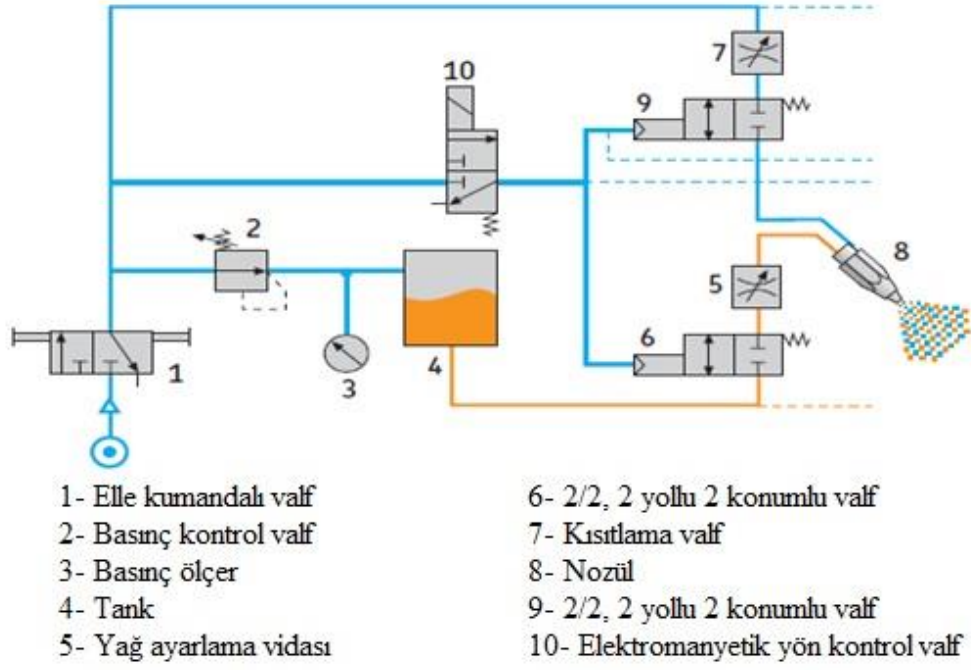
Şekil 3.32. Basınç tankı ve kullanılan cihazlar.

Bireysel bağlanır ve düzenlenebilir çeşitli çıkışlarının yanı sıra komple aksesuarları (memeleri-nozül, tank, besleme ünitesi) ile mümkün olduğunca modüler bir tasarımıyla avantajlıdır.

Mikro pompa sistemlerinin aksine, bu sistemlerin en önemli avantajı düzgün bir yağlama akışı ve daha az aşınmaya maruz hareketli parçalara sahip olmasıdır.

Basınç tank sistemlerinde dezavantajları vardır. Yağ dozaj hacminin hassas ayar sadece sınırlı ölçüde mümkündür ve çıkışların sayısı sınırlıdır [57].

Şekil 3.33'de deneylerin yapılmasında kullanılan MQL sisteminin pnömatik devre şeması incelenebilir.



Şekil 3.33. “SKF Temel Sistem”, harici MQL sistemi pnömatik şeması [54].

## BÖLÜM 4

### MATERYAL VE YÖNTEM

#### 4.1. GİRİŞ

Bu çalışmada, literatür araştırması ışığında planlanan ve gerçekleştirilen çalışmalar aşağıda verilmiştir:

- Malzemenin temin edilmesi,
- Malzemelerin ısıtılma işlemine tabi tutulması,
- Belirlenen işleme parametrelerine göre kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesi için sert tornalama deneylerinin yapılması,
- Deneysel olarak ölçülen, esas kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülük değerlerinin istatistiksel yöntemler ile analizi.

#### 4.2. DENEY MALZEMESİ

Deneysel çalışmalarda, AISI H10A sıcak iş takım çeliği iş parçası malzemesi olarak kullanılmıştır. Demir dışı metallerin dövülerek şekillendirildiği kalıplarda, yüksek basınçlı metal enjeksiyon kalıplarda, sıcak pres kalıpları ve metal ekstrüzyon kalıplarında kullanılan AISI H10A çeliğinin kimyasal bileşimi Çizelge 4.1’de verilmiştir. AISI H10A sıcak iş takım çeliği, tokluğu yüksek, ısıtılma şoklarına dayanımlı, yüksek sıcaklıklarda aşınma dayanımını kaybetmeyen bir malzemedir.

Çizelge 4.1. Deney numunelerinin kimyasal bileşimi (Ağırlıkça %) [58].

C	Mn	Co	Cr	Mo	V	Fe
0,32	0,40	2,75	2,95	2,8	0,55	Kalan



#### 4.2.1. Deneş Malzemesinin Isıl İşlemi

Deneş numunesinin sertliği Ankara-Polatlı Ortadoğu Rulman San. A.Ş Isıl İşlem Bölümü Fırınlarında AISI H10A sıcak iş takım çeliğine uygulanan vakumla sertleştirme yöntemi ile 54-55 HRC'ye çıkarılmıştır. Deneş numunelerine uygulanan ısıt işlem yönteminin detayları aşağıda verilmiştir.

Vakum ısıt işlemi: Vakum ısıt işlemi çok sayıda avantajları ile öne çıkmaktadır. Kalitesi, işlemin tekrarlanabilirlik özelliği ve çevreyle dost oluşu sayesinde kaliteli takımlarda, özellikle ısıt işlem sonrasında plazma nitrasyon veya PVD kaplama işlemi göreceş parçalarda tercih edilmektedir. Sıcaklık, soğutma basıncı, soğutma yönü gibi parametrelerin seçimindeki esneklik, bu işlemi tercih edilir hale getirmiştir. Vakum ısıt işleminin avantajlarını aşağıdaki şekilde sıralamak mümkündür [59].

- Dekarbürüzyasyon oluşturmaz,
- Asgari ölçü değişiklikleri ve kontrol edilebilir çarpılma,
- Parlak ve temiz yüzeyler sağlanması, parça yüzeyinde oksidasyon olmaması
- Fırın bölümünde minimum sıcaklık değişikliği ( $\pm 5^\circ$ ),
- Bilgisayar/PLC kontrolü sayesinde, işlemin tekrarlanabilirliği ve bilgisayar tekniği ile sonuçların çoğaltılabilmesi,
- CVD kaplı parçaların ısıt işleme tabi tutulması veya vakum ısıt işlemi akabinde kaplama.

Çarpılma ve ölçü değişikliği: Çarpılma ve ölçü değişikliklerinin birçok nedeni olabilir. Parçadaki homojensizlik veya ısıt işlem öncesi çarpılma, yanlış malzeme kesimleri veya elverişsiz yapı bunun için tetikleyici olabilir. Ancak vakum altında sertleştirmede, çarpılma aşağıda verilen yöntemler ile asgariye indirilebilir:

- Kontrollü ısıtma ve ısıtma basamaklarının doğru seçilmesi ile gerilimin asgariye indirilmesi,
- Koruyucu gaz atmosferde, konveksiyon ve radyasyon sıcaklığının  $850^\circ\text{C}$ 'ye kadar birleşimi ile bütün şarjın eşit şekilde ısıtılması,

- 1-10 bar arasında bir soğutma basıncının seçilmesi ile soğutma hızının uyumunun sağlanması,
- Soğutma gaz yönünün yukarıdan aşağıya veya sağdan sola değiştirilmesi ile homojen soğutma.

Çarpılma bakımından kritik parçalarda (örneğin basınçlı döküm kalıpları), parçadaki sıcaklık farkını dengelemek için bir ön ısıtma yapılabilir, fakat bu işlem her malzeme için uygun değildir. Vakum tesisi bazı uygulamalarda düşük, bazı uygulamalarda yüksek vakuma ulaşana kadar temizlenir. Ardından soğutma basıncı elde edilene kadar tesise koruyucu gaz (azot) verilir. Özel uygulamalar için argon kullanılabilir.

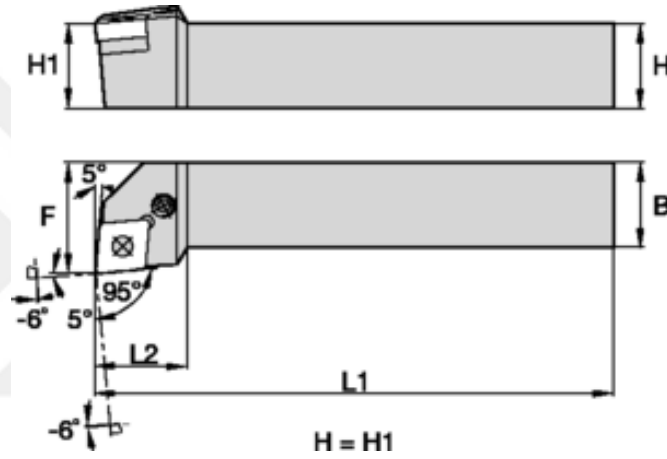
Menevişleme işlemi: Tüm takım ve kalıp çeliklerine sertlik, dayanım, tokluk ve aşınma dayanımı açılarından optimum özellikleri elde etmeleri için ısıtma işlemi uygulanmalıdır. Sertleştirme sonrası gerilmeleri giderirken son özellikleri kontrol eden meneviş işlemi karmaşık olabilir, bazı çeliklere birkaç kez menevişleme gerekir. Isıtma işlemi görmüş takım veya kalıba daha fazla aşınma ve korozyon direnci kazandırmak için nitrasyon, nitrokarbürizasyon, PVD yöntemi ile çeşitli kaplamalar, boronlama gibi yüzey işlemleri yapılabilir. Çeliğin kullanılabilmesi ve en uygun yapıyı elde etmek için iki temperleme gereklidir. İkinci temperleme sonrası bu yapı elde edilmiş olur. Sıcak iş takım çeliklerinde üçüncü bir temperleme de gereklidir. İşlem önce vakum altında yapılmaktadır. Ön ısıtmalar yapıldıktan sonra ısıtma sıcaklığına çıkılıp, soğutma azot gazı ile yapılmaktadır [59].

#### **4.3. DENEY MALZEMESİNİN İŞLENEBİLİRLİK ÖZELLİKLERİ**

AISI H10A çeliğinden hazırlanan deney numunelerinin işlenebilirlik ölçütleri olarak kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlüğü esas alınmıştır. Tornalama sırasında oluşan radyal kuvvet ( $F_r$ ), ilerleme kuvveti ( $F_f$ ) ve esas kesme kuvveti ( $F_c$ ) deneysel olarak ölçülmüştür. Ancak, değerlendirmelerde tornalamada güç sarfiyatı açısından birinci derecede öneme sahip olan  $F_c$  kuvveti dikkate alınmıştır. Yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesinde ise ortalama yüzey pürüzlülüğü ( $R_a$ ) değeri esas alınmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan makine, takım ve cihazlar aşağıda sunulmuştur.

### 4.3.1. Takım Tezgahtı Ve Kesici Takımlar

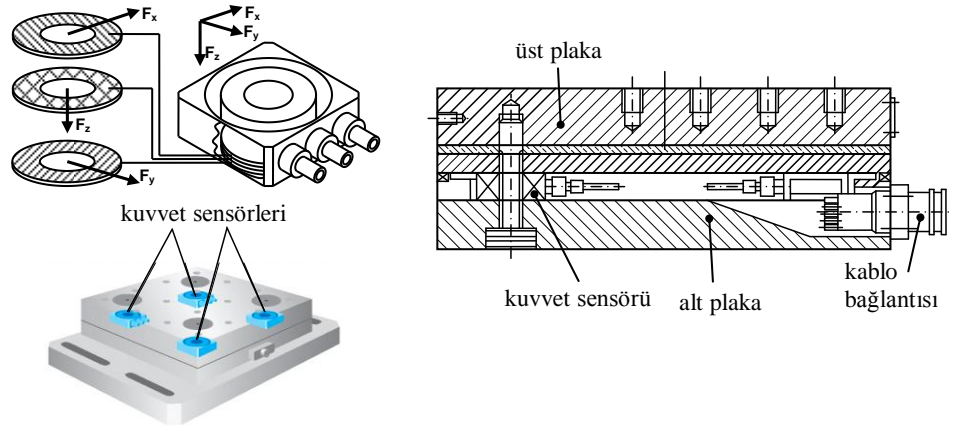
Deneylelerde kullanılan takım tezgahı, Johnford TC 35 CNC Fanuc-OT marka olup motor gücü 20 HP'dir. İşleme deneylelerinde, kesici takım olarak Kennametal firmasından temin edilen CNGA120404 KB1610 kodlu kaplamasız CBN takımlar ile CNGA120404 KB5610 kodlu kaplamalı CBN kesici takımlar kullanılmıştır. Takım tutucu olarak ise kesici takımların rijit bir şekilde bağlanmasını sağlayan PCLNR 2525M12 I2KV27 kodlu Kenna Metal ürünü dış tornalama kateri kullanılmıştır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Takım tutucu [60].

### 4.3.2. Kesme Kuvveti Ölçüm Cihazı Ve Deneyle Düzenegi

Talaş kaldırma esnasında oluşan üç kuvvet bileşeni olan; esas kesme kuvveti ( $F_c$ ), ilerleme kuvveti ( $F_f$ ) ve radyal kuvveti ( $F_r$ ) "KISTLER 9257B" tipi piezoelektrik dinamometre ile ölçülmüştür (Şekil 4.2). Deneyle düzenegi ve deneysel verilerin analiz aşamaları Şekil 4.3'te şematik olarak verilmiştir.

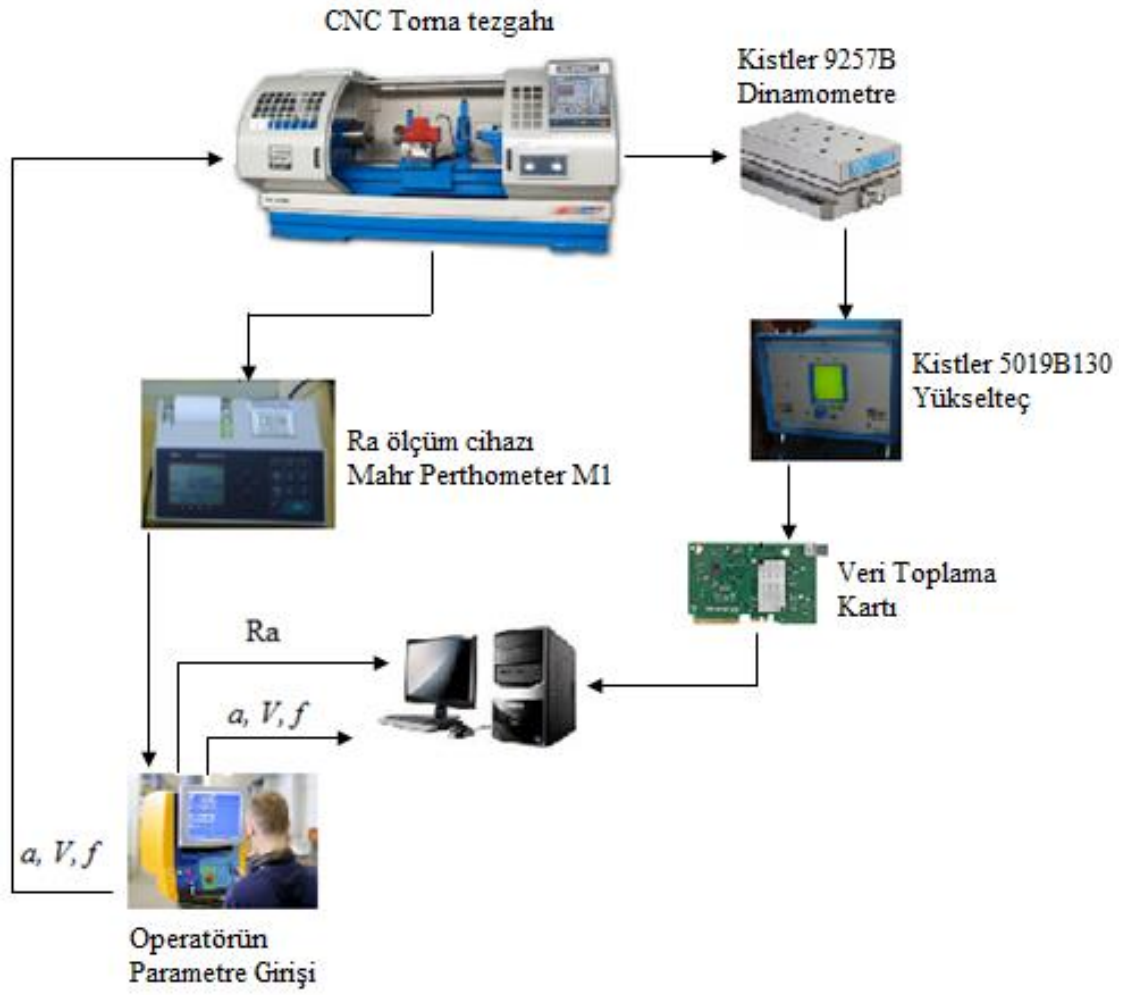


Şekil 4.2. Kistler 9257B dinamometre ve elemanları.

Deney düzeneğinde kullanılan kuvvet ölçme sistemi; üç kuvvet bileşenini ( $x_{F_r}$ ,  $y_{F_r}$ ,  $z_{F_c}$ ) aynı anda ölçebilen dinamometre, üç kanallı charge-amplifikatörü (yükselteç), dinamometreye bağlanabilen uç bağlama aparatı, ölçüm bilgilerinin analizi için program (Dynoware), bilgisayara bağlantı için ISA tipi A/D kartı ve ara bağlantı kablolarından oluşmaktadır (Şekil 4.3).

Yük amplifikatörü, kuvvet sensöründen her yönde gelen ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ) voltaj sinyalleri ayrı ayrı değerlendirebilmektedir. Analog kuvvet sensörlerinin ürettiği sinyallerin analogdan sayısal dönüştürücünün algılama kapasitesinin altında bir değere sahip olabilir, ancak bu tip veri kayıpları önlenmektedir. Aynı zamanda, üç kanallı ve mikroişlemci kontrollüdür.

Dinamometreden gelen sinyalleri yükselterek volt cinsinden çıkış vermektedir. İstenilen parametreler cihaz üzerindeki tuşlar vasıtasıyla ayarlanabilmekte, LCD ekran ve LED göstergelerden okunabilmesinin yanı sıra cihaz üzerinden RS232 C ve IEEE-488 interface çıkışları sayesinde tez için yapılan deney sonuçları bilgisayara aktarılmıştır.



Şekil 4.3. Deney düzeneği.

### 4.3.3. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Cihazı

AISI H10A malzemesinin sert tornalanmasında oluşan yüzey pürüzlülüklerinin ölçülmesi için Mahr Perthometer M1 tipi pürüzlülük ölçme cihazı kullanılmıştır. Bu cihazın teknik özellikleri Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Yüzey pürüzlülük ölçme cihazının teknik özellikleri.

Model	Mahr Perthometer M1
İğne uç yarıçapı	2 $\mu\text{m}$
Ölçme aralığı	100-150 $\mu\text{m}$
Tarama hızı	0,5 m/sn
Tarama kuvveti	0,75 mN
Profil çözünürlüğü	12 mm
Filtre	Gaussian
Ölçülebilen parametreler	$R_a$ , $R_z$ , $R_{\text{max}}$
Örnekleme uzunluğu	0,25 – 0,8 – 2,5 mm
Ölçme uzunluğu (L)	1,75 – 5,6 – 17,5 mm

#### 4.3.4. Minimum Miktarda Yağlama (MQL) Sistemi

MQL uygulayıcısı olarak, kullanılan takım tezgahı özellikleri dikkate alınarak harici uygulamalara uygun olan SKF marka UFB20-Basic soğutma sistemi tercih edilmiştir. Şekil 4.4'te MQL sistemine ait temel ünite verilmiştir. Bu sistem hemen hemen her türlü tezgaha entegre edilerek, uygulama yapılabilmesi mümkündür.



Şekil 4.4. “UFB20-Basic” MQL sistemi [61].

Sistemde MQL uygulaması yapabilmek için iki çeşit yağ kullanılmaktadır. Bunlar çelik türü malzemeler “Lubrioil” ve alüminyum türü malzemeler “LubriFluid-F100” olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Yapılan deneylerde kullanılan malzeme AISI H10A türü çelik olduğundan Lubrioil cinsinden yağ kullanılmıştır. Çizelge 4.3'te ise MQL uygulaması için kullanılan yağın özellikleri gösterilmektedir. MQL ile yapılan deneyler 16,25 ml/dk debi seçilerek yapılmıştır.

Çizelge 4.3. “Lubrioil” MQL sistem yağı özellikleri.

MQL Sistem Yağı ve Standartlara Göre Özellikleri		DIN 51757	DIN 51562	DIN ISO 2592
Yağ Cinsi	İçerik	Yoğunluk 20° C 'de [gr/cm <sup>3</sup> ]	Viskozite 40° C 'de [mm <sup>2</sup> /s]	Yanma Noktası [C°]
LubriOil	Ester yağ asidi	0,92	47	265

#### 4.4. DENEY TASARIMI

Taguchi Yöntemi'ne göre yapılan deney tasarımında ilk olarak işlenebilirlik kriterleri ( $F_c$  ve  $R_a$ ) üzerinde doğrudan etkisi olan kesme parametreleri belirlenmiştir. Bu amaçla, A- Kesme derinliği (mm), B- İlerleme miktarı (mm/dev), C-Kesme hızı (m/dk) olmak üzere üçfaktör seçilmiştir. Bu faktörlerin seviyeleri ise kesici takım firması ve literatürdeki sert tornalama işlemleri dikkate alınarak tespit edilmiştir. Ayrıca, kaplamasız ve kaplamalı CBN kesici takımlar kullanılarak yapılan deneyler, kuru ve MQL olmak üzere iki kesme ortamında gerçekleştirilmiştir. Bu faktör ve seviyelere göre yapılan deney tasarımı için  $L_9$  dikey dizini kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan faktörler ve seviyeleri Çizelge 4.4'te verilmiştir. Taguchi  $L_9$  dikey dizinine göre uygulanan deneyler Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.4. Faktörler ve seviyeleri.

Sembol	Faktörler	Seviye		
		1	2	3
A	Kesme derinliği, a (mm)	0,1	0,2	0,3
B	İlerleme miktarı, f (mm/dev)	0,05	0,1	0,15
C	Kesme hızı, V (m/dk)	100	150	200

Çizelge 4.5. Taguchi L<sub>9</sub> deney tasarımına göre yapılan deneyler.

	<b>Deney No</b>	<b>a (mm)</b>	<b>f (mm/dev)</b>	<b>V (m/dk)</b>	<b>a (mm)</b>	<b>f (mm/dev)</b>	<b>V (m/dk)</b>
<b>KB1610 Kalite CBN:9 deney (Kuru İşleme)</b>	1	1	1	1	0,1	0,05	100
	2	1	2	2	0,1	0,1	150
	3	1	3	3	0,1	0,15	200
	4	2	1	2	0,2	0,05	150
	5	2	2	3	0,2	0,1	200
	6	2	3	1	0,2	0,15	100
	7	3	1	3	0,3	0,05	200
	8	3	2	1	0,3	0,1	100
	9	3	3	2	0,3	0,15	150
<b>KB5610 Kalite CBN:9 deney (Kuru İşleme)</b>	10	1	1	1	0,1	0,05	100
	11	1	2	2	0,1	0,1	150
	12	1	3	3	0,1	0,15	200
	13	2	1	2	0,2	0,05	150
	14	2	2	3	0,2	0,1	200
	15	2	3	1	0,2	0,15	100
	16	3	1	3	0,3	0,05	200
	17	3	2	1	0,3	0,1	100
	18	3	3	2	0,3	0,15	150
<b>KB1610 Kalite CBN: 9 deney (Minimum Miktarda Yağlama)</b>	19	1	1	1	0,1	0,05	100
	20	1	2	2	0,1	0,1	150
	21	1	3	3	0,1	0,15	200
	22	2	1	2	0,2	0,05	150
	23	2	2	3	0,2	0,1	200
	24	2	3	1	0,2	0,15	100
	25	3	1	3	0,3	0,05	200
	26	3	2	1	0,3	0,1	100
	27	3	3	2	0,3	0,15	150
<b>KB5610 Kalite CBN:9 deney (Minimum Miktarda Yağlama)</b>	28	1	1	1	0,1	0,05	100
	29	1	2	2	0,1	0,1	150
	30	1	3	3	0,1	0,15	200
	31	2	1	2	0,2	0,05	150
	32	2	2	3	0,2	0,1	200
	33	2	3	1	0,2	0,15	100
	34	3	1	3	0,3	0,05	200
	35	3	2	1	0,3	0,1	100
	36	3	3	2	0,3	0,15	150



## BÖLÜM 5

### SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, sertleştirilmiş AISI H10A sıcak iş takım çeliğinin CBN kesici takımlarla (kaplamalı ve kaplamasız) işlenmesinde, kesme parametrelerinin (kesme hızı, ilerleme miktarı, kesme derinliği) ve kesme şartlarının (Kuru kesme ve Minimum miktarda yağlama) kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. İş parçası malzemesinin işlenebilirliği sert tornalama yöntemi kullanılarak incelenmiştir.

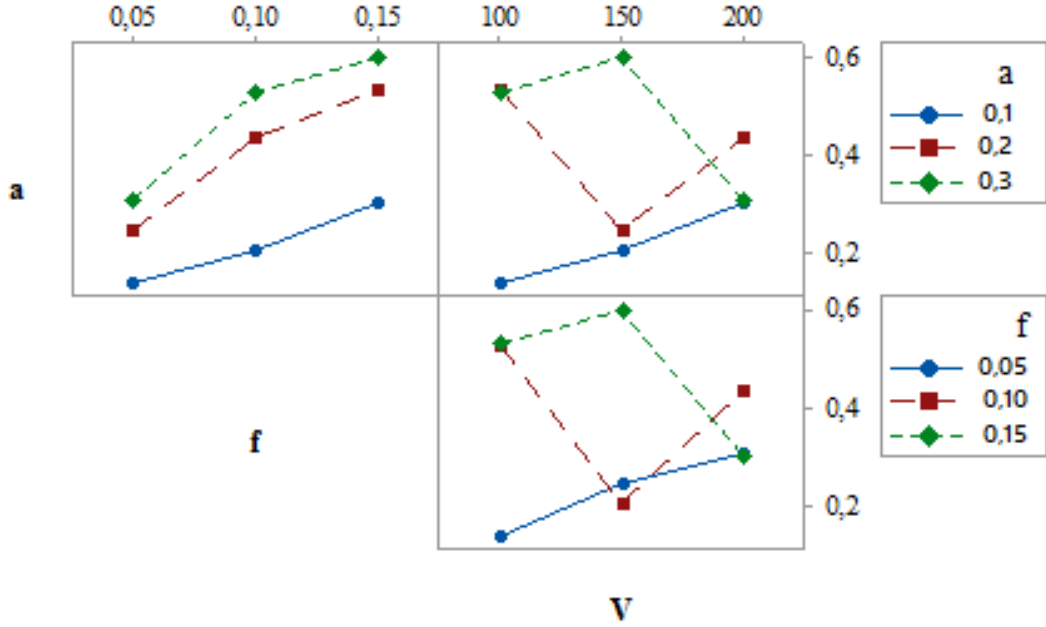
Talaş kaldırma işleminde kontrol edilebilen bu parametreler/faktörler ışığında, her bir deney için yeni bir CBN kesici takım kullanmak suretiyle 36 adet deney yapılmıştır. Kesici takım malzemesi ve kesme parametrelerinin bağımsız değişken (girdi) olarak alındığı bu çalışmada, bağımlı değişken (çıkıtı) olarak işlenmiş yüzeylerde oluşan ortalama yüzey pürüzlülüğü ve esas kesme kuvveti değerlendirilmiştir.

Deney sonuçlarının değerlendirilmesi, elde edilen veriler kullanılarak Microsoft Office Excell programında çizilen grafikler ve istatistiksel analizler yardımıyla yapılmıştır.

#### 5.1. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜNDEĞERLENDİRİLMESİ

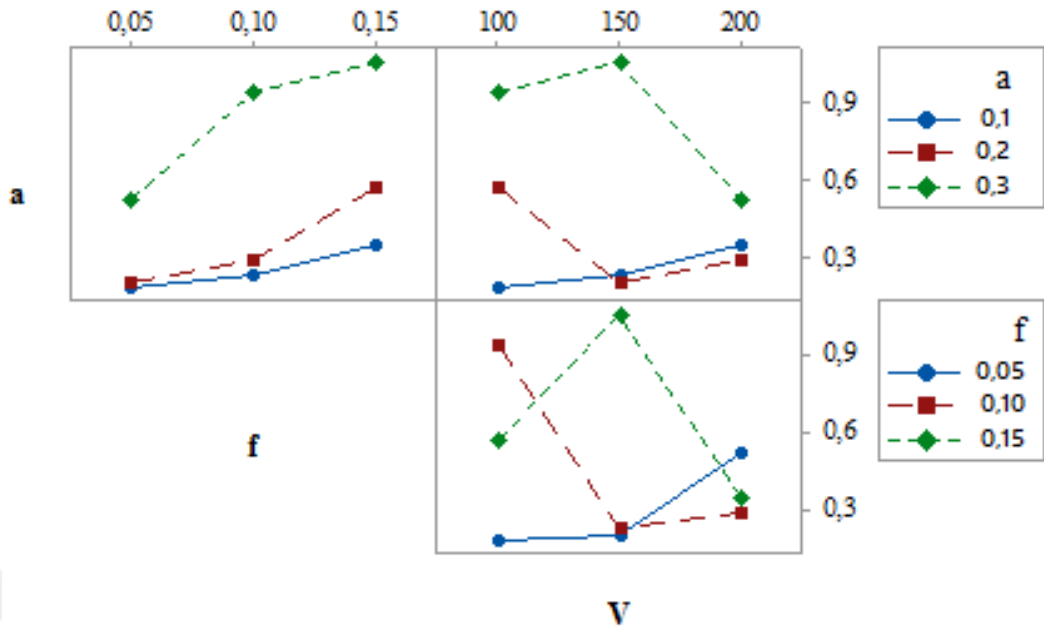
AISI H10A sıcak iş takım çeliği üzerinde gerçekleştirilen sert tornalama deneyleri sonucunda oluşan yüzeylerin pürüzlülüğünün değerlendirilmesinde, kontrol kriteri olarak ortalama yüzey pürüzlülüğü ( $R_a$ ) dikkate alınmıştır. Her bir deney sonrası iş parçasının işlenmiş yüzeyinin üç farklı yerinden ölçülen  $R_a$  değerlerinin aritmetik ortalaması alınmıştır. Değerlendirmelerde, Kuru işleme ve MQL kesme şartlarında kaplamasız ve kaplamalı CBN kesici takımlarla elde edilen  $R_a$  değerlerinin değişimi

ayrı grafiklerde gösterilmiştir. Şekil 5.1, 5.2, 5.3, 5.4’de ilerleme miktarı (f), kesme hızı (V) ve kesme derinliği (a)’ne bağlı olarak  $R_a$ ’nın değişimi grafik olarak verilmiştir.



Şekil 5.1. Kaplamasız CBN takım ile kuru işlemede oluşan  $R_a$  değişimi.

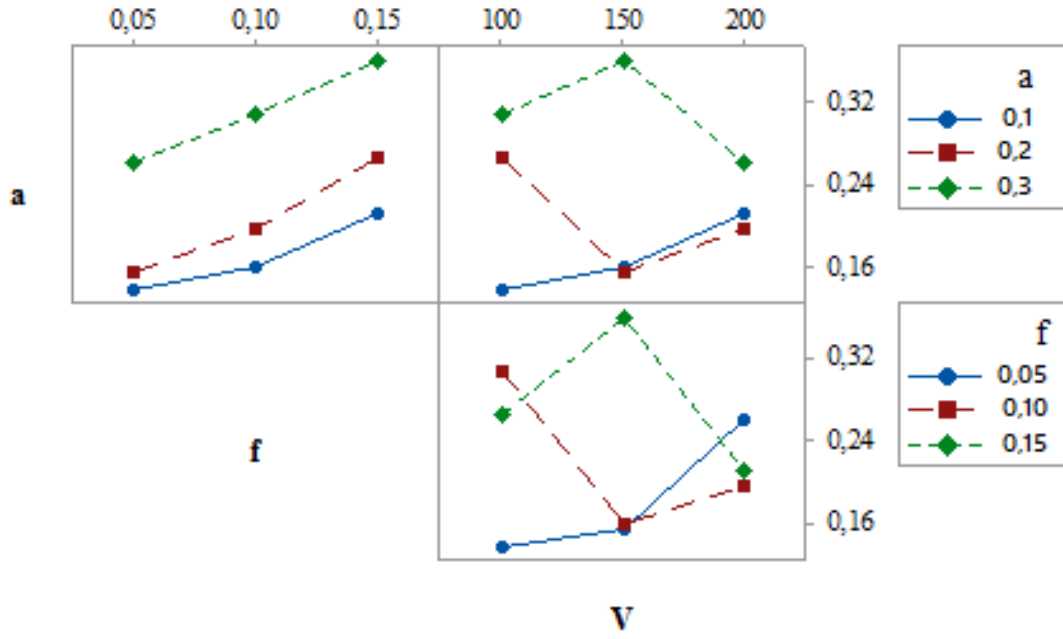
Şekil 5.1 incelendiğinde, genel olarak ilerleme miktarı ve kesme derinliği arttıkça ortalama yüzey pürüzlülüğü ( $R_a$ )’nın arttığı gözlemlenmiştir. Bunun yanında, üç farklı tipte kesme hızı (V), (100, 150, 200 m/dk) kullanılmıştır. Şekil incelendiğinde, kesme hızı ile kesme derinliği ve ilerleme miktarı etkileşimleri açısından yüzey pürüzlülük değerlerinde bir düzensizlik göze çarpmaktadır. Literatürde, kesme hızının artmasıyla  $R_a$  değerlerinde azalma beklenmektedir. Ancak, Çizelge 4.5’te verilen deney tasarımına bakılırsa, kesme hızı dağılımı farklıdır. Bu nedenle, kesme hızının artmasıyla  $R_a$ ’nın değişimi literatürde bilinen durumla örtüşmemektedir. Kaplamasız CBN takım ile kuru kesme şartında yapılan deneyler sonucunda, en düşük yüzey pürüzlülük 0,141  $\mu\text{m}$  değerine, 0,05 mm/dev ilerleme miktarı, 0,1 mm kesme derinliği ve 100 m/dk kesme hızı şartlarında ulaşılmıştır. En yüksek yüzey pürüzlülük 0,578  $\mu\text{m}$  değerine, 0,1 mm/dev ilerleme miktarı, 0,2 mm kesme derinliği ve 200 m/dk kesme hızı şartlarında ulaşılmıştır.



Şekil 5.2. Kaplamalı CBN takım ile kuru işlemede oluşan Ra değişimi.

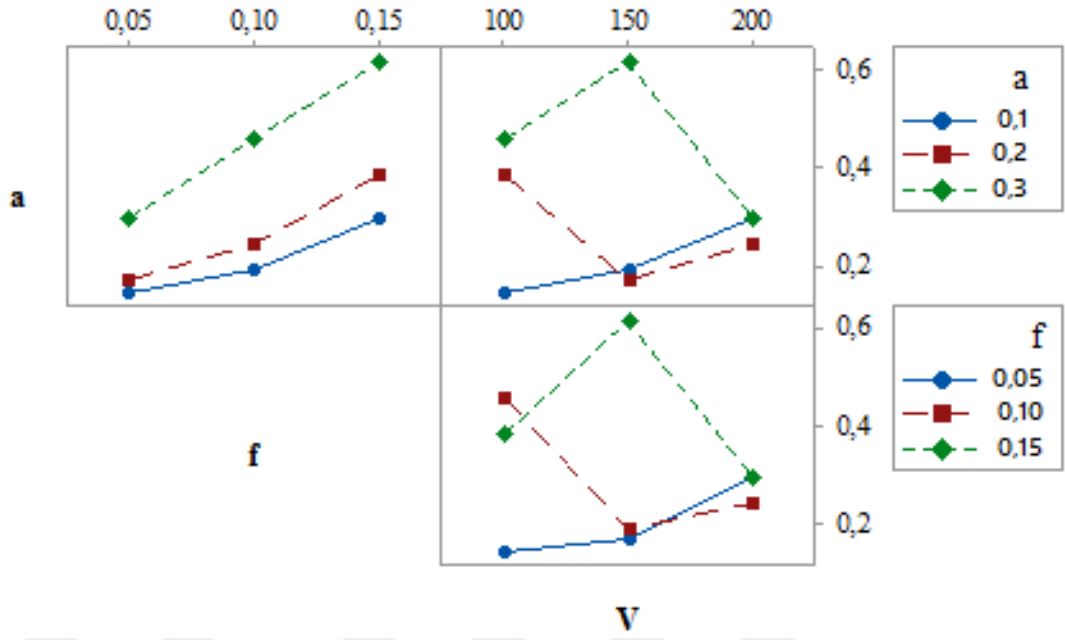
Şekil 5.2 incelendiğinde, kesme derinliği ve ilerlemenin artması ile yüzey pürüzlülüğünde belirgin bir artış görülmektedir. Grafik incelendiğinde, kesme hızına göre yüzey pürüzlülüğünün değişiminde bir düzensizlik göze çarpmaktadır. Bu düzensizliğin nedeni,  $L_9$  deney tasarımına atfedilmiştir. Kaplamalı CBN kesici takımla yapılan sert tornalama deneyleri sonucunda, ilerleme miktarı 0,05 mm, kesme derinliği 0,1 mm ve kesme hızı 100 m/dk alındığında, en düşük yüzey pürüzlülük değerine 0,188  $\mu\text{m}$  ulaşılmıştır. En yüksek yüzey pürüzlülük 1,056  $\mu\text{m}$  değerine, 0,15 mm/dev ilerleme miktarı, 0,3 mm kesme derinliği ve 150 m/dk kesme hızı şartlarında ulaşılmıştır.

Kuru işleme yönteminde kaplamasız CBN takım ile elde edilen en düşük Ra değeri 0,141  $\mu\text{m}$ , kaplamalı CBN takım ile elde edilen en düşük Ra değeri 0,188  $\mu\text{m}$  ile aralarındaki değişim %33,3 olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 5.3. Kaplamasız CBN takım ile MQL kesme şartında oluşan Ra değişimi.

Şekil 5.3 incelendiğinde, kuru kesme işlemlerinde elde edilen yüzey pürüzlülük değişimlerine paralel değişimler göze çarpmaktadır. Kesme hızına göre yüzey pürüzlülüğünün değişimleri bu grafikte de benzer eğilimde karşımıza çıkmaktadır. MQL ile işlemede kaplamasız CBN kesici takımla yapılan deneyler sonucunda en düşük Ra değeri  $0,139 \mu\text{m}$  olarak ölçülmüştür. Bu değer, kesme derinliği, kesme hızı ve ilerleme miktarının en küçük olduğu değerlerde elde edilmiştir. Kesme hızının 200 m/dk, ilerleme miktarı 0,05 mm/dev ve kesme derinliğinin 0,3 mm maksimum değerlerde olduğunda ise en yüksek yüzey pürüzlülük değerine  $0,36 \mu\text{m}$  ulaşılmıştır.



Şekil 5.4. Kaplamalı CBN takım ile MQL kesme şartında oluşan Ra değişimi.

Şekil 5.4 incelendiğinde, kaplamalı CBN kesici uç ile sert tornalama işleminde uygulanan kesme şartlarına göre ölçülen yüzey pürüzlülük değerleri kaplamasız CBN ile elde edilenlere göre daha düşüktür. Bu sonucun nedeni olarak kaplamalı kesici takım geometrisi ve MQL sistemi ile uygulanan kesme sıvısı uygulamasına bağlı oluşan talaş oluşumugösterilebilir. Deneyler sonucunda, 0,05 mm/dev ilerleme miktarı, 0,1 mm kesme derinliği ve 100 m/dk kesme hızında en düşük pürüzlülük değerine (0,147  $\mu\text{m}$ ) ulaşılmıştır. Diğer yandan,0,15 mm/dev ilerleme miktarı, 0,3 mm kesme derinliği ve 150 m/dk kesme hızında, en yüksek yüzey pürüzlülük değeri (0,617  $\mu\text{m}$ ) elde edilmiştir.

AISI H10A sıcak iş takım çeliği malzemesinin işlenmesinde; kaplamasız ve kaplamalı CBN ile MQL vekuru kesme şartlarında kesme derinliği, ilerleme miktarı ve kesme hızı üç farklı seviyesi kullanılarak 36 adet deney yapılmıştır. Kesme şartlarının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etki düzeylerini belirlemek amacıyla %95 güven düzeyinde varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır. ANOVA sonuçları Çizelge 5.2, 5.3, 5.4, 5.5'de verilmiştir. Burada, her bir faktör/değişkenin önem seviyesini gösteren P değerleri ile serbestlik derecesi (SD), kareler toplamı (KT), kareler ortalaması (KO), F değerleri ve yüzde etki oranları (PCR) görülmektedir. Değişkenlerin önem seviyesi, ANOVA tablosundaki P değeri dikkate alınarak belirlenmektedir. Ayrıca, her bir değişkenin  $R_a$

üzerindeki yüzde etki oranları (Percentage Contribution Ratio\_PCR) hesaplanmış olup, ANOVA tablosunda verilmiştir.

Çizelge 5.1. Kaplamasız CBN ile kuru kesme şartı için ANOVA sonuçları.

Faktör	Serbestlik Derecesi (SD)	Kareler Toplamı (KT)	Kareler Ortalaması (KO)	F değeri	P değeri	PCR (%)
a	2	0,111498	0,055749	37,36	0,026	51,79
f	2	0,095218	0,047609	31,91	0,030	44,22
V	2	0,005591	0,002795	1,87	0,348	2,60
Hata	2	0,002984	0,001492			1,39
Toplam	8	0,21529				100

Çizelge 5.1 incelendiğinde, kaplamasız CBN takım ile kuru kesme şartlarında ölçülen yüzey pürüzlülüğü üzerinde en fazla öneme sahip değişken %51,79 PCR ile kesme derinliği olarak bulunmuştur.  $R_a$  üzerinde ikinci derecede öneme sahip değişken ise %44,22'lik PCR değeri ile ilerleme miktarıdır. ANOVA tablosundaki P değerlerine göre, kesme hızının %95 güven düzeyinde  $R_a$  için önemli olmadığı belirlenmiştir.

Çizelge 5.2. Kaplamalı CBN ile kuru kesme şartı için ANOVA sonuçları.

Faktör	Serbestlik Derecesi (SD)	Kareler Toplamı (KT)	Kareler Ortalaması (KO)	F değeri	P değeri	PCR (%)
a	2	0,587115	0,293557	67,59	0,015	70,51
f	2	0,187696	0,093848	21,61	0,044	22,54
V	2	0,049234	0,024617	5,67	0,150	5,91
Hata	2	0,008687	0,004343			1,04
Toplam	8	0,832732				100

Çizelge 5.2. incelendiğinde, kaplamalı CBN takım ile kuru kesme şartlarında ölçülen yüzey pürüzlülüğü üzerinde en fazla öneme sahip değişken %70,51 PCR ile kesme derinliği olarak bulunmuştur.  $R_a$  üzerinde ikinci derecede öneme sahip değişken ise %22,54'lik PCR değeri ile ilerleme miktarıdır. Ayrıca, ANOVA tablosundankesme hızının %95 güven düzeyinde  $R_a$  için önemli olmadığı görülmektedir ( $P>0,05$ ).

Çizelge 5.3. Kaplamasız CBN ile MQL kesme şartı için ANOVA sonuçları.

Faktör	Serbestlik Derecesi (SD)	Kareler Toplamı (KT)	Kareler Ortalaması (KO)	F değeri	P değeri	PCR (%)
a	2	0,031993	0,015996	465,91	0,002	69,68
f	2	0,013454	0,006727	195,93	0,005	29,31
V	2	0,000393	0,000196	5,72	0,149	0,86
Hata	2	0,000069	0,000034			0,15
Toplam	8	0,045908				100

Çizelge 5.3. incelendiğinde, MQL kesme şartında kaplamasız CBN takım ile elde edilen yüzey pürüzlülüğü üzerinde en fazla öneme sahip değişkenin %69,68 PCR ile kesme derinliği olduğu görülmektedir.  $R_a$  üzerinde ikinci derecede öneme sahip değişken ise %29,31'lik PCR değeri ile ilerleme miktarıdır. ANOVA tablosuna göre; kuru kesme şartında elde edilen sonuca benzer olarak, MQL kesme şartında kesme hızının istatistiksel olarak önemli olmadığı belirlenmiştir.

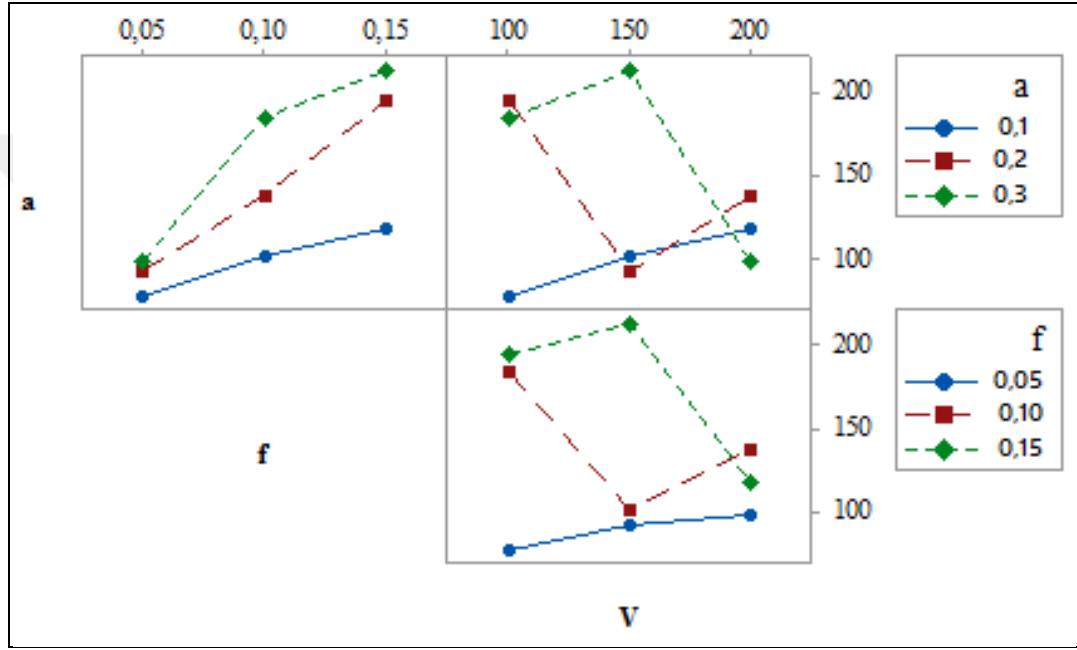
Çizelge 5.4. Kaplamalı CBN ile MQL kesme şartı için ANOVA sonuçları.

Faktör	Serbestlik Derecesi (SD)	Kareler Toplamı (KT)	Kareler Ortalaması (KO)	F değeri	P değeri	PCR (%)
a	2	0,099913	0,049956	33,61	0,029	53,35
f	2	0,079346	0,039673	26,69	0,036	42,37
V	2	0,005033	0,002516	1,69	0,371	2,69
Hata	2	0,002973	0,001486			1,59
Toplam	8	0,187264				100

Çizelge 5.4. incelendiğinde, MQL kesme şartında kaplamasız CBN takım ile elde edilen yüzey pürüzlülüğü üzerinde en fazla öneme sahip değişkenin %53,35 PCR ile kesme derinliği olduğu görülmektedir.  $R_a$  üzerinde ikinci derecede öneme sahip değişken ise %42,37'lik PCR değeri ile ilerleme miktarıdır. ANOVA tablosuna göre, MQL kesme şartında kesme hızının %95 güven düzeyinde  $R_a$  için istatistiksel olarak önemli olmadığı belirlenmiştir.

## 5.2. KESME KUVVETLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

AISI H10A çeliğinin sert tornalama sonucunda oluşan kesme kuvvetlerinin değerlendirilmesinde, tornalamada enerji tüketimi açısından birincil derecede önemli olan  $F_c$  değerleri dikkate alınmıştır. Kaplamasız ve kaplamalı CBN kesici takımlar ile kuru ve MQL kesme şartlarında elde edilen  $F_c$  değerlerinin değişimi Şekil 5.5-5.8'deki grafiklerde verilmiştir.

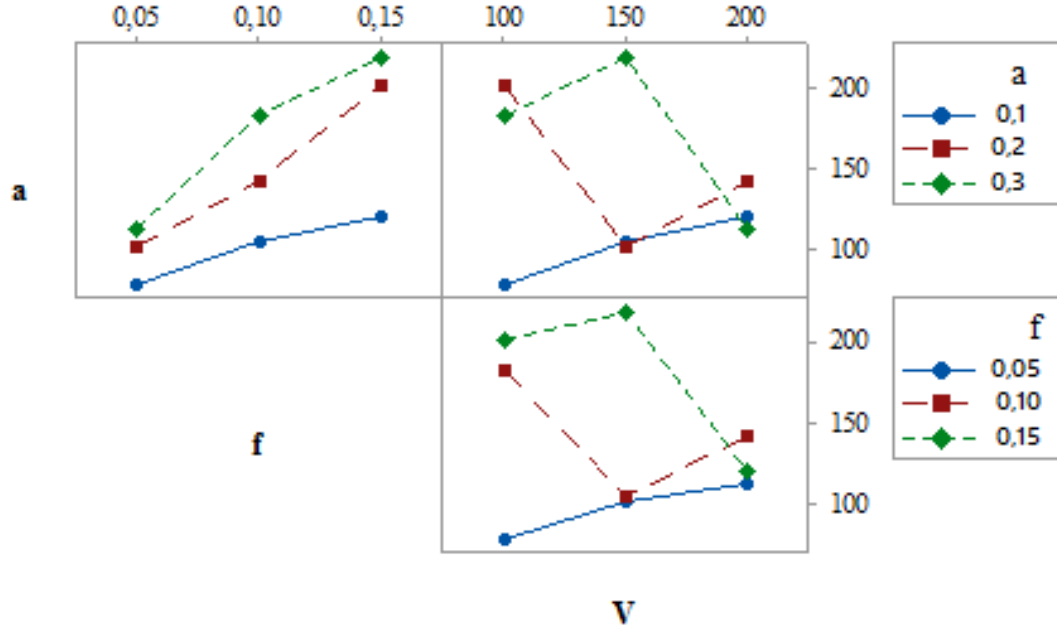


Şekil 5.5. Kaplamasız CBN takım ile kuru işlemede oluşan  $F_c$  değişimi.

Şekil 5.5 incelendiğinde, genel olarak ilerleme miktarı (f) ve kesme derinliği (a) arttıkça esas kesme kuvvetinin arttığı görülmektedir. Şekil incelendiğinde, kesme hızı-ilerleme miktarı ile kesme derinliği-kesme hızı etkileşimine bağlı olarak yüzey pürüzlülük değerlerinde olduğu gibi kesme kuvvetlerinin değişiminde bir düzensizlik göze çarpmaktadır. Bu düzensizliğin nedeni  $L_9$  deney tasarımına atfedilmekte olup, kesme hızının kesme kuvvetleri üzerinde etkisiz bir faktör olduğunu göstermez. Şekil 5.5'dena-V ve f-V etkileşimi dikkatli incelendiğinde, 0,2 kesme derinliği ile 0,1 mm/dev ilerleme miktarında, kesme hızının 100 m/dk'dan 150 m/dk'ya artmasıyla  $F_c$  değerinde bir azalma olmuştur. Aynı kesme şartlarında kesme hızının 200 m/dk ya artırılmasıyla  $F_c$  kuvvetinde bir miktar artış meydana gelmiştir. Bunun nedeni ilgili kesme şartlarında kesme derinliği ve ilerleme miktarlarının farklı olmasıdır (Çizelge



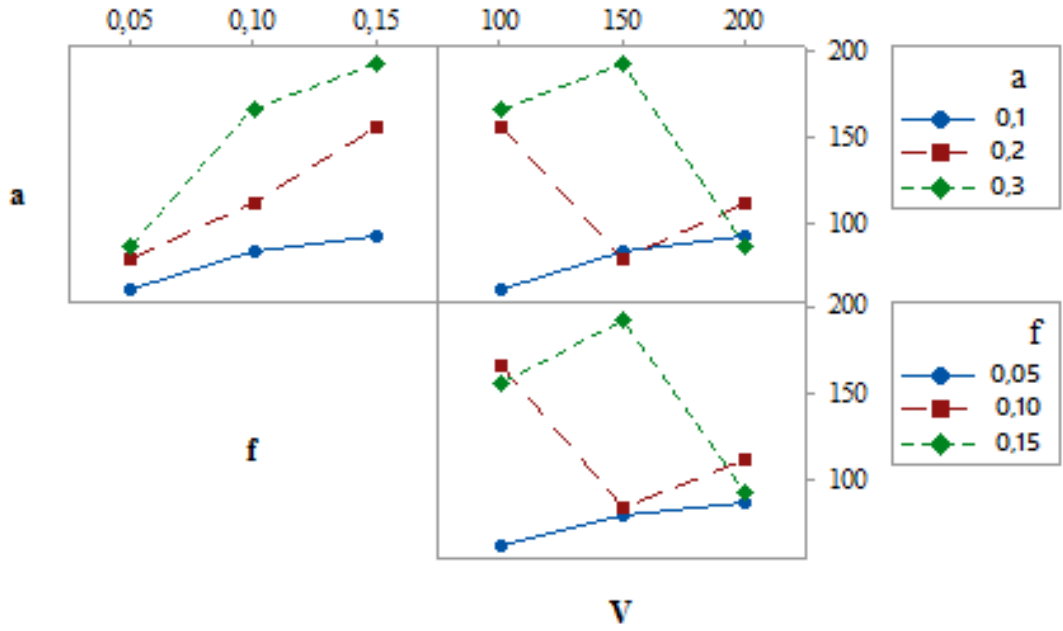
4.5). Deneyler sonucunda, 0,05 mm/dev ilerleme miktarı, 0,1 mm kesme derinliği ve 100 m/dk kesme hızında, en düşük kesme kuvveti değeri (77,71 N) elde edilmiştir.



Şekil 5.6. Kaplamalı CBN takım ile kuru işlemede oluşan Fc değişimi.

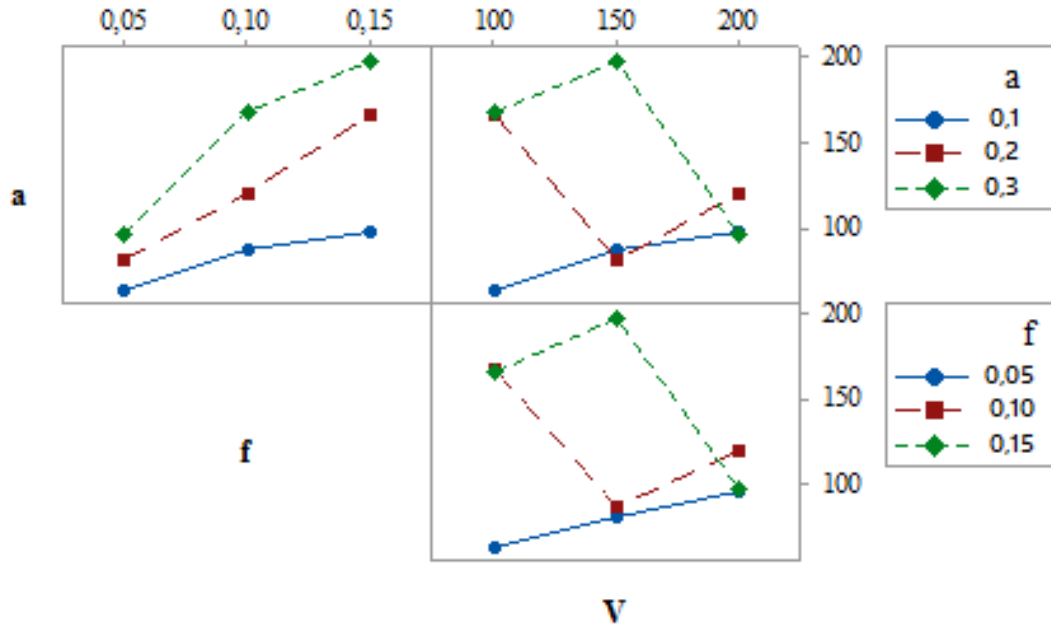
Şekil 5.6 genel olarak incelendiğinde, kesme kuvvetlerinin kaplamasız CBN takım ile elde edilen sonuçlara benzer eğilimde olduğu görülmektedir. Şekil 5.5'den a-V ve f-V etkileşimi dikkatli incelendiğinde; 0,2 mm kesme derinliği ve 0,1 mm/dev ilerleme miktarında, kesme hızının 100 m/dk'dan 150 m/dk'ya artmasıyla Fc değerinde bir azalma olurken, kesme hızının 200 m/dk'ya artırılmasıyla Fc kuvvetinde artış meydana gelmiştir. 0,3 mm kesme derinliği ve 0,15 mm/dev ilerleme miktarında yapılan deneysel sonuçlarda benzerlik göstermektedir. Bu sonuçların esas nedeni, L9 deney tasarımından kaynaklanan değişken seviyelerindeki farklılıktır (Çizelge 4.5). En düşük kesme kuvveti değeri, 0,05 mm/dev ilerleme miktarı, 0,1 mm kesme derinliği ve 100 m/dk kesme hızında, 79,38 N olarak elde edilmiştir. En yüksek kesme kuvveti değeri ise, 0,15 mm/dev ilerleme miktarı, 0,15 mm kesme derinliği ve 150 m/dk kesme hızında, 218,95 N olarak bulunmuştur.

Kuru işleme yönteminde kaplamasız CBN takım ile elde edilen en düşük Fc değeri 77,71 N, kaplamalı CBN takım ile elde edilen en düşük Fc değeri 79,38 N ile aralarındaki değişim %2,1 olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 5.7. Kaplamasız CBN takım ile MQL kesme şartlarında oluşan  $F_c$  değişimi.

Şekil 5.7 incelendiğinde, kuru kesme işlemlerinde elde edilen kesme kuvveti değişimlerine benzer eğilimde sonuçlar göze çarpmaktadır.  $F_c$  değerleri, kesme derinliği ve ilerleme miktarının artmasıyla birlikte oransal olarak bir artış göstermiştir. Diğer yandan,  $a$ - $V$  ve  $f$ - $V$  grafikleri incelenecek olursa, 0,1 mm kesme derinliği ve 0,05 mm/dev ilerleme miktarına göre yapılan deneyler hariç, diğer deneysel şartlarda oluşan  $F_c$  değerlerinin düzenli bir eğilim sergilemediği görülmektedir. MQL kesme şartlarında kaplamasız CBN kesici takımla yapılan deneyler sonucunda en düşük  $F_c$  değeri (62,73 N), 0,05 mm ilerleme miktarı, 0,1 mm kesme derinliği ve 100 m/dk kesme hızında ölçülmüştür. En büyük  $F_c$  değeri (193,62N), 0,15 mm ilerleme miktarı, 0,3 mm kesme derinliği ve 150 m/dk kesme hızında bulunmuştur.



Şekil 5.8. Kaplamalı CBN takım ile MQL kesme şartlarında oluşan  $F_c$  değişimi.

Şekil 5.8 incelendiğinde, deneylerin genelinde göze çarpan ilerleme miktarı ile kesme derinliğinin esas kesme kuvvetinde artışa neden olduğu gerçeği bu grafikte görülmektedir. 0,05 mm ilerleme miktarı, 0,1 mm kesme derinliği ve 100 m/dk kesme hızında yapılan deney sonucunda en düşük esas kesme kuvveti değerine (64,32 N) ulaşılmıştır. İlerleme miktarı 0,15 mm, kesme derinliği 0,3mm ve kesme hızı 150 m/dk kullanılarak yapılan deney sonucunda ise en yüksek esas kesme kuvveti değeri (198,12 N) elde edilmiştir.

MQL işleme yönteminde kaplamasız CBN takım ile elde edilen en düşük  $F_c$  değeri 62,73 N, kaplamalı CBN takım ile elde edilen en düşük  $F_c$  değeri 64,32 N ile aralarındaki değişim %2,5 olarak gerçekleşmiştir.

AISI H10A sıcak iş takım çeliği malzemesinin işlenmesinde, kaplamasız ve kaplamalı CBN kesici takım ile kuru ve MQL kesme şartlarında kesme derinliği, ilerleme miktarı ve kesme hızı üç farklı seviyesi kullanılarak toplam 36 adet deney yapılmıştır. Faktörlerin  $F_c$  üzerindeki etki seviyelerini belirlemek amacıyla %95 güven düzeyinde yapılan varyans analizi (ANOVA) sonuçları Çizelge 5.6-5.9'da verilmiştir. Burada, her bir faktör/değişkenin önem seviyesini gösteren P değerleri ile serbestlik derecesi (SD), kareler toplamı (KT), kareler ortalaması (KO), F değerleri ve yüzde etki oranları

(PCR) görülmektedir. Değişkenlerin önem seviyesi, ANOVA tablosundaki P değeri dikkate alınarak belirlenmektedir. Ayrıca, her bir değişkenin  $F_c$  üzerindeki yüzde etki oranları (Percentage Contribution Ratio\_PCR) hesaplanmış olup, ANOVA tablosunda verilmiştir.

Çizelge 5.5. Kaplamasız CBN ile kuru kesme şartı için ANOVA sonuçları.

Faktör	Serbestlik Derecesi (SD)	Kareler Toplamı (KT)	Kareler Ortalaması (KO)	F değeri	P değeri	PCR (%)
a	2	6816,5	3408,2	28,76	0,034	33,63
f	2	11392,8	5696,4	48,07	0,020	56,21
V	2	1823,6	911,8	7,69	0,115	8,99
Hata	2	237	118,5			1,17
Toplam	8	20269,8				100

Çizelge 5.5 incelendiğinde, kaplamasız CBN kesici takım ile kuru kesme şartlarında işlenen 9 deney sonucuna göre esas kesme kuvveti üzerinde en fazla öneme sahip değişken %56,21 PCR ile ilerleme miktarı olarak bulunmuştur.  $F_c$  üzerinde ikinci derecede öneme sahip değişken ise %33,63'lük PCR değeri ile kesme derinliğidir. ANOVA tablosundaki P değerlerine göre, kesme hızının %95 güven düzeyinde  $F_c$  için önemli olmadığı belirlenmiştir.

Çizelge 5.6. Kaplamalı CBN ile kuru kesme şartı için ANOVA sonuçları.

Faktör	Serbestlik Derecesi (SD)	Kareler Toplamı (KT)	Kareler Ortalaması (KO)	F değeri	P değeri	PCR (%)
a	2	7620,5	3810,2	37	0,026	39,36
f	2	10207,1	5103,5	49,56	0,020	52,72
V	2	1326,8	663,4	6,44	0,134	6,85
Hata	2	206	103			1,07
Toplam	8	19360,3				100

Çizelge 5.6 incelendiğinde, kaplamalı CBN kesici takım ile kuru kesme şartlarında ölçülen esas kesme kuvveti üzerinde en fazla öneme sahip değişken %52,72 PCR ile ilerleme miktarı olarak bulunmuştur.  $F_c$  üzerinde ikincil derecede öneme sahip değişken ise %39,36'lük PCR değeri ile kesme derinliğidir. ANOVA tablosundaki P

değerlerine göre, kesme hızının %95 güven düzeyinde  $F_c$  için önemli olmadığı belirlenmiştir.

Çizelge 5.7. Kaplamasız CBN ile MQL kesme şartı için ANOVA sonuçları.

Faktör	Serbestlik Derecesi (SD)	Kareler Toplamı (KT)	Kareler Ortalaması (KO)	F değeri	P değeri	PCR (%)
a	2	7225,6	3612,8	25,67	0,037	42,97
f	2	7767,5	3883,8	27,59	0,035	46,42
V	2	1539,6	769,8	5,47	0,155	9,16
Hata	2	281,5	140,8			1,67
Toplam	8	16814,2				100

Çizelge 5.7 incelendiğinde, MQL kesme şartında kaplamasız CBN takım ile elde edilen esas kesme kuvveti üzerinde en fazla öneme sahip değişken %46,42 PCR ile ilerleme miktarı olarak bulunmuştur.  $F_c$  üzerinde ikinci derecede öneme sahip değişken ise %42,97'lik PCR değeri ile kesme derinliğidir. ANOVA tablosuna göre, kesme kuru kesme şartında elde edilen sonuca benzer olarak, MQL kesme şartında kesme hızının istatistiksel olarak önemli olmadığı belirlenmiştir ( $P>0,05$ ).

Çizelge 5.8. Kaplamalı CBN ile MQL kesme şartı için ANOVA sonuçları.

Faktör	Serbestlik Derecesi (SD)	Kareler Toplamı (KT)	Kareler Ortalaması (KO)	F değeri	P değeri	PCR (%)
a	2	7708,6	3854,3	32,58	0,03	44,38
f	2	8202,9	4101,4	34,67	0,028	47,22
V	2	1223,3	611,6	5,17	0,162	7,04
Hata	2	236,6	118,3			1,36
Toplam	8	17371,3				100

Çizelge 5.8 incelendiğinde, MQL kesme şartında kaplamalı CBN takım ile yapılan deneyler sonucunda esas kesme kuvveti üzerinde en fazla öneme sahip değişken %47,22 PCR ile ilerleme miktarı olarak bulunmuştur.  $F_c$  üzerinde ikinci derecede öneme sahip değişken ise %44,38'lik PCR değeri ile kesme derinliğidir. ANOVA tablosuna göre, MQL kesme şartında kesme hızının  $F_c$  için istatistiksel olarak önemli olmadığı belirlenmiştir.

## BÖLÜM 6

### SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, sertleştirilmiş AISI H10A sıcak iş takım çeliği kaplamasız ve kaplamalı CBN kesici takımlar kullanılarak yapılan deneyler, kuru ve MQL olmak üzere iki kesme ortamında gerçekleştirilmiştir. Bu faktör ve seviyelere göre yapılan deney tasarımı için L9 dikey dizini kullanılmıştır. Kesme parametrelerinin, kesme hızı, ilerleme miktarı, kesme derinliği ve kesme şartlarının kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Taguchi Yöntemi'ne göre yapılan deney tasarımında işlenebilirlik kriterleri (Fc ve Ra) üzerinde doğrudan etkisi olan kesme parametreleri belirlenmiştir.

Kaplamasız CBN takım ile kuru işlemede genel olarak ilerleme miktarı ve kesme derinliği arttıkça ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra)'nın arttığı gözlemlenmiştir.

Kaplamasız CBN takım ile kuru kesme şartında yapılan deneyler sonucunda, en düşük yüzey pürüzlülük 0,141  $\mu\text{m}$  değerine, 0,05 mm/dev ilerleme miktarı, 0,1 mm kesme derinliği ve 100 m/dk kesme hızı şartlarında ulaşılmıştır. En yüksek yüzey pürüzlülük 0,578  $\mu\text{m}$  değerine, 0,1 mm/dev ilerleme miktarı, 0,2 mm kesme derinliği ve 200 m/dk kesme hızı şartlarında ulaşılmıştır.

Kaplamalı CBN takım ile kuru işlemede, kesme derinliği ve ilerlemenin artması ile yüzey pürüzlülüğünde belirgin bir artış görülmektedir. L9 deney tasarımı nedeni ile kesme hızına göre yüzey pürüzlülüğünün değişiminde bir düzensizlik gözlenmiştir.

Kuru işleme yönteminde kaplamasız CBN takım ile elde edilen en düşük Ra değeri 0,141 µm kaplamalı CBN takım ile elde edilen en düşük Ra değeri 0,188 µm ölçülmüştür.

MQL ile işlemede kaplamasız CBN kesici takımla yapılan deneyler sonucunda en düşük Ra değeri 0,139 µm olarak ölçülmüştür. Bu değer, kesme derinliği, kesme hızı ve ilerleme miktarının en küçük olduğu değerlerde elde edilmiştir. Kesme hızının 200 m/dk, ilerleme miktarı 0,05 mm/dev ve kesme derinliğinin 0,3 mm maksimum değerlerde olduğunda ise en yüksek yüzey pürüzlülük değerine 0,36 µm ulaşılmıştır.

Kaplamalı CBN kesici uç ile sert tornalama işleminde uygulanan kesme şartlarına göre ölçülen yüzey pürüzlülük değerleri kaplamasız CBN ile elde edilenlere göre daha düşüktür.

Kesme şartlarının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etki düzeylerini belirlemek amacıyla %95 güven düzeyinde varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır.

Kaplamasız CBN takım ile kuru kesme şartlarında ölçülen yüzey pürüzlülüğü üzerinde en fazla öneme sahip değişken %51,79 PCR ile kesme derinliği olarak bulunmuştur. Ra üzerinde ikinci derecede öneme sahip değişken ise %44,22'lik PCR değeri ile ilerleme miktarıdır. ANOVA tablosundaki P değerlerine göre, kesme hızının %95 güven düzeyinde Raiçin önemli olmadığı belirlenmiştir.

Kaplamalı CBN takım ile kuru kesme şartlarında ölçülen yüzey pürüzlülüğü üzerinde en fazla öneme sahip değişken %70,51 PCR ile kesme derinliği olarak bulunmuştur. Ra üzerinde ikinci derecede öneme sahip değişken ise %22,54'lik PCR değeri ile ilerleme miktarıdır. Ayrıca, ANOVA tablosunda kesme hızının %95 güven düzeyinde Raiçin önemli olmadığı görülmektedir ( $P>0,05$ ).

MQL kesme şartında kaplamasız CBN takım ile elde edilen yüzey pürüzlülüğü üzerinde en fazla öneme sahip değişkenin %69,68 PCR ile kesme derinliği olduğu görülmüştür.

ANOVA tablosuna göre; kuru kesme şartında elde edilen sonuca benzer olarak, MQL kesme şartında kesme hızının istatistiksel olarak önemli olmadığı belirlenmiştir.

Kaplamasız CBN takım ile kuru işlemede oluşan kesme kuvvet değişimi genel olarak ilerleme miktarı ve kesme derinliği arttıkça kesme kuvvetinin arttığı görülmüştür.

Kesme hızı-ilerleme miktarı ile kesme derinliği-kesme hızı etkileşimine bağlı olarak yüzey pürüzlülük değerlerinde olduğu gibi kesme kuvvetlerinin değişiminde bir düzensizlik gözlenmiştir.

Kaplamalı CBN takım ile kuru işlemede oluşan kesme kuvvetleri kaplamasız CBN takım ile elde edilen kesme kuvvetleri sonuçlara benzer eğilimde olduğu görülmüştür.

En düşük kesme kuvveti değeri, 0,05 mm/dev ilerleme miktarı, 0,1 mm kesme derinliği ve 100 m/dk kesme hızında 77,71 N olarak elde edilmiştir.

En yüksek kesme kuvveti değeri ise, 0,15 mm/dev ilerleme miktarı, 0,1 mm kesme derinliği ve 150 m/dk kesme hızında, 218,95 N olarak ölçülmüştür.

Kaplamalı CBN takım ile MQL kesme şartlarında yapılan deneylerin genelinde ilerleme miktarı ile kesme derinliğinin esas kesme kuvvetinde artışa neden olmuştur.

MQL işleme yönteminde kaplamasız CBN takım ile elde edilen en düşük Fc değeri 62,73 N, kaplamalı CBN takım ile elde edilen en düşük Fc değeri 64,32 N olarak gerçekleşmiştir.

CBN kesici takım ile kuru kesme şartlarında yapılan deney sonuçlarına göre esas kesme kuvveti üzerinde en fazla öneme sahip değişken %56,21 PCR ile ilerleme miktarı olarak bulunmuştur. Fc üzerinde ikinci derecede öneme sahip değişken ise %33,63'lük PCR değeri ile kesme derinliğidir. ANOVA tablosundaki P değerlerine göre, kesme hızının %95 güven düzeyinde Fc için önemli olmadığı belirlenmiştir.



MQL kesme şartında kaplamasız CBN takım ile elde edilen esas kesme kuvveti üzerinde en fazla öneme sahip değişken %46,42 PCR ile ilerleme miktarı olarak bulunmuştur. Fc üzerinde ikinci derecede öneme sahip değişken ise %42,97'lik PCR değeri ile kesme derinliğidir.

MQL kesme şartında kaplamalı CBN takım ile yapılan deneyler sonucunda esas kesme kuvveti üzerinde en fazla öneme sahip değişken %47,22 PCR ile ilerleme miktarı olarak bulunmuştur. Fc üzerinde ikinci derecede öneme sahip değişken ise %44,38'lik PCR değeri ile kesme derinliğidir. ANOVA tablosuna göre, MQL kesme şartında kesme hızının Fc için istatistiksel olarak önemli olmadığı belirlenmiştir.



## KAYNAKLAR

1. Shihab, S. K., Khan, Z. A., Mohammad, A., and Siddiquee, A. N., "A review of turning of hard steels used in bearing and automotive applications", *Production & Manufacturing Research*, 2 (1): 24–49 (2014).
2. Al-Zkeri, İ. A., "Finite element modeling of hard turning", Ph. D. Thesis, *The Ohio State University* (2007).
3. Qian, L., Lei, S., and Chen, R., "Finite element analysis of hard turning bearing 201 steel AISI 52100 with various cutting inserts", *ASME Pressure Vessels 202 and Piping Conference*, July, Vancouver, BC, Canada, PVP-ICPVT11-93149 (2006).
4. Arsecularatne, J. A., Zhang, L. C., Montross, C., and Mathew, P., "On machining of hardened AISI D2 steel with PCBN tools", *J. Mater. Process. Technol.*, 171: 244–252 (2006).
5. Chou, Y. K., Evans, C. J., and Barash, M. M., "Experimental investigations on cubic boron nitride turning of hardened AISI 52100 steel", *J. Mater. Process. Tech.*, 134: 1-9 (2003).
6. Krajnik, P., and Kopac, J., "Modern machining of die and mold tools", *J. Mater. Process. Technol.*, 157–158: 543–552 (2004).
7. Godoy, V. A., and Diniz, A. E., "Turning of interrupted and continuous hardened steel surfaces using ceramic and CBN cutting tools", *Journal of Materials Processing Technology*, 211: 1014-1025 (2011).
8. Shalaby, M. A., El Hakim, M. A., Abdelhameed, M. M., Krzanowski, J. E., Veldbuis, S. C., and Dosbaeva, G. K., "Wear mechanisms of several cutting tool materials in hard turning of high carbon-chromium tool steel", *Tribology International*, 70: 148-154 (2014).
9. Huang, Y., and Liang, S. Y., "Effect of cutting conditions on tool performance in CBN hard turning", *Journal of Manufacturing Processes*, 7 (1) (2005).
10. Huang, Y., and Dawson, T. G., "Tool crater wear depth modeling in CBN hard turning", *Wear*, 258 (9): 1445-1461 (2005).
11. Günay, M., "Investigation of the interaction between the surface quality and rake angle in machining of AISI 1040 steel", *SIGMA Journal of Engineering and Natural Sciences*, 26 (2): 105-111 (2008).

12. Diniz, A. E., and Oliviera, A. J., “Hard turning of interrupted surfaces using CBN tools”, *Journal of Materials Processing Technology*, 195 (1-3): 275-281 (2008).
13. Remadna, M. and Rigal, J. F., “Evolution during time of tool wear and cutting forces in the case of hard turning with CBN inserts”, *Journal of Materials Processing Technology*, 178: 67–75 (2006).
14. Bosheh, S. S. and Mativenga P. T., “White layer formation in hard turning of H13 tool steel at high cutting speeds using CBN tooling”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 46: 225–233 (2006).
15. Bushlyaa, V., Zhoua, J., and Ståhla, J. E., “Effect of cutting conditions on machinability of superalloy Inconel 718 during high speed turning with coated and uncoated PCBN tools”, *Procedia CIRP* 3, 370 – 375 (2012).
16. Asilturk, I. ve Akkus, H., “Determining the effect of cutting parameters on surface roughness in hard turning using the Taguchi method.”, *Journal of the International Measurement Confederation (IMEKO)*, 44: 1697–1704 (2011).
17. Aouici, H., Yallese, M. A., Chaoui, K., and Mabrouki, “Analysis of surface roughness and cutting force components in hard turning with CBN tool: Prediction model and cutting conditions optimization”, *Journal of the International Measurement Confederation (IMEKO)*, 45: 344–353 (2012).
18. Chowdhury, N. T., and Dhar, N. R. “Experimental analysis and modeling of tool wear and surface roughness in hard turning under minimum quantity lubricant environment”, *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, Malaysia, 326–330 (2011).
19. Thamizhmanii, S., and Hasan, S., “Relationship between flank wear and cutting force on themachining of hard Martensitic stainless steel by super hard tools”, *Proceedings of the World Congress on Engineering*, London, 3, 2185–2190 (2010).
20. Grzesik, W., and Zalisz, Z., “Wear phenomenon in the hard steel machining using ceramic tools”, *Tribology International*, 41: 802–812 (2008).
21. Poulachon, G., Bandyopadhyay, B. P., Jawahir, I. S., Pheulpin, S., and Seguin, E., “Wear behavior of CBN tools while turning various hardened steels”, *Wear*, 256: 302–310 (2004).
22. Lin, H. M., Liao, Y. S., and Wei, C. C., “Wear behavior in turning high hardness alloy steel by CBN tool”, *Wear*, 264: 679–684 (2008).
23. More, A. S., Jiang, W., Brown, W. D. And Malshe, A. P., “Tool wear and machining performance of CBN–TiN coated carbide inserts and PCBN compact inserts in turning AISI 4340 hardened steel”, *Journal of Materials Processing Technology*, 180: 253–262 (2006).

24. Panzera, T. H., Souza, P. R., Rubio, J. C. C., Abrao, A. M., and Mansur, T. R., "Development of a three-component dynamometer to measure turning force", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 62: 913–922 (2012).
25. Aouici, H., Yallese, M. A., Fnides, B., and Mabrouki, T., "Machinability investigation in hard turning of AISI H11 hot work steel with CBN tool", *MECHANIKA*, 86: 71–77 (2010).
26. Umbrello, D., Pu, Z., Caruso, S., Outeiro, J. C., Jayal, A. D., Dillon, O. W., Jr, and Jawahir, I. S., "The effects of cryogenic cooling on surface integrity in hard machining", *Procedia Engineering*, 19: 371–376 (2011).
27. Islam, M. N., "Effect of additional factors on dimensional accuracy and surface finish of turned parts", *Machining Science and Technology*, 17: 145–162 (2013).
28. Abhang, L. B., and Hameedullah, M., "Determination of optimum parameters for multi-performance characteristics in turning by using grey relational analysis", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 63: 13–24 (2012).
29. Deepakkumar, H. P., and Sadaiah, M. "Investigations on finish turning of AISI 4340 steel in different cutting environments by CBN insert", *International Journal of Engineering Science and Technology*, 3: 7690–7706 (2011).
30. Hwang, Y. K., and Lee, Ch. M., "Surface roughness and cutting force prediction in MQL and wet turning process of AISI 1045 using design of experiments", *Journal of Mechanical Science and Technology*, 24: 1669–1677 (2010).
31. Yallese, M. A., Chaoui, K., Zeghib, N., Boulanouar, L. and Rigal, J.-F., "Hard machining of hardened bearing steel using cubic boron nitride tool", *Journal of Materials Processing Technology*, 209: 1092–1104 (2009).
32. Chou, Y., K., Evans, C., J., Barash, M. M., "Experimental investigations on cubic boron nitride turning of hardened AISI 52100 steel", *J. Mater. Process. Tech.*, vol. 134: 1-9 (2003).
33. Chavoshi, S. Z., Tajdari M., "Surface roughness modelling in hard turning operation of AISI 4140 using CBN cutting tool", *International Journal of Material Forming*, DOI 10.1007/s12289-009-0679-2, (2010).
34. Dhar, N. R., Islam, M. W., Islam, S. and Mithu M. A. H., "The influence of minimum quantity of lubrication (MQL) on cutting temperature, chip and dimensional accuracy in turning AISI-1040 steel", *Journal of Materials Processing Technology*, 171:93-99 (2006).
35. Dhar, N. R., and Kamruzzaman, M., "Cutting temperature, tool wear, surface roughness and dimensional deviation in cryogenic machining", *International Conference on Mechanical Engineering* (2005).

36. Rahman, M. M., Khan, M. M. A., and Dhar, N. R. "An experimental investigation into the effect of minimum quality lubricant on cutting temperature for machinability of AISI 9310 steel alloy", *European Journal of Scientific Research*, ISSN 1450-216X, 29 (4): 502-508 (2009).
37. Dogra, M., Sharma, V. S., Sachdeva, A., Suri, N. M., and Dureja, J. S., "Performance evaluation of CBN, coated carbide, cryogenically treated uncoated/coated carbide inserts in finishturning of hardened steel", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 57: 541–553 (2011).
38. Pardeep Kumar ve S. R. Chauhan, "Machinability Study on Finish Turning of AISI H13 Hot Working Die Tool Steel With Cubic Boron Nitride (CBN) Cutting Tool Inserts Using Response Surface Methodology (RSM)", *Arabian Journal for Science and Engineering*, 40:1471-1485 (2015).
39. Kalpakjian and Schmid, "Manufacturing Processes for Engineering Materials", Fourth Edition, *Prentice Hall*, 464-527 (2003).
40. Chandrakanth, S., and Xiaomin, D., "Finite element analysis of the orthogonal metal cutting process", *Journal of Materials Processing Technology*, 95-109 (2000).
41. Ghosh, A. and Mallik, A. K., "Manufacturing Science", *Ellis Horword Limited*, 191-206 (1986).
42. Groover, Mikell P., "Fundamentals of modern manufacturing: materials, processes and systems", 4th ed. (2010).
43. Çiftçi İ., "Kesici takımlar ve kesme teorisi ders notları", *ZKÜ Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Ders Notları*, Karabük, 3-15 (2007).
44. DeGarmo, E. P., Black, J. T. and Kohser, R. A., "Materials and Processes in Manufacturing", *Prentice-Hall Inc.*, New Jersey, 589-652 (1997).
45. Huang, Y., Liang, S.Y., "Cutting forces modeling considering the effect of tool thermal property-application to CBN hard turning", *International Journal of Machine Tools &Manufacture*,307-315 (2003).
46. Geometrical Product Specifications (GPS) — Indication of surface texture in technical product documentation, *ISO 1302 Fourth edition* (2002).
47. Avallone, E., Baumeister, T., Sadegh, A. M., "Standard handbook for Mechanical Engineers 11th Edition", Section 13 Manufacturing Processes, Published by *McGraw-Hill Professional* (2006).
48. Georgios P. P., Constantinos N. P., J. Paulo, D., "Surface Texture Characterization and Evaluation Related to Machining", 37-66 (2010).

49. Zygo, Surface Texture Parameters, Copyright by Zygo Corporation, **OMP-0514C 04** (2013).
50. Sherington, I. and Smith, E. H., "Parameters for characterizing the surface topography of engineering components". **Proc. Instn Mech. Engrs**, 201 (4): 297-360 (1987).
51. Alman Bakır Enstitüsü / Alman Kupferinstitut, Bilgi ve Bakır ve Bakır Alaşımları için Danışma **Merkezi**, **Recommended machining parameters for copper and copper alloys**, Print run (2010).
52. Trent, E. M., "Metal Cutting", **Butterworths Press**, London, 1-171 (1989).
53. Groover, M.P., "Fundamentals of modern manufacturing – Materials, processes and systems", **Prentice-Hall Inc.**, New Jersey, 220-639 (1996).
54. MQL for dry machining process, **SKF LubriLean Catalogue**, Order No: 1-5102 EN (2014).
55. İnternet: MaClure, T. F., Adams, R., and Gugger, M. D. and Gressel, M. G., "Comparison of Flood vs. Microlubrication on Machining Performance", website: **[http://www.unist.com/pdfs/articles/AR\\_flood\\_v\\_micro.pdf](http://www.unist.com/pdfs/articles/AR_flood_v_micro.pdf)**. (2007).
56. Eisenblätter, G., "Troddenbohren mit Vollhartmetallwerkzeugen", Ph. D. Thesis, RWTH, **Aachen University** (2000).
57. Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), "Minimum quantity lubrication for machining operations", **Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV)**, German, BGI-GUV-I 718 (2010).
58. İnternet: KIND&CO, "Sıcak İş Takım Çelikleri", **<https://www.yumpu.com/tr/document/view/47611392/sacak-ia-takam-aelikleri/2>** (2016).
59. İnternet: İstatas, "Vakum Isıl İşlemi", **<http://www.istasas.com.tr/admin/images/brosurler/827d020110421203101.pdf>** (2013).
60. İnternet: Kenna Metal, "2016 Kenna Metal Kataloğu", **<http://www.kennametal.com/en/products/20478624/47535256/63745063/63745069/63840413/63840493/100004472.html>** (2016).
61. SKF, "MQL for dry machining process", **SKF LubriLean Catalogue**, Order No: 1-5102 EN (2014).

## ÖZGEÇMİŞ

Rifat AKDERE, 1979 yılında İskenderun'da doğdu. İlköğrenimini Karabük Bulak İlköğretim okulunda, Ortaöğrenimini ise Karabük Teknik ve Endüstri Meslek Lisesi Tesviye bölümünde tamamladı. 1996-2000yılları arasında Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Talaşlı Üretim Öğretmenliği programında Lisans eğitimini tamamladı. 2000-2004 Nurdil Teknik Soğutma Mekanik Bölüm Şefliği, 2004-2010 Ortadoğu Rulman San. Tic. A.Ş de Kalite Güvence Formenliği görevlerinde bulundu. 2010 yılından itibaren Milli Eğitim Bakanlığında Makine Teknolojisi Öğretmeni olarak görev yapmaya devam etmektedir.

### **İletişim Bilgileri:**

Adres : Fatih Mah. Şimşir Sok. Büşranur Apt. No:8/6 Polatlı/ANKARA

E-posta: [rifatakdere@hotmail.com](mailto:rifatakdere@hotmail.com)